

БАКАЛАВРИАТ И МАГИСТРАТУРА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

К. А. Карпов



www.e.lanbook.com



**ЭБС
ЛАНЬ**

К. А. КАРПОВ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Под редакцией профессора И. А. Садчикова

Учебник



• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА • КРАСНОДАР •
• 2017 •

ББК 65.304.13я73

К 26

Карпов К. А.

К 26 Технологическое прогнозирование развития производств нефтегазохимического комплекса: Учебник / Под ред. проф. И. А. Садчиков. — СПб.: Издательство «Лань», 2017. — 492 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-2729-1

В учебнике рассмотрены принципы технологического прогнозирования. Основное внимание уделено прогнозированию развития науки и техники. Освещаются перспективы возможных изменений в мировом топливно-энергетическом балансе, современное состояние и прогнозы достижений отечественной и зарубежной науки и практики в области совершенствования некоторых технологий нефтегазовых и химических производств, включая геологоразведку и разработку нефтяных и газовых месторождений, трубопроводный транспорт, переработку нефти, газа и твердого топлива, производство химической продукции из горючих полезных ископаемых, а также из горно-химического сырья.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по направлениям: «Менеджмент», «Товароведение», «Экономика» (в области нефтегазохимического комплекса), «Химическая технология» и «Нефтегазовое дело». Издание также может заинтересовать не только студентов вузов и других учащихся, но и специалистов, работающих в сфере нефтегазохимического комплекса.

ББК 65.304.13я73

Рецензенты:

В. М. ПОТЕХИН — доктор химических наук, профессор кафедры технологии нефте- и углехимических производств Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

А. В. ПЕТУХОВ — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Санкт-Петербургского горного университета;

А. А. ИЛЬИНСКИЙ — доктор экономических наук, профессор, зам. генерального директора Всероссийского нефтяного научно-исследовательского геолого-разведочного института.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2017

© К. А. Карпов, 2017

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.	10
Введение.	12

Раздел I **ТЕОРИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ** **И МЕТОДИКИ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗОВ**

<i>Глава 1.</i> Классификация прогнозов.	13
<i>Глава 2.</i> Основные закономерности развития научно-технического прогресса.	24
2.1. Основные периоды в процессе реализации нововведений.	24
2.2. Ретроспективное изучение объекта.	33
<i>Глава 3.</i> Методы прогнозирования развития науки и техники	36
3.1. Общие методы прогнозирования научно-технического прогресса.	36
3.2. Классификация методов технологического прогнозирования.	40
<i>Глава 4.</i> Комплексные и комбинированные методы прогнозирования научно-технического прогресса.	43
4.1. Методы моделирования.	43
4.2. Методы экспертных оценок.	46
4.2.1. Метод Дельфи.	49
4.2.2. Система ПАТТЕРН.	51
4.2.3. Матричный метод.	52
4.3. Методы на основе применения патентной информации... ..	53
4.3.1. Прогнозирование научно-технического прогресса на основе качественно-количественного анализа динамики выдачи патентов.	54
4.3.2. Прогнозирование развития техники на основе теоретико-информационного анализа патентов... ..	55
4.3.3. Прогнозирование развития техники путем оценки инженерно-технической значимости изобретений.	56
4.3.4. Определение уровня научно-технических разработок и тенденций их развития.	56
4.4. Оценка эффективности изобретения согласно концепции предельно эффективной технологии.	56

4.5. Анализ научно-технического прогресса с помощью систематизации научной информации. Метод информационных карт .	61
4.5.1. Национальный информационный центр ВИНТИ РАН .	62
4.5.2. Систематизация научной информации по общественным наукам .	65
4.6. Прогнозирование научно-технического развития на основе комплексного анализа информации (метод Глушкова) .	66
4.7. Логическая последовательность важнейших операций разработки прогнозов .	68
4.8. Особенности прогнозирования научной деятельности .	69
4.9. Методологические аспекты прогнозирования макропоказателей в современной экономике .	73
Глава 5. Российские учреждения, организации, отделы и службы, занимающиеся составлением прогнозов научно-технического прогресса .	79
5.1. Разработка глобальных и макроэкономических прогнозов .	80
5.2. Возможные сценарии развития российской экономики ...	83
5.3. Разработка технических прогнозов развития нефтегазовых и химических производств .	85
Раздел II	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА	
Глава 6. Состояние и прогнозируемые возможности энерго- и ресурсосбережения.	89
6.1. Изменение мирового топливно-энергетического баланса .	89
6.1.1. Анализ развития мирового энергопотребления...	89
6.1.2. Возобновляемые нетрадиционные источники энергии .	99
6.1.3. Прогнозирование изменения мирового топливно-энергетического баланса .	108
6.2. Сырьевые ресурсы в мировой экономике XXI века ..	114
6.2.1. Разработка месторождений минеральных пород с пониженным содержанием ценных компонентов.....	115

6.2.2. Замена одного вида сырья другим	115
6.2.3. Пути разрешения эколого-сырьевых проблем	116
6.2.4. Долгосрочные глобальные прогнозы об использо- вании сырьевых ресурсов.	117
6.3. Современное состояние и прогнозирование путей использования минерально-сырьевых и энергетиче- ских ресурсов России.	118
6.4. Возможные пути обеспечения энерго- и ресурсо- сбережения в нефтегазохимическом комплексе	123
Глава 7. Современное положение и общие перспективы разви- тия российского нефтегазохимического комплекса	129
7.1. Перспективы развития нефтегазового комплекса России в свете общемировых тенденций	132
7.2. Современное состояние и направления развития общемировой химической промышленности.	137
7.2.1. Современное состояние и результаты прог- нозных расчетов вариантов развития отече- ственного химического комплекса	142
7.3. Общемировые тенденции и прогнозы в области тематики НИОКР и перспектив их внедрения	149
Раздел III	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	
Глава 8. Научно-технический прогресс в сфере геологии, поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений.	164
8.1. Общие перспективы развития геологической отрасли.	164
8.1.1. Новые требования к оценке разведанной и прогнозной сырьевой базы	167
8.2. Запасы горючих ископаемых и прогнозные оценки их прироста	170
8.2.1. Данные зарубежных и российских геологов о запасах нефти и прогнозах их возможного прироста.	170
8.2.2. Запасы природного газа и прогнозные оценки их прироста.	173
8.2.3. Запасы ресурсов твердого топлива.	175
8.3. Нетрадиционные ресурсы углеводородов	176
8.3.1. Битуминозные пески	177
8.3.2. Нетрадиционная нефть.	179

8.3.3. Метан угольных пластов	185
8.3.4. Сланцевый газ	189
8.3.5. Газ плотных песчаников	191
8.3.6. Газовые гидраты	192
8.3.7. Перспективы возможного использования не- традиционных углеводородов	195
8.4. Освоение морских ресурсов нефти и газа	196
Глава 9. Прогнозирование развития технологий проведения буровых работ при строительстве нефтяных и газо- вых скважин.	200
9.1. Тенденции развития российского рынка бурового оборудования	204
9.2. Новые конструкции отечественных и зарубежных буровых долот, их особенности и области приме- нения	207
9.3. Инновационные технические решения при бурении в зонах с осложнениями	211
9.4. Колтюбинговые технологии. Бурение на депрессии	216
Глава 10. Научно-технический прогресс в области разработки нефтяных и газовых месторождений.	223
10.1. Методы повышения нефте- и газоотдачи	225
10.2. Перспективы развития комплексной химизации месторождений углеводородов	232
10.3. Инновации при добыче высоковязкой нефти	233
10.4. Особенности технологий волнового воздействия на продуктивные пласты	243
Глава 11. Прогнозирование и перспективы в области соору- жения и эксплуатации трубопроводных систем для транспортировки нефти и газа.	249
11.1. Трубопроводные системы России в свете «Тран- спортной стратегии».	249
11.2. Особенности и перспективы развития трубопро- водного транспорта углеводородов	251
11.3. Транспорт сжиженного углеводородного газа по трубопроводам	255
11.4. Проект транспортировки по магистральным тру- бопроводам сжиженного природного газа	257
11.5. Перспективы развития производства трубной про- дукции	259

11.5.1. Трубопроводы из полимерных материалов..	260
11.5.2. Использование комбинированных труб.	264
11.6. Инновационные способы борьбы с коррозией магистральных трубопроводов.	265
11.6.1. Тенденции развития в сфере заводских покрытий труб, фасонных деталей и задвижек трубопроводов.	268
11.6.2. Инновации в сфере осуществления изоляции трубопроводов в полевых условиях.	272
11.7. Перекачка нефтепродуктов с применением противотурбулентных присадок.	274
11.8. Технологии сооружения подводных переходов методом наклонно направленного бурения.	278

Глава 12. Направления и формы научно-технического прогресса в нефтеперерабатывающей промышленности .. 284

12.1. Прогноз развития технологий, связанных с производством автомобильных бензинов.	287
12.2. Прогноз развития процессов гидрооблагораживания.	289
12.3. Тенденции развития процессов углубленной переработки нефтяного сырья.	291
12.3.1. Технология гидроконверсии гудрона на наноразмерных катализаторах.	293
12.3.2. Малобюджетная модернизация нефтеперерабатывающего завода.	295
12.4. Прогноз развития производства нефтебитумов и битумных композиций.	297
12.5. Технологические перспективы переработки тяжелой нефти.	297
12.5.1. Переработка тяжелых нефтей непосредственно на промыслах.	298
12.6. Перспективы развития мировой нефтепереработки.	302
12.6.1. Возможные направления совершенствования переработки нефти в России.	305

Раздел IV

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Глава 13. Направления научно-технического прогресса в нефтехимической промышленности. 308

13.1. Производство полупродуктов нефтехимической промышленности.	313
---	-----

13.1.1. Производство низших олефинов.	313
13.1.2. Производство диеновых углеводородов.	322
13.1.3. Производство ароматических углеводородов.	325
13.2. Производство нефтехимикатов.	333
13.2.1. Производство фенола и ацетона.	333
13.2.2. Производство линейных α -олефинов.	339
13.2.3. Производство уксусной кислоты.	340
13.2.4. Производство анилина.	342
13.2.5. Производство стирола.	343
13.2.6. Производство винилхлорида.	345
13.3. Альтернативные источники нефтехимического сырья.	347

Глава 14. Прогнозирование и перспективы в области газопереработки и газохимии.	352
14.1. Природный, попутный и углеводородный газы. Прогнозирование направлений их использования...	352
14.1.1. Перспективы использования попутного нефтяного газа.	354
14.1.2. Природный газ, его сжатие и сжижение.	361
14.1.3. Сжиженный углеводородный газ.	366
14.2. Совершенствование процессов конверсии метана. Производство синтез-газа.	368
14.3. Новейшие мировые достижения в процессах синтеза метанола.	374
14.4. Получение продуктов на основе метанола.	379
14.4.1. Производство простых эфиров.	382
14.4.2. Переработка метанола в бензин.	384
14.5. Процесс Фишера–Тропша.	386
14.5.1. Гидроформилирование олефинов.	391
14.6. Современное состояние и перспективы развития производства гелия.	391

Глава 15. Прогнозирование научно-технического прогресса в области термохимической переработки твердых горючих ископаемых.	397
15.1. Коксование и полукоксование твердых топлив.	398
15.2. Газификация твердых топлив.	403
15.2.1. Подземная газификация твердых топлив.	406
15.3. Процесс прямой гидрогенизации углей.	407
15.4. Прогноз возможностей использования угольного сырья по различным направлениям.	412

<i>Глава 16. Научно-технический прогресс в области синтеза аммиака и производства минеральных удобрений .</i>	414
16.1. Горно-химическое сырье .	414
16.2. Научно-технический прогресс в области синтеза аммиака .	415
16.3. Состояние и направления развития промышленности минеральных удобрений .	421
<i>Глава 17. Прогнозирование развития промышленности по производству высокомолекулярных соединений.</i>	430
17.1. Общие перспективы развития производства высокомолекулярных соединений .	430
17.2. Перспективы развития производств по получению некоторых полимерных продуктов.	432
17.2.1. Производство полиэтилена.	433
17.2.2. Производство полипропилена.	437
17.2.3. Производство полистирола.	441
17.2.4. Производство поливинилхлорида.	443
<i>Глава 18. Прогнозирование развития новейших отраслей малотоннажной химии .</i>	446
18.1. Современное положение и перспективы развития малотоннажной химии .	446
18.2. Перспективы развития производства присадок к топливам и маслам.	449
18.3. Перспективы развития биотехнологических процессов .	452
<i>Глава 19. Прогнозирование применения альтернативных видов моторных топлив для двигателей внутреннего сгорания .</i>	455
19.1. Оценка эффективности использования различных альтернативных видов топлива на автотранспорте .	456
19.2. Среднесрочные и долгосрочные прогнозы применения различных видов моторного топлива .	462
Заключение .	466
Терминологический словарь .	468
Библиографический список .	485

ПРЕДИСЛОВИЕ

Главной целью учебника является углубление знаний студентов в части прогнозирования достижений научно-технического прогресса в технике и технологиях нефтегазовых и химических производств.

Учебник предназначен для студентов, обучающихся по направлениям подготовки: «Менеджмент», «Нефтегазовое дело», «Товароведение», «Химическая технология» и «Экономика». Издание также может заинтересовать не только студентов вузов и других учащихся, но и широкие круги специалистов, работающих в сфере нефтегазохимического комплекса.

В основу учебника положены: учебное пособие автора «Технологическое прогнозирование развития химических производств» (СПб.: СПбГИЭУ, 2009) и учебник автора «Технологическое прогнозирование развития производств» (СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013). Оба издания имеют гриф УМО по образованию в области производственного менеджмента.

Учебник состоит из четырех разделов. Раздел I посвящен рассмотрению вопросов, касающихся теории прогнозирования и методик составления прогнозов. Здесь приводятся различные классификации прогнозов; методология технологического прогнозирования; основные закономерности развития научно-технического прогресса (НТП); методы прогнозирования развития науки и техники, в частности особенности прогнозирования научной деятельности и методологические аспекты прогнозирования макропоказателей в современной экономике. Многие методики дополнены конкретными примерами их применения. Кроме того, рассказывается о российских учреждениях, организациях, отделах и службах, занимающихся разработкой прогнозов НТП различных масштабов.

В разделе II рассматриваются современное состояние и перспективы развития нефтегазохимического комплекса. Несколько подразделов посвящены современному положению и прогнозируемым возможностям энерго- и ресурсосбережения, где особое место занимают прогнозирование возможных изменений в мировом топливно-энергетическом балансе и состоянии сырьевых ресурсов в мировой и российской экономике XXI в. Подробно рассматриваются количества запасов и перспективы использования основных источников тепла и электроэнергии (нефть, газ и уголь), а также различных моторных топлив (нефтяных и альтернативных) для двигателей внутреннего сгорания.

Раздел III учебника посвящен перспективам развития технологий в нефтяной и газовой промышленности в областях: геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений; сооружения и эксплуатации трубопроводных систем; нефтеперерабатывающей промышленности.

Данная тематика разрабатывалась автором в течение последних шести лет при преподавании специальных дисциплин. Был накоплен богатый материал, включающий новейшие публикации, отчеты международных форумов и совещаний, курсов повышения квалификации, технологические регламенты и др.

В разделе IV учебника рассматриваются перспективы развития химической отрасли. Представлены некоторые прогнозы, касающиеся возможного развития многотоннажных производств (отечественных и зарубежных), нефтехимической и химической промышленности: переработки топлив (нефть, природный газ, твердые горючие ископаемые); основного органического и нефтехимического синтеза; производства минеральных удобрений и др.

Основное место в учебнике занимает освещение современного положения и перспектив развития российского нефтегазохимического комплекса. Представлена разнообразная информация о научных достижениях и внедрении нововведений в мировой практике. Ведь на современном этапе технологического развития ведущим экономическим ресурсом является информация (прежде всего информация технологическая, основывающаяся на достижениях естественных наук и инженерном знании).

Указанные выше четыре раздела учебника включают в себя 19 глав (нумерация сквозная), после каждой из них имеются контрольные вопросы.

Приведен терминологический словарь (гlossарий), где представлены основные термины, связанные с вопросами прогнозирования, с нефтегазовыми и химическими производствами (включая описание свойств и областей применения некоторых продуктов химической промышленности), а также некоторые общеэкономические понятия.

Дополнительно более подробную информацию о научных достижениях и внедрении нововведений в нефтегазохимическом комплексе можно получить, изучив источники библиографического списка, который приведен в конце издания.

Автор выражает искреннюю благодарность академику РАЕН, заслуженному деятелю науки РФ, доктору экономических наук, профессору Ивану Александровичу Садчикову за редактирование данного учебника.

ВВЕДЕНИЕ

Для ведения эффективной инвестиционной политики в области совершенствования действующих и создания новых современных производств нефтегазохимического комплекса необходимо проводить глубокий анализ достижений науки и техники в данной сфере с целью поиска оптимальных технологий и технических решений. Поиск должен проводиться в направлении выявления действительно передовых технологий, способных выдерживать конкурентную борьбу в течение длительного времени. В настоящее время именно научно-техническое развитие является определяющим фактором экономического положения страны, ее конкурентоспособности на мировом рынке.

Таким образом, в современных условиях для обеспечения поддержания конкурентоспособности предприятий нефтегазохимического комплекса необходимо на основании анализа последних тенденций развития техники и технологии, состояния ресурсной и энергетической базы, экологической обстановки и других важных факторов выбирать возможные пути дальнейшего развития нефтегазовой и химической промышленности по проверенным временем принципам технологического прогнозирования.

Объектом прогнозирования при этом могут быть достижения научно-технического прогресса (НТП) в таких областях, как, например, бурение нефтяных и газовых скважин, сырье и материалы, химическая продукция, а следовательно, в сферах развития нефтегазовых и химических производств. Изменения технологии определяют динамику макроэкономических отраслевых показателей, и в связи с этим результаты прогнозирования достижений НТП являются информационной базой для экономического прогнозирования и перспективного стратегического планирования. Инновационные прогнозы служат не только для выбора приоритетов и перспективных рыночных ниш, но и для определения сроков и характера обновления техники и технологии.

Раздел I

ТЕОРИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МЕТОДИКИ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗОВ

ГЛАВА 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗОВ

*Прогноз*¹ – это научно обоснованное представление о будущем, фиксирующее в понятиях какой-либо области познания ненаблюдаемое событие и содержащее указание на пространственный или временной интервал, внутри которого произойдет прогнозируемое событие; такой интервал должен быть закрытым и конечным. При этом сформулированный прогноз предполагает наличие определенного метода прогнозирования и способа оценки вероятности появления прогнозируемого события.

Научная дисциплина о закономерностях разработки прогнозов – *прогностика* – имеет своим предметом исследование законов и способов прогнозирования.

Типология прогнозов может строиться по различным критериям в зависимости от целей, задач, объектов, предметов, проблем, характера, периода упреждения, методов, организации прогнозирования и т. д. Основопологающим является проблемно-целевой критерий: *для чего разрабатывается прогноз?* В соответствии с этим критерием различаются два типа прогнозов: исследовательский и нормативный.

Исследовательский (поисковый, изыскательский, генетический) прогноз – это определение возможных состояний явления в будущем. Например, его задача при прогнозировании НТП состоит в формулировании возможных целей и альтернатив научно-технического развития, а также в их сравнительной оценке. Такой прогноз отвечает на вопрос: *что вероятнее всего произойдет при условии сохранения существующих тенденций?*

Нормативный (нормативно-целевой, целевой, функциональный) прогноз – это определение путей и сроков достижения возможных состояний явления, принимаемых в качестве цели. Имеется в виду про-

¹ Прогноз (от греч. prognōsis) – предвидение, предсказание.

гнозирование достижения желательных состояний на основе заранее заданных норм, идеалов, стимулов, целей. Такой прогноз отвечает на вопрос: *какими путями достичь желаемого?*

Именно единый комплекс из составляющих его исследовательского (поискового) и нормативного прогнозов называется *технологическим прогнозированием*.

Основной формой взаимодействия между этими двумя составляющими технологического прогнозирования является их согласование. В методологическом отношении это наиболее трудный аспект технологического прогнозирования. Например, нормативный прогноз изначально ориентирован на конкретную долгосрочную цель, и, если она избрана неверно, результат прогнозирования также будет ошибочен.

Согласование нормативного и исследовательского прогнозов достигается путем корректировки первоначальных целей и поиска новых путей и возможностей их достижения, определения срока, когда разрыв между желаемым и достигнутым уровнем решения проблемы станет достаточно малым.

Впервые методология технологического прогнозирования была предложена в 20-е гг. XX в. При разработке прогноза перспектив развития СССР на годы первой пятилетки (1928–1932) и далее группой советских экономистов во главе с В. А. Базаровым-Рудневым были рекомендованы две качественно новые исследовательские технологии: «генетическая» (экстраполяция в будущее наметившихся тенденций с целью выявления или уточнения проблем, подлежащих решению средствами управления) и «телеологическая» (оптимизация трендов по заданным критериям и целям для выявления наилучших решений указанных проблем). По сути, речь шла о способах «взвешивания» возможных – ожидаемых и желательных – последствий намечаемых плановых и иных решений¹.

Ровно 30 лет спустя, ничего не зная о выводах своих русских коллег, американские ученые пришли точно к такому же заключению, только генетический подход назвали эксплораторным (exploratory technological forecasting), что в переводе на русский означает исследовательский, а телеологический подход назвали нормативным (normative technological forecasting), так и переведенным на русский язык. Оба подхода составили технологическое прогнозирование, не-

¹ Работы Базарова были не поняты современниками, остались неизвестными на Западе и были введены в научный оборот только более полувека спустя, в 80-х гг. XX в.

точно переведенное у нас поначалу как научно-техническое¹, хотя речь шла не об отрасли прогнозирования, а об особом, так сказать, алгоритмическом способе разработки прогнозов.

В 50-е гг. XX в. по всему миру стали создаваться сотни институтов, тысячи секторов и отделов, специально занятых разработкой поисковых и нормативных прогнозов. Во второй половине 60-х гг. XX в. подобные учреждения стали развиваться и в Советском Союзе. Этим событиям в СССР предшествовал более чем 35-летний период, когда говорить и тем более писать о будущем можно было только в виде прямых комментариев тех или иных высказываний классиков марксизма-ленинизма либо программных документов КПСС.

В 50–70-е гг. XX в. в СССР долгосрочное нормативное прогнозирование являлось делом государственной важности – каждые пять лет разрабатывались комплексная программа научно-технического прогресса и его социально-экономических последствий на 20 лет, генеральная схема развития и размещения производительных сил на 15 лет. Однако в конце XX столетия проекты по разработке долгосрочных прогнозов были почти свернуты, поскольку большинство высказывавшихся в них предположений оказались несостоятельными.

В настоящий момент наблюдается положительная динамика российской экономики, и вновь начал появляться интерес к долгосрочному прогнозированию. При финансовой поддержке соответствующих организаций, отвечающих за рассматриваемые в прогнозах проблемы, стали возрождаться масштабные и систематические прогнозистические исследования.

После небольшого исторического отступления следует также отметить, что в настоящее время термин «технологическое прогнозирование» интерпретируется достаточно широко. В частности, используемое в англоязычной литературе понятие «*technology foresight*», имеющее дословный перевод – предвидение технологии, в некоторых статьях, опубликованных в современных серьезных отечественных периодических изданиях (например, в общэкономическом научном журнале «Проблемы прогнозирования»), переводится как технологическое прогнозирование и употребляется в различных значениях: от анализа перспектив технологического развития вплоть до одного из возможных названий проектов, имеющих своей целью

¹ Например, известная монография Э. Янча, английское название которой «*Technological Forecasting in Perspective*», была переведена на русский язык и издана (1-е изд. было в 1970 г.) под заголовком «Прогнозирование научно-технического прогресса» [55].

разработку долгосрочного прогноза развития национальной экономики. Например, технологическим прогнозом кратко именуются исследования в рамках Комплексной программы научных исследований Президиума Российской академии наук «Прогноз технологического развития экономики России с учетом новых мировых интеграционных процессов», некоторые положения из которой будут рассмотрены ниже.

В настоящем учебнике термин «технологическое прогнозирование» употребляется в своем основном значении (согласно скорректированной в настоящее время основной терминологии прогностики¹), а именно в контексте методологического подхода, сочетающего исследовательское и нормативное прогнозирование. Таким образом, в рамках технологического прогнозирования могут решаться такие задачи, как разработка прогнозов в следующих областях деятельности: научно-технической (наиболее развитый раздел теории прогнозирования), экономической, коммерческой, а также социальной и политической и др. Упомянутый выше термин «technology foresight» или сокращенно – TF (предвидение технологии), согласно современной типологии прогнозов, относится к отрасли (области) прогнозирования (а именно к научно-технической).

По объекту исследования прогнозы можно подразделить на следующие виды.

Естественнонаучные прогнозы (метеорологические, гидрологические, геологические, биологические, медико-биологические, космологические, физико-химические прогнозы явлений микромира).

Научно-технические прогнозы в узком смысле, или, как их еще называют, *инженерные*, охватывают перспективы состояния материалов и режима работы механизмов, машин, приборов, электронной аппаратуры, всех явлений техносферы². В широком смысле (т. е. в смысле развития НТП) они посвящены перспективным проблемам развития науки, ее структуры, сравнительной эффективности различных направлений исследования, дальнейшего развития научных кадров и учреждений, а также перспективным проблемам техники и тех-

¹ Работа по корректировке терминологии была проведена известным отечественным ученым-прогнозистом академиком РАЕН и РАО, президентом Международной академии исследований будущего И. В. Бестужевым-Ладой.

² В отечественной литературе, в основном опубликованной в период 70–80-х гг. XX в., данные прогнозы часто называют технологическими и употребляют как синонимы понятиям: «прогнозирование новых технологических процессов» или «прогнозирование развития технологии».

нологии и требуемым для этого ресурсам и организационным мерам. В частности, для химической промышленности они охватывают перспективные проблемы развития химических технологий, сравнительную эффективность различных направлений. В главах 3 и 4 представлена дополнительная классификация и методики составления научно-технических прогнозов.

Общественно-ведческие прогнозы (социально-медицинские, социально-географические, социально-экологические, социально-космические, экономические, социологические, психологические, демографические, филолого-этнографические, архитектурно-градостроительные, образовательно-педагогические, культурно-эстетические, государственно-правовые, внутриполитические, внешнеполитические, военные).

Естественно-ведческие прогнозы часто объединяют с научно-техническими (при этом объединенная группа носит название «*научно-технические прогнозы*»). Общественно-ведческие прогнозы иногда именуют социально-экономическими, причем все прогнозы данной группы, кроме экономических, выступают в этом случае под названием «*социальные*».

Экономические прогнозы отвечают за перспективы развития сфер и отраслей экономики, вообще экономических отношений. *Экономическое прогнозирование* – это процесс формирования вероятностных суждений о состоянии экономических процессов и явлений в определенный момент в будущем и об альтернативных путях их достижения. В качестве основных факторов развития различных сфер и отраслей экономики выступают социальные потребности, технические возможности и экономическая целесообразность. В соответствии с этим можно указать на три конечные цели экономического прогнозирования:

- установление целей развития отраслей экономики;
- изыскание оптимальных путей и средств их достижения;
- определение потребных ресурсов для достижения поставленных целей.

В контексте рассмотрения вопросов, связанных с развитием методологических основ экономического прогнозирования макропоказателей, целесообразно упомянуть еще об одном алгоритмическом способе разработки прогнозов. Кроме технологического прогнозирования, сочетающего в себе исследовательскую и поисковую составляющие, в последние годы разработана особая методология дол-

госрочного прогнозирования макропоказателей – *интегральное макропрогнозирование*. Оно соединяет в себе циклично-генетический, цивилизационный и балансовый подходы. Основоположниками данного типа прогнозирования стали выдающиеся российские ученые Н. Д. Кондратьев, П. А. Сорокин и В. В. Леонтьев.

Николай Дмитриевич Кондратьев – великий русский советский экономист XX в., получивший всемирное признание. В 1920 г. ему было поручено создать и возглавить Конъюнктурный институт, директором которого он был до 1928 г.¹ Кондратьев также принимал активное участие в работе над составлением первого пятилетнего плана, занимаясь обоснованием планирования развития сельского и лесного хозяйства. В этот период он впервые сформулировал теорию больших циклов конъюнктуры, а также теорию предвидения и методологию перспективного планирования. Исследования и выводы Кондратьева основывались на эмпирическом анализе большого числа экономических показателей различных стран, существовала и математическая методика исследования.

П. А. Сорокин (Питирим Сорокин) в своих работах исследовал генетические закономерности развития цивилизаций за два с половиной тысячелетия и установил, что в XXI в. чувственный социокультурный строй общества сменится интегральным. В. В. Леонтьев (нобелевский лауреат по экономике) использовал балансовые макромоделли для разработки долгосрочных прогнозов развития национальной и мировой экономики.

Современная российская школа интегрального макропрогнозирования синтезировала и системно развила принципиально новые подходы Н. Д. Кондратьева [22], П. А. Сорокина и В. В. Леонтьева к предвидению будущего. В настоящее время разработанная российскими учеными методология составления прогнозов (например, структуры экономики России на период до 2020 г., развития инноваций в России до 2050 г., эпохальных инноваций XXI в.) служит научной основой государственного планирования в Российской Федерации.

Прежде чем перейти к дальнейшему рассмотрению возможных классификаций прогнозирования и дополняя некоторые изложенные выше аспекты, следует отметить, что прогнозирование является частным случаем более общего понятия, объединяющего все разнообразно-

¹ В 1930 г. Кондратьев был арестован и осужден на длительный срок по сфабрикованному обвинению, в 1938 г. погиб в тюрьме; позже был полностью реабилитирован.

сти получения информации о будущем и называемого *предвидением*. В целом прогнозирование представляет собой научно обоснованное предвидение развития каких-либо тенденций. Прогнозирование – это своего рода умение предвидеть, анализ ситуации и ожидаемого хода ее и изменения в будущем. Так как каждое решение – это проекция в будущее, а будущее содержит элемент неопределенности, то важно правильно определить степень рисков, с которыми сопряжена реализация принятых решений.

Предвидение разделяется на научное и ненаучное. Иногда понятие предвидения относят к информации не только о будущем, но и о настоящем и даже о прошлом. Это происходит тогда, когда к еще неизвестным, непознанным явлениям прошлого и настоящего подходят с целью получения о них научного знания так, как если бы они относились к будущему (например, оценка залежей полезных ископаемых).

Предвидение затрагивает две взаимосвязанные совокупности форм его конкретизации: относящуюся к собственно категории предвидения – предсказательную и сопряженную с ней, относящуюся к категории управления, – предуказательную.

Предсказание подразумевает описание возможных или желательных перспектив, состояний, решений проблем будущего.

Предуказание связано с собственно решением этих проблем, с использованием информации о будущем для целенаправленной деятельности личности и общества.

В естествоведческих прогнозах взаимосвязь между предсказанием и предуказанием незначительна, близка или практически равна нулю из-за невозможности управления объектом.

В обществоведческих прогнозах эта взаимосвязь настолько значительна, что способна давать эффект самоосуществления или, напротив, саморазрушения прогнозов действиями людей на основе целей, планов, программ, проектов, вообще решений (включая принятые с учетом сделанных прогнозов).

Научно-технические прогнозы занимают в этом отношении как бы промежуточное положение.

Следует отметить, что между естествоведческими и обществоведческими прогнозами нет глухой стены, поскольку теоретически взаимосвязь между предсказанием и предуказанием никогда не равна нулю (например, человек может воздействовать на урожайность при помощи удобрений).

По *периоду упреждения* – промежутку времени, на который рассчитан прогноз, – к настоящему времени различаются следующие прогнозы:

• *оперативный (текущий)*, как правило, рассчитан на перспективу, на протяжении которой не ожидается существенных изменений объекта исследования – ни количественных, ни качественных;

• *краткосрочный* – на перспективу только количественных изменений;

• *долгосрочный* – на перспективу не только количественных, но и преимущественно качественных изменений;

• *среднесрочный* охватывает перспективу между кратко- и долгосрочным прогнозами с преобладанием количественных изменений над качественными;

• *дальнесрочный (сверхдолгосрочный)* – на перспективу, когда ожидаются столь значительные качественные изменения, что, по существу, можно говорить лишь о самых общих перспективах развития природы и общества.

Оперативные прогнозы содержат, как правило, детально-количественные оценки, краткосрочные – общие количественные, среднесрочные – количественно-качественные, долгосрочные – качественно-количественные и дальнесрочные – общие качественные оценки.

Временная градация прогнозов является относительной и зависит от характера и цели данного прогноза. В некоторых научно-технических прогнозах период упреждения даже в долгосрочных прогнозах может изменяться сутками, а в геологии или космологии – миллионами лет.

Прежде чем перейти к вопросам, связанным с прогнозированием, следует дать определение некоторым терминам, тесно с ним связанным.

Цель – решение относительно предположенного результата принимаемой деятельности. Чтобы прогнозирование было наиболее эффективным, цели должны быть конкретными и измеримыми. То есть для каждой цели должны существовать критерии, которые позволили бы оценить степень достижения цели. Без этих критериев невозможна реализация одной из основных функций управления – контроля. Исходя из этого, можно сделать вывод, что цель, степень достижения которой можно количественно измерить, будет всегда лучше цели, сформулированной лишь словесно (вербально).

План – решение относительно системы мероприятий, предусматривающей порядок, последовательность, сроки и средства их выполнения.

Программа – решение относительно совокупности мероприятий, необходимых для реализации научно-технических, социальных, соци-

ально-экономических и других проблем или каких-то их аспектов. Программа может являться предплановым решением, а также конкретизировать определенный аспект плана. *Проект* – решение относительно конкретного мероприятия, сооружения, необходимого для реализации того или иного аспекта программы. *Решение* (в данном ряду понятий) – это идеально предположенное действие для достижения цели.

Из перечисленных выше терминов наиболее тесно связано с прогнозированием планирование. Задачи перспективного планирования и прогнозирования нельзя рассматривать изолированно. В процессе разработки прогноза и плана обязательно производится анализ взаимодействия целей, способов и технических средств для их достижения, необходимых ресурсов для их реализации, по принятым критериям эффективности определяются оптимальные пути их развития. Несмотря на общность задач, постановка их при прогнозировании и планировании различна. План содержит только один (оптимальный) вариант развития, прогноз – несколько альтернатив.

Следует также упомянуть все чаще встречающийся в отечественной литературе термин «форсайт» («форсайт-прогноз») ¹. Методология форсайта отличается от традиционного прогнозирования, футурологии (изучения будущего) и стратегического планирования и не сводится к предсказанию – это методология организации процесса, направленного на создание общего у участников видения будущего, которое стремятся поддержать все заинтересованные стороны своими сегодняшними действиями. Таким образом, эта методология связана не с предсказанием будущего, а, скорее, с его формированием, что позволяет считать форсайт специфическим инструментом управления технологическим развитием, опирающимся на создаваемую в его рамках инфраструктуру.

Концепция современного форсайта базируется:

- на заинтересованности участников заниматься предвидением своего будущего;
- готовности их к сотрудничеству;
- понимании ими необходимости сконцентрироваться на долгосрочной перспективе;
- желании объединить усилия и ресурсы;
- создании координирующей структуры, помогающей прийти к консенсусу.

¹ *Форсайт* (от англ. foresight – взгляд в будущее) – эффективный инструмент формирования приоритетов и мобилизации большого количества участников для достижения качественно новых результатов в сфере науки и технологий, экономики, государства и общества; является одним из важнейших инструментов инновационной экономики.

Частным методом представления результатов форсайта может служить разработка и представление *дорожной карты*¹ (плана мероприятий). Дорожные карты создаются не только для наглядного представления информации о возможных альтернативах развития объекта прогнозирования (картирования) и упрощения принятия управленческих решений. Процесс формирования дорожной карты – это пересмотр имеющегося потенциала развития изучаемого объекта, обнаружение узких мест, угроз и возможностей роста, потребности в ресурсном обеспечении и т. д.

Согласно литературным источникам, опубликованным в советский период, директивные документы под общим названием «План развития...» соответствующих отраслей народного хозяйства (а также предплановые решения и документы, конкретизирующие определенные аспекты плана, например: «Энергетическая программа...», «Комплексная программа химизации...») обсуждались всенародно, а планомерное развитие общественного производства осуществлялось на основе единого хозяйственного плана (см. п. 4.9).

В настоящее время в нашей стране в соответствующих министерствах разрабатываются концептуальные документы, имеющие общее название «Стратегия развития...» какой-либо отрасли или сферы экономики. Следует отметить, что подобные документы разрабатываются правительственными органами всех развитых стран. В «Стратегии развития...» отражаются системные проблемы в отрасли, основные направления развития (включающие в себя возможные альтернативы), задачи, этапы и сроки реализации мероприятий, оценка рисков, приоритетные целевые программы, важнейшие инвестиционные проекты, источники финансирования и другие важные аспекты. Обычно утвержденные стратегии реализуются полностью или частично, могут неоднократно корректироваться. Практика показала, что реализация принимаемых решений является одним из стимулов ускорения промышленного роста тех или иных отраслей, одним из инструментов промышленной политики, доказавшим свою эффективность.

Кроме стратегий в настоящее время также можно встретить документы, утвержденные на государственном уровне, имеющие общее название «План развития...», «Генеральная схема развития...» и др. Далее в учебнике будут подробно рассмотрены некоторые из этих документов.

¹ *Дорожная карта* (от англ. road map – дорожная карта или карта пути) – в американской культуре этот термин в одном из переносных смыслов означает «план, как двигаться дальше», планы на будущее, на перспективу; наглядное представление сценария развития.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит отличие прогноза от плана?
2. Какие типы прогнозов различаются в соответствии с проблемно-целевым типологическим критерием?
3. Каким образом достигается согласование основных составляющих технологического прогнозирования?
4. Кем и где была впервые предложена методология технологического прогнозирования?
5. На какие виды можно подразделить прогнозы в зависимости от объекта исследования?
6. Назовите более общее понятие, частным случаем которого является прогнозирование.
7. От каких параметров зависит временная градация прогнозов?
8. Каковы основные аспекты методологии форсайта?
9. В каких концептуальных документах в настоящее время можно встретить результаты прогнозных расчетов развития какой-либо сферы экономики?

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

2.1. Основные периоды в процессе реализации нововведений

Научная, научно-техническая разработка, изобретение становятся инновацией тогда, когда достигают фазы продукта, услуги, технологии и т. д., и тем самым обеспечивается очередной этап устойчивого развития. Таким образом, инновационному циклу предшествуют научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (разработки) – НИОКР. Их результаты в основном и создают тот задел, на базе которого начинается инновационная деятельность как в конкретной экономике, так и в самом научно-технологическом комплексе.

В широком же смысле инновация – синоним успешного развития социальной, экономической, образовательной, управленческой и других сфер на базе разнообразных нововведений. Инновационная деятельность выступает эффективным инструментом коммерциализации достижений науки, техники и технологий, становится определяющим элементом международной конкурентоспособности страны.

Отечественным и мировым опытом установлено, что прогнозно-аналитические работы являются важнейшим и необходимым направлением инновационной деятельности и служат информационной базой подготовки научно обоснованных решений во всех областях управления научно-техническим развитием.

Перед технологическим прогнозированием и, следовательно, его исследовательской и нормативной составляющими ставится задача нарисовать динамическую картину процесса *перемещения технологии*.

Перемещение технологии представляет собой сложный процесс, происходящий в пределах некоего пространства. Оно происходит на различных уровнях, которые грубо можно разделить на уровни развития и уровни воздействия, и состоит из *вертикальных* и *горизонтальных* компонентов. Вертикальное перемещение технологии через уровни развития характеризуется четырьмя фазами научных исследований и разработок:

- открытие;
- творчество, приводящее к изобретению;
- воплощение;
- разработка (ведущая, например, к прототипу).

За ними следует инженерная фаза (ведущая к созданию функционирующей технологической системы, которая может представлять собой какое-либо устройство, процесс, интеллектуальную концепцию и т. п.). Если за этим вертикальным перемещением следует значительное горизонтальное перемещение технологии (например, практическое применение и эксплуатация, коммерческая реализация, распространение знаний), то это означает, что осуществлено *технологическое нововведение*, или *инновация*. Всякое изменение в пространстве перемещения технологии, достигнутое путем перемещения технологии, называется *изменением в технологии*.

Таким образом, возможности инженерных разработок, связанных с эксплуатацией и обслуживанием, благодаря технологическому прогнозированию значительно расширяются, и при этом больший упор должен делаться на горизонтальное перемещение технологии.

Перемещение в пространстве технологий от технологий более низкого уровня к технологиям более высокого уровня относится к исследовательскому прогнозированию. Или иначе можно сказать, что потребности и цели должны соответствовать средствам и возможностям коммерческой организации. Примером может служить прогнозирование в области электроники, когда прогнозируемый процесс представляется в виде последовательного перемещения технологий, начиная от квантовой электродинамики и заканчивая мгновенно осуществляемой всемирной связью.

Нормативное прогнозирование ориентировано на миссию организации, на те потребности и цели, к достижению которых она стремится. Нормативному прогнозированию соответствует перемещение в пространстве технологий: от технологий более высоких уровней к технологиям более низкого уровня, т. е. от потребностей и целей к средствам их реализации. Примером нормативного прогнозирования может служить прогнозирование в области космоса, когда прогнозируемый процесс представляется в виде последовательного перемещения технологий от понимания проблемы космоса как среды, которая должна служить на благо человека, до конкретных средств ее решения – условий для ядерного деления и количества высвобождаемой при этом энергии и т. д.

По мнению большинства российских и зарубежных исследователей, одними из основных закономерностей развития НТП с точки зрения его внутренней динамики являются следующие:

- сочетание эволюционных и кризисных периодов (революционных прорывов, технологических разрывов, толчков волнообразного развития);

- зависимость от траектории предшествующего развития (ретроспективное изучение объекта).

Прежде всего рассмотрим первую закономерность развития НТП.

Научно-технический прогресс происходит не равномерно, а в форме чередования эволюционных периодов, для которых характерно постепенное совершенствование науки и техники на пути следования общей траектории развития и кризисных периодов. Последние могут быть связаны с радикальными научными открытиями и технологическими усовершенствованиями или с экзогенными факторами (передачей передовых технологий из-за рубежа или получением крупных иностранных финансовых вливаний, способствующих ускоренному переходу на новый технологический уровень – в частности, эти факторы сыграли значительную роль в послевоенном «экономическом чуде» в Японии).

Согласно исследованиям отечественных инженеров-экономистов Г. Л. Авреха, Е. Б. Цыркина и Е. П. Щукина [1], при рассмотрении экономических аспектов развития технологии получения какого-либо массового (крупнотоннажного) химического продукта можно проследить за изменениями удельных затрат на производство такого продукта со времени пуска первых установок. Для получения сопоставимых по годам величин необходимо рассчитывать себестоимость продукта в одинаковых ценах. Кроме того, в текущих издержках производства продукта следует учитывать затраты на добычу первичного сырья. После всех этих операций данные наносятся на график, изображенный на рис. 1 [1].

Каждый участок графика представляет собой кривую, называемую гиперболой. Это означает, что величина функции (себестоимости, например тонны, продукта) в зависимости от аргумента (времени) постоянно снижается, приближаясь к некоторому пределу (асимптоте), которого, однако, никогда не достигает. После промышленной реализации новая технология непрерывно совершенствуется, и постепенно все заложенные в ней резервы снижения затрат исчерпываются. Наступает момент, когда у технологии уже отсутствует экономический потенциал, т. е. возможности удешевления производства, между тем продукт нужен, причем дешевый. Ведь экономически обоснованная потребность в любом химическом продукте зависит от

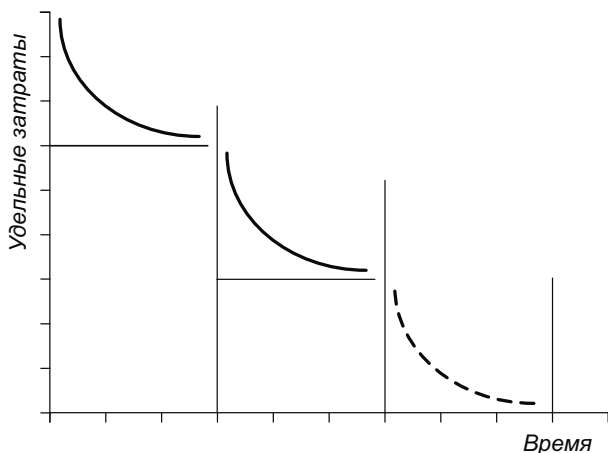


Рис. 1. Удельные затраты на производство массового химического продукта

стоимостного показателя его производства. Стабилизация затрат обычно длится недолго – происходит разрыв кривой, и себестоимость резко снижается. Это означает, что разработана новая, более экономичная технология.

По мнению американского исследователя Р. Фостера (Foster), процесс развития любой технологии имеет вид S-образной кривой (рис. 2, а) [50], которая отражает зависимость между затратами, связанными с улучшением продукта или процесса, и результатами, полученными от вложенных средств.

При этом на первом пологом участке данной кривой осуществляется накопление опыта и знаний, идут лабораторные и фундаментальные исследования: прирост отдачи на единицу затрат в НИОКР невелик. Со временем осуществляется переход на «крутую» часть S-образной кривой (участок повышенной отдачи технологии): на этом участке дополнительные вложения в развитие технологии дают резкое улучшение продукта, а производство его все более оптимизируется; прирост коммерческой отдачи значительно опережает прирост затрат в проведении НИОКР. Наконец, после точки перегиба наступает *технологический предел* для данного способа производства и потребления рассматриваемого продукта. Приходится тратить все более крупные средства на преодоление трудностей, технология насыщается

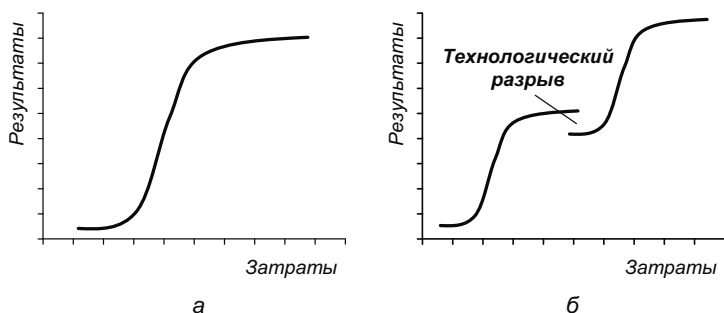


Рис. 2. Логистические (S-образные) кривые, характеризующие процесс развития любой технологии:

а – общий вид S-образной кривой; *б* – технологический разрыв при переходе на новую технологию

ся. Возникает необходимость технологических перемен. В это время, как правило, происходит рождение новой концепции изделия или процесса, которая определяет генеральное направление в данной области.

По мнению Фостера, при стратегическом управлении необходимо выяснять именно взаимосвязь между затраченными усилиями и полученными результатами. Сопоставление результатов с затраченным временем является ошибкой. Для того чтобы добиться прогресса, нужно не время, а приложение усилий. Если сопоставлять полученные результаты и время, которое для этого потребовалось, то путем экстраполяции невозможно прийти к выводам о будущих процессах, так как во временном графике будут скрыты неявные предположения о затраченных усилиях. Стоит приложить другие усилия, и время, необходимое для улучшения результата, сократится или возрастет. Исследователи нередко допускают ошибку, когда сопоставляют технологический прогресс и время, а затем приходят к выводу, что предсказания не сбываются. Основная причина заключается не в том, что трудно предсказать динамику данной технологии, а, скорее, в том, что трудно предсказать, какими темпами конкуренты будут расходовать средства для ее улучшения. Ошибка прогноза – это результат неудовлетворительного анализа конкуренции, а не плохого анализа развития технологии.

В деловом мире пределы указывают: какие технологии, машины и процессы скоро начнут устаревать, перестанут приносить доход

компаниям. Способность менеджеров распознавать пределы имеет решающее значение при определении успеха или неудачи предприятия. Предел – самый надежный ключ к выявлению момента, когда придется разрабатывать новую технологию. По мере приближения к пределу издержки резко возрастают. Если достигнут предел, то продвижение вперед невозможно.

Периоды перехода от одной технологии к другой называются *технологическими разрывами*, во время которых начинается новая S-образная кривая на базе совершенно новых знаний, что показано на рис. 2, б [50].

В качестве примеров можно привести следующие трансформации:

- винтовые самолеты → реактивные;
- натуральные моющие средства → синтетические;
- грампластинки → компакт-диски;
- металлические → керамические двигатели;
- электронные лампы → полупроводниковые элементы;
- классическое управление двигателями → микропроцессорное управление.

Технологические разрывы наступали всегда и будут наступать с растущей частотой. Например, из доисторических времен можно привести следующие трансформации:

- охота и собирательство → скотоводство и земледелие;
- технология кремня → металлургия;
- бронзовое оружие → стальное.

Приведенные примеры иллюстрируют важную особенность эволюции: те самые процессы, которые делают возможной эволюцию системы на ее начальных этапах, на более поздних этапах определяют пределы эволюции. Когда назревают технологические перемены, важно понять, какому участку S-образной кривой отвечает текущий момент для используемой технологии или выпускаемой продукции, не наступил ли уже такой этап, когда дальнейшие вложения в совершенствование производственных процессов и производимых товаров не дадут осязаемых результатов. В этом случае средства целесообразно направлять на разработку и внедрение принципиально новых идей, подготовку, освоение и выпуск изделий «новых поколений». Именно в периоды технологических разрывов обостряется конкуренция.

В основе появления радикальных инноваций лежат крупные новшества, появление которых носит нерегулярный характер. Обычно

им предшествует проведение НИОКР, а результатом их внедрения в производство становится рост инвестиций в отрасль и освоение новых рынков сбыта. В период же эволюционного развития преобладают технологические усовершенствования, возникающие в процессе производства или по инициативе потребителей.

Таким образом, эволюционное развитие осуществляется экстенсивным путем, т. е., например, может происходить расширение производства за счет вовлечения в сферу производства дополнительных материальных, энергетических и трудовых ресурсов, строительства новых предприятий и производств, использующих уже освоенную в промышленности технологию. Кризисный период подразумевает интенсивный путь развития и предполагает использование при расширении производства более совершенных средств и предметов труда, обеспечивающих более эффективное использование материальных и трудовых ресурсов.

Высокая степень рискованности и низкая надежность финансовых прогнозов для НИОКР признаются многими учеными. Фостер [50] указывает, что «по мнению большинства исследователей, введение новшества – уникальный процесс, требующий творческого подхода, одаренности и, пожалуй, даже величия. Они считают, что этот процесс не поддается управлению или предвидению, а можно лишь надеяться на то, что он произойдет, и, пожалуй, ускорить его». Кроме того, введение инновации – это битва на «рынке» между новаторами (атакующими), теми, кто стремится получить прибыль, меняя порядок вещей, и теми, кто обороняется, защищая свои нынешние доходы.

Таким образом, нововведение есть плод усилий выдающейся личности, а также достояние рынка, т. е. поддающийся повторению экономический феномен. S-образная кривая – инструмент прогнозирования нововведений.

Согласно материалам Минэнерго России (2016), в настоящее время ведущие экономики мира, несмотря на беспрецедентно высокий уровень инвестиций и численность занятых в сфере НИОКР, уже длительное время находятся на «технологическом плато». Распространение рыночных отношений в сфере науки и разработки технологий привело к измельчанию тематики и концентрации усилий на улучшающих и поддерживающих инновациях. «Прорывные» инновации, способствующие резкому расширению существующих рынков (со стороны предложения или спроса) в последнюю четверть века были сравнительно редкими. В частности, в сфере энергетики к тако-

вым можно причислить технологии добычи сланцевой нефти, технологии товарного производства сжиженного природного газа и технологии солнечной энергетики.

В то же время появился ряд новых, революционных технологий, в основном на опытной или демонстрационной стадии, которые способны подорвать («закрыть») существующие рынки и обеспечить переход лидеров мирового развития на новый технологический уровень.

В качестве новых, революционных технологий могут рассматриваться:

- информационно-коммуникационные и компьютерные технологии, включая искусственный и кибернетический интеллект;
- новые технологии производства и автоматизации, включая 3D печать и другие аддитивные технологии;
- биотехнологии, включая генную инженерию;
- нанотехнологии, в том числе создание новых материалов с уникальными свойствами;
- технологии «новой энергетики».

Исследования отечественных прогнозистов, члена-корреспондента РАН Б. Н. Кузика и академика РАЕН Ю. В. Яковца [26], подтверждают тот факт, что в обществе нет систем, которые развиваются линейно. Каждая из них имеет свой жизненный цикл и проходит фазы зарождения, становления, распространения, зрелости, кризиса и пребывания в реликтовом состоянии. Системы периодически сменяют друг друга, переходя через кризисные периоды.

В экономической и технологической динамике различают несколько типов циклов:

• *краткосрочные* – продолжительностью 3–4 года (смена моделей техники и модификаций технологий, краткосрочные циклы, открытые в 20-е гг. XX в. английским экономистом Дж. Китчином (Kitchin));

• *среднесрочные* – 8–12 лет (смена преобладающих поколений техники, определяющих конкурентоспособность продукции – деловые циклы Жюгляра, названные по имени французского экономиста К. Жюгляра (Juglar), одним из первых описавшего эти циклы еще в XIX в.);

• *долгосрочные* – 20–25 лет (инвестиционные циклы Кузнецца, названные по имени американского экономиста С. Кузнецца (Kuznets) (уроженца г. Пинск, современная Беларусь), за описание которых в 1971 г. он получил Нобелевскую премию по экономике) и 50 лет

(циклы Кондратьева, или кондратьевские циклы, в основе которых лежит смена преобладающих технологических укладов);

- *вековые* или *цивилизационные* – продолжительностью в несколько столетий (за этот период в авангардных странах сменяются преобладающие технологические, экологические и экономические способы производства, происходят радикальные перемены в социально-политическом строе и духовной жизни общества);

- *тысячелетние* – связанные со сменой преобладающих исторических суперциклов.

Циклы различной продолжительности охватывают все сферы жизни общества, взаимодействуют между собой и образуют сложную ткань динамики цивилизаций. Взаимовлияние циклов проявляется в трех формах: резонирующей (углубляет амплитуду колебаний), демпфирующей (уменьшает ее), деформирующей (нарушает ход цикла).

Все перечисленные циклы, и в большей степени циклы Кондратьева, наиболее ярко проявляются при анализе экономики промышленно развитых стран. Развитие мирового промышленного производства, экономики и общества в целом в определяющей степени базировалось на последовательном увеличении источников энергии и их масштабов.

Согласно многим исследователям [22; 24–27; 47], научно-техническая революция развивается волнообразно с циклами протяженностью примерно в 50 лет, согласно теории длинных волн Н. Д. Кондратьева. Известны 5 технологических укладов (волн) [47].

- *Первая волна* (1785–1835) сформировала технологический уклад, основанный на новых технологиях в текстильной промышленности, использовании энергии воды.

- *Вторая волна* (1830–1890) связана с развитием железнодорожного транспорта и механического производства во всех отраслях на основе парового двигателя.

- *Третья волна* (1880–1940) базировалась на применении в промышленном производстве электрической энергии, развитии тяжелого машиностроения и электротехнической промышленности на основе использования стального проката, новых открытий в области химии. Были внедрены радиосвязь, телеграф, автомобили, самолеты, начали применяться цветные металлы, алюминий, пластмассы и т. д.

- *Четвертая волна* (1930–1990) сформировала уклад, основанный на дальнейшем развитии энергетики с использованием нефти и нефтепродуктов, газа, средств связи, новых синтетических материалов.

Если в число источников энергоносителей на первых трех технологических укладах входили дрова, торф, каменный уголь и энергия рек, то при переходе к четвертому укладу выявилось доминирующее развитие двигателей внутреннего сгорания, послужившее основой для массового развития автомобильного, авиационного, железнодорожного и водного транспорта. Это была эра массового производства автомобилей, тракторов, самолетов, различных видов вооружения, товаров народного потребления. Появились и широко распространились компьютеры и программные продукты для них.

- *Пятая волна* (1985–2035) опирается на достижения в области микроэлектроники, информатики, биотехнологии, генной инженерии, новых видов энергии, материалов, освоения космического пространства, спутниковой связи и т. п.

Каждый из укладов в своем развитии проходил различные стадии, отличающиеся мерой его влияния на общий экономический рост в стране. Устаревшие уклады, теряя свое решающее влияние на темпы роста, оставляли в составе национального богатства страны созданные производственные, инфраструктурные объекты, культурное наследие, знания и т. п. Продолжительность некоторых волн была больше 50 лет в связи с совпадением периода спада уходящей волны с периодом роста новой волны. В связи с ускорением НТП в будущем продолжительность волн (укладов) станет сокращаться.

2.2. Ретроспективное изучение объекта

Любые объекты прогнозирования, как в экономике, так и в науке и технике, обладают заметной инертностью; это предопределяет необходимость тщательного изучения особенностей развития объекта в прошлом. Связь между прошлым, настоящим и будущим в той или иной мере всегда обнаруживается. Таким образом, ретроспективное изучение объекта должно быть составной частью любых прогностических исследований. Такое изучение объектов исследования обладает следующими достоинствами:

- есть возможность установления сроков наступления тех или иных существенных изменений в технологии, имевших место в предыдущий период;
- появляется возможность установить предпосылки, способствовавшие таким изменениям;
- ознакомление с публикациями прошлых лет позволяет выявить и проанализировать существовавшие ранее альтернативы развития,

которые впоследствии не были реализованы. Это особенно важно потому, что число запатентованных изобретений значительно превышает число реализованных разработок, особенно в области химических изобретений.

В американской научной прогностической школе подобное изучение объектов научно-технической сферы называется исследованием эффекта зависимости от траектории предшествующего развития (path dependence).

Если в области научных знаний возможны революционные прорывы, то внедрение новых и улучшающих технологий происходит, как правило, на базе уже существующего способа производства, является следующим шагом на пути общей траектории развития науки и техники. Американские экономисты Р. Р. Нельсон (Nelson), С. Дж. Уинтер (Winter) и Дж. Доси (Dosi) разработали концепцию существования траекторий технологического развития (technological trajectories), с которой также согласуется гипотеза о наличии путей инновационных изменений (innovation avenues), выдвинутая американским экономистом Д. Сахалом (Sahal). В соответствии с этими концепциями в большинстве случаев новые технологические усовершенствования достраиваются к уже существующим.

Так, в США большинство технологических инноваций осуществляются в сферах обороны, медицины и сельского хозяйства. В этих секторах действуют крупные организационные системы создания новых технологий и модернизации существующих. Только в этих трех областях в 1985 г. было занято более 50% ученых и инженеров США, тратилось более 80% средств федеральных фондов исследования и развития и было произведено более 25% валового национального продукта (ВНП).

С другой стороны, это препятствовало эффективному перемещению ресурсов между секторами и тормозило развитие других сфер деятельности. Здесь сказывается эффект экономии на масштабе производства во вновь созданных структурах, формирование устойчивых стереотипов мышления и обрастание законодательных норм неформальными правилами.

В результате при попытке перехода от старого способа производства к новому возникают значительные издержки, которые негативно влияют на внедрение нововведений. Нововведение может быть реализовано лишь после того, как ожидаемые от него выгоды превысят ожидаемые издержки.

Контрольные вопросы

1. Какие виды деятельности предшествуют инновационному циклу?
2. Перечислите основные фазы научных исследований и разработок.
3. Как можно представить процесс пространственного перемещения технологии?
4. Каким образом осуществляется корреляция составляющих технологического прогнозирования с перемещением технологий в пространстве?
5. Какие основные закономерности развития научно-технического прогресса выделяются с точки зрения его внутренней динамики?
6. Каким образом на графике зависимости удельных затрат на производство какого-либо массового химического продукта от времени фиксируется снижение себестоимости продукта?
7. Какой смысл вкладывает Р. Фостер в понятия «технологический предел» и «технологический разрыв»?
8. Каковы принципиальные различия интенсивного и экстенсивного пути развития производства?
9. Перечислите и охарактеризуйте, какие типы циклов различают в глобальной экономической и технологической динамике.
10. Какой фактор предопределяет необходимость ретроспективного изучения объекта прогнозирования?

ГЛАВА 3

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

3.1. Общие методы прогнозирования научно-технического прогресса

Научно-технический прогресс представляет широкое поле приложения теории прогнозирования. Это объясняется высокими темпами развития науки и техники, особенно в условиях современной научно-технической революции, огромными масштабами влияния науки и техники на самые различные стороны жизни общества. Именно поэтому научно-техническая прогностика – наиболее развитый раздел теории прогнозирования.

Научно-техническое прогнозирование сводится по существу к формированию вероятностных суждений о путях и целях развития науки и техники, об обеспечении ресурсами и об эффективности различных альтернатив научно-технического развития.

Научно-техническое прогнозирование направлено на раскрытие особенностей будущего развития науки и техники. Назначением его является оценка вероятных альтернатив развития и их социально-экономических последствий в целях повышения эффективности планов управления научно-техническим прогрессом.

В целом прогнозирование НТП включает в себя:

- установление объекта прогноза;
- выбор метода прогнозирования;
- разработку самого прогноза и его верификацию (вероятностную оценку).

В области науки основными объектами прогнозирования являются состав актуальных перспективных научных проблем, возможные пути и эффективность их решения, потенциальные сферы использования научных достижений, вероятные сроки их решения и практического применения, необходимое ресурсное обеспечение (финансы, кадры, материалы, техника, энергия, информация), структурные изменения в науке и т. д.

В области техники – концепции развития техники, принципы действия технических систем, их основные эксплуатационные параметры, принципиальные конструктивные схемы и структурные решения, вероятные сроки и необходимые ресурсы для реализации. По содержанию различают следующие научно-технические прогнозы:

- появления принципиально новых открытий и изобретений;
- областей использования уже сделанных открытий;
- появления новых конструкций, машин, оборудования, технологий и их распространения в производстве.

По масштабам научно-технические прогнозы можно подразделить на следующие группы:

- глобальные (например, прогнозирование развития в ближайшей и отдаленной перспективе мировых геоэкономических процессов);
- межотраслевые (например, прогнозирование технологического развития России посредством системы межотраслевого эконометрического моделирования¹);
- отраслевые (например, прогнозные расчеты развития химической отрасли);
- производственные (например, прогнозирование технологических параметров или процессов развития технологий);
- узконаправленные (относящиеся к конкретной технологической установке, аппарату, например прогнозирование аварийных ситуаций при работе установки).

Выбор методов прогнозирования зависит от специфики объекта прогнозирования, задач прогноза, горизонта временного периода и др.

В литературных источниках имеется большое количество классификационных схем методов прогнозирования. Безусловно, имеют право на существование частные классификационные схемы, предназначенные для определенной цели или задачи. Так, учитывая многообразие и специфику методов прогнозирования НТП, целесообразно свести их в три большие группы:

- логические средства прогнозирования;
- интернаучные методы;
- частнонаучные методы.

К первой группе относятся *общенаучные методы прогнозирования*, основанные на применении определенной последовательности мыслительных операций к объекту прогнозирования, в результате чего делается система выводов относительно связи объекта прогноза с теми условиями, в которых он существует. В состав общенаучных методов прогнозирования входит весь арсенал средств, которым располагает в настоящее время логика научного исследования. К некоторым из них относятся:

¹ *Эконометрическими* называют статистические модели поведения экономического объекта, построенные методами экономико-математического моделирования.

• *наблюдение* (фиксация явления, его свойств и отношений) и *эксперимент* (наблюдение при контролировании процесса наблюдаемого объекта);

• *анализ и синтез*, например *морфологический анализ* (систематизированное рассмотрение явлений, предметов, стремление не пропустить ни одной возможности; метод осуществим даже при наличии малого количества информации);

• *воображение и предположение* (воображение и идеализация являются средством выдвижения предположений);

• *индукция* (предвосхищение результатов наблюдений и экспериментов на основе данных прошлого опыта) и *дедукция* (переход от общего к частному);

• *аналогия* (вывод, сделанный о свойствах одного предмета на основании его сходства с другим предметом; данный метод тесно связан с индуктивными исследованиями).

Интернаучными считаются те методы, которые применяются для прогнозирования объектов не менее чем в двух науках. К ним относятся следующие¹:

• *экстраполяция и интерполяция*, т. е. построение динамических рядов развития показателей прогнозируемого явления на протяжении периодов основания прогноза в прошлом и упреждения прогноза в будущем (ретроспекции и проспекции прогнозных разработок);

• *моделирование* – построение поисковых и нормативных моделей с учетом вероятного или желательного изменения прогнозируемого явления на период упреждения прогноза по имеющимся прямым или косвенным данным о масштабах и направлении изменений (различают имитационные, игровые, операциональные, сетевые и другие модели);

• *методы теории вероятностей и математической статистики*, опирающиеся на существование корреляционной связи между объектами реального мира;

• *методы экспертных оценок* (опрос экспертов с целью упорядочить, объективизировать субъективные оценки прогнозного характера);

• *методы ассоциаций*, заключающиеся в использовании данных, полученных при анализе какого-либо одного типа событий, для предсказания событий другого типа (применяются для событий, характеристики которых не поддаются точному количественному описанию);

¹ Приведенное разделение способов прогнозирования условно, потому что на практике они взаимно перекрещиваются и дополняют друг друга.

• *методы проб и ошибок* (применяются для макроэкономических прогнозов).

Частнонаучные методы прогнозирования имеют в зависимости от конкретной науки свою специфику и методологию. Например, в области исследовательской химии проводится квантово-химический прогноз физико-химической модификации аминсодержащих стабилизаторов в бинарных смесях.

Таким образом, по оценкам отечественных и зарубежных систематиков прогнозтики, в настоящее время насчитывается свыше 150 различных методов прогнозирования. Однако на практике наибольшее распространение получили методики экспертных оценок (основанные на опросах многочисленных специалистов-экспертов), а также методы моделирования, экстраполяции и интерполяции.

Общие понятия о методах моделирования и основные принципы методов экспертных оценок (метод Дельфи, система ПАТТЕРН и др.) будут приведены в следующей главе. Сущность метода интерполяции была рассмотрена выше в контексте ретроспективного изучения объекта. Сутью метода экстраполяции является распространение закономерностей, сложившихся в науке и технике в предпрогнозный период, на будущее.

Экстраполяция используется главным образом для кратко- и среднесрочных прогнозов. Недостаток данного метода заключается в том, что он не учитывает многих факторов, которые могут появиться в прогнозируемом периоде и в значительной мере изменить сложившуюся предпрогнозную закономерность (тенденцию), что может существенно повлиять на точность прогноза.

Методы экстраполяции наиболее целесообразно применять для прогнозирования направлений науки и техники, изменяющихся во времени эволюционным путем, в том числе для прогнозирования процессов, развивающихся экстенсивным путем. При прогнозировании новых направлений развития науки и техники более эффективны методы, учитывающие опережающую информацию о новых технических идеях и принципах. Например, в этих случаях можно использовать более сложные графоаналитические методы экстраполяции, при которых тенденции развития представляются в виде огибающих кривых и сложных графов. Другой разновидностью методов экстраполяции служит прогнозирование по временному ряду. Однако в основном на практике в подобных ситуациях используются методы экспертных оценок.

В настоящее время существует широко распространенное заблуждение о том, что использование методов или вообще формализованных подходов должно отличать прогнозирование от простого умозрения. Много хороших прогнозов сделано без явного применения каких-либо методов. Методы служат всего лишь для увеличения способностей прогнозиста и, в общем, следуют основным мыслительным приемам, которые интуитивно использует человеческий мозг.

Однако для того, чтобы вероятность получения хорошего прогноза возросла, целесообразно (по мере возможности) при решении какой-либо проблемы использовать несколько методов прогнозирования. Это повысит качество прогноза и позволит определить подводные камни, которые могут быть незамечены при использовании только одного метода.

3.2. Классификация методов технологического прогнозирования

На основании изложенного в п. 3.1 можно сделать заключение, что для законченного практического применения необходимо использовать методы, принадлежащие как к поисковому, так и к нормативному направлению прогностического образа мышления (т. е. технологическому прогнозированию). Одной из главных проблем точности и эффективности прогнозов является максимально полезное сочетание методов исследовательского и нормативного прогнозирования. Это следствие различия используемых методов.

Для выбора подходящих методов может оказаться полезной классификация подходов для прогнозирования на основе получаемых с их помощью результатов: дают ли они новую информацию или стимулируют использование этой информации. Кроме того, можно при этом различать поисковые и нормативные подходы. Под этим углом зрения методы прогнозирования (т. е. технологическое прогнозирование) можно сгруппировать следующим образом.

1. Методы поискового прогнозирования, а также все разновидности формализованных подходов того же направления выполняют две важные задачи: вырабатывают новую информацию относительно будущих технологических систем и их качеств и моделируют различные результаты реализации (технологических) альтернатив в многообразных условиях возможных ситуаций.

Грубо говоря, для исследовательского прогнозирования характерно использование таких методов, как экстраполяция, моделирование, метод исторической аналогии, метод экспертных оценок, напи-

сание сценариев, а также другие методы, базирующиеся на анализе точных эмпирических данных. При использовании методов поискового прогнозирования предпочтение отдается количественной информации. Использование качественной (неколичественной) информации в исследовательском прогнозировании также возможно.

Выработку новой информации можно подразделить на следующие подвиды прогнозирования:

- экстраполяционное (*куда приведет тенденция при допущении ее линейности или непредвиденной случайности?*);
- умозрительное или интуитивное (*какова совокупность альтернатив?*), например метод экспертных оценок и написание сценариев.

Моделирование результатов реализации вариантов в различных системных ситуациях производится с помощью множества методов: кривых обучения, игр, анализа затраты–результаты, многомерных и структурных моделей, написания сценариев и анализа взаимной корреляции.

2. Методы нормативного прогнозирования и формализованные подходы того же направления также выполняют те же две важные задачи: вырабатывают новую информацию, но на этот раз относительно потребностей, желаний, ценностей, функциональных требований и структурных взаимосвязей и моделируют последствия постановки общих целей (политики), стратегических целей и определенных оперативных целей в различных системных ситуациях.

Выработку новой информации можно подразделить на следующие методы:

- умозрительные или интуитивные (*какие нормы и цели ввели бы мы в процесс планирования?*), например улучшение групповой согласованности мнений по методу экспертных оценок;
- структурные (*каковы будущие взаимосвязи, подвергающиеся влиянию действий, которые мы можем совершить?*), наиболее разработанным примером является *дерево целей*, кроме того, методы матрицы решений, анализа взаимной корреляции.

Моделирование последствий постановки общих и конкретных целей для действий в настоящее время опять же включает в себя использование таких указанных выше структурных подходов, как *дерево целей* (в частности, в их числовых вариантах), все виды матриц или другие простые процедуры для ранжирования приоритетов и рационального распределения ресурсов, обычно основанного на исследовании операций и теории решений, динамического моделирова-

ния, изредка – теории игр и аспектов системного анализа. Цель всех этих подходов – направлять структурную организацию мышления путем моделирования общих последствий, вытекающих из взаимосвязей между заранее поставленными целями и признанными техническими или исследовательскими элементами. Критерии для исследований в этом направлении также определены заранее.

Основными комплексными методами, использующимися при нормативном прогнозировании (также и при поисковом), являются в первую очередь метод Дельфи, затем система ПАТТЕРН, матричный метод, а также метод Глушкова и некоторые другие более простые для осуществления методы.

Контрольные вопросы

1. Какой раздел прогнозирования является наиболее развитым?
2. Перечислите основные объекты прогнозирования в области науки и техники.
3. Каким образом осуществляется классификация научно-технических прогнозов по содержанию и по масштабам?
4. На какие три группы подразделяются методы прогнозирования научно-технического прогресса?
5. Какие методы прогнозирования получили наибольшее распространение на практике?
6. Какие действия необходимо осуществлять для повышения качества прогноза?
7. Перечислите и охарактеризуйте, какие основные задачи выполняют методы поискового и нормативного прогнозирования.

ГЛАВА 4

КОМПЛЕКСНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Простые методы прогнозирования, такие как экстраполяция тенденций или написание сценариев, можно использовать для получения информации, которая затем будет структурно организована с помощью других методов, а также переработана для целей планирования совсем иными способами. Тем более если практическое применение прогнозирования нужно разумным образом связать с планированием в крупных промышленных компаниях, то следует использовать множество подходов и комбинировать их в зависимости от задачи прогнозирования.

В данной главе приведены некоторые методы прогнозирования НТП (разработанные в нашей стране и за рубежом), которые могут быть использованы при перспективном планировании основных направлений развития науки и техники¹. Развитие методологической основы и апробация данных методов в нашей стране были начаты во второй половине 60-х гг. XX в. в период триумфального шествия технологического прогнозирования по всему миру (так называемому буму прогнозов) и расцвета естественных и технических наук в СССР.

Для улучшения качества прогноза необходимо улучшить качество информации, необходимой при его разработке. Эта информация в первую очередь должна обладать такими свойствами, как достоверность, полнота, своевременность и точность.

Следует отметить, что для процесса сбора данных, а также для процессов их анализа и обработки важным моментом для выбора определенного метода прогнозирования является тип располагаемой по данному вопросу информации: является она количественной или нечисленной (качественной).

4.1. Методы моделирования

Количественная информация, если она достаточно надежна, обладает тем преимуществом, что позволяет использовать точные математические методы и модели и определять тенденции развития си-

¹ Следует отметить, что в данном учебнике приводится только содержательная сторона методов прогнозирования НТП, без рассмотрения сопровождающих их сложных математических выкладок. Подробную информацию о приемах практического применения некоторых методов прогнозирования можно получить, например, в пособии [39].

туации с определенной точностью, с указанием доверительных интервалов, возможных погрешностей при расчетах и т. д. Однако круг проблем, для которых удается разработать адекватные математические модели, оказывается значительно уже того множества ситуаций, в которых необходимо принимать реальные решения.

Кроме математических (и математико-статистических) моделей, прогнозистами также выделяются логические и информационные модели. К логическим моделям можно отнести исторические аналогии и сценарии будущего, основанные на логическом анализе. Информационные модели могут быть, в частности, основаны на анализе количественных и структурных изменений в потоке научных публикаций и патентов. Кроме того, подробная информация о моделях и моделировании при составлении прогнозов будет приведена в следующих главах.

Разнообразные методы прогнозирования на основе моделирования до 90-х гг. XX в. в основном применялись при составлении глобальных и межотраслевых прогнозов развития и лишь в последние десятилетия начали активно использоваться и в прогнозировании в меньших масштабах, что связано с бурным развитием информационных технологий.

Например, в 2006 г. при разработке Российской академией наук (РАН) «Прогноза социально-экономического инновационно-технологического и территориального развития Российской Федерации на период до 2030 года» применялись балансовые макромоделли, на основе которых строились прогнозные макроэкономические расчеты и выводы. Подобные модели позволяют оценивать в ретроспективе и перспективе изменения структуры экономики по различным воспроизводственным секторам. Прогнозные расчеты по моделям обычно проводятся по нескольким возможным сценариям.

Также существует множество примеров использования моделирования при прогнозировании на отраслевом уровне. В частности, в конце 80-х гг. XX в. в Центральном экономико-математическом институте (ЦЭМИ) АН СССР была разработана и экспериментально проверена экономико-математическая модель прогнозирования развития полимерно-нефтехимического комплекса, сочетающая эконометрический подход к определению потребности в конечной продукции комплекса и задачу оптимизации производства органических продуктов и полимерных материалов.

Компьютерные модели для составления прогнозов используются также на уровне предприятий как составляющие сложных систем

управления и стратегического планирования (в России лишь на стадии тестирования) и на уровне отдельных производств. Для моделирования и расчета промышленных процессов применяются как технологические (анализирующие), так и интеллектуальные (прогнозирующие) компьютерные системы, создаваемые на основе физических, физико-химических и других закономерностей моделируемого процесса [19].

На основе разработанных универсальных технологико-экономических моделей, в частности созданных при помощи разработанных в США программ ChemCAD и PRO-II или отечественного вычислительного комплекса FLOCAS, совмещающих в себе вопросы технологической, энергетической и экономической оптимизации, решаются конкретные технико-экономические задачи по различным производствам, а также задачи управления. Например, принципиальные вопросы по прогнозированию инвестиционной привлекательности на требуемый интервал в условиях нестационарного изменения различных факторов. Основным недостатком применения универсальных компьютерных программ на производствах является недостаточная адекватность моделей реальным процессам и условиям. Это, например, происходит из-за невозможности использования более точных моделей процессов в отдельных аппаратах и учета возмущения параметров при протекании реальных процессов.

Модели более узкого назначения способны максимально точно отображать технологические или технико-экономические процессы. Например, методом имитационного моделирования процесса литья под давлением термопластов осуществляется оптимизация технологических режимов и прогнозирование качества отливок. Также компьютерное моделирование используется для прогнозирования времени технологической перенастройки конвейерных линий (что резко снижает объем брака) и прогнозирования активности¹ и длительности межрегенерационного цикла работы катализатора¹ [19].

Гораздо чаще при разработке прогнозов приходится иметь дело с качественной информацией. В последние годы получило развитие экспертное прогнозирование, ориентированное в большей степени на

¹ Катализаторы (от греч. katalysis – разрушение) – вещества, изменяющие скорость химических реакций посредством многократного промежуточного химического взаимодействия с участниками реакций и не входящие в состав конечных продуктов. По истечении определенного времени катализаторы, если это возможно, подвергают специальной обработке (регенерации) или заменяют свежими.

работу не только с количественной, но и с качественной информацией, получаемой непосредственно от экспертов.

4.2. Методы экспертных оценок

Методы экспертных оценок используются преимущественно в долгосрочном прогнозировании. Они основаны на статистической обработке прогнозных оценок, полученных путем опроса высококвалифицированных специалистов в соответствующих областях.

Различают несколько методов экспертных оценок (групповые, индивидуальные и др.). Групповой метод прогнозирования основан на предварительном обсуждении дерева целей и выработке коллективных оценок соответствующими комиссиями.

Предварительный обмен мнениями повышает обоснованность оценок, но создает возможность для подчинения отдельных экспертов влиянию наиболее авторитетных членов группы. В связи с этим может быть использован метод коллективной генерации идей – «мозговой штурм» («мозговая атака»), при которой каждый участник группы из 10–15 человек высказывает независимо друг от друга оригинальные идеи и предложения. Их критическая оценка производится лишь после окончания совещания. Индивидуальный анкетный опрос также позволяет выяснить независимое мнение экспертов.

Кроме того, можно выделить различные уровни использования экспертных оценок, например качественный (определение возможного развития какой-либо тенденции) и количественный (например, балльные экспертные оценки).

Метод экспертных оценок применялся при подготовке прогноза инновационного развития нефтегазового комплекса России и предложений по корректировке «Энергетической стратегии России на период до 2035 года». Исследования проводились в рамках разработки Программы Президиума РАН «Прогноз потенциала инновационной индустриализации экономики России».

Так, в 2015 г. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН совместно с Научным советом по проблемам евразийской интеграции провел опрос специалистов и экспертов по проблемам перспектив инновационно-технологического развития нефтегазового комплекса.

Опрос проводился с помощью сети Интернет в четыре этапа.

- На первом этапе были опрошены эксперты, представляющие интересы институтов развития, являющиеся разработчиками иннова-

ционных проектов, обладателями интеллектуальной собственности, а также занимающиеся прогнозами стратегического развития технологий для топливно-энергетического комплекса (ТЭК) на период до 2035 г. Список, отраженный в анкете 1, представлял собой широкий перечень групп технологий либо направлений инновационного развития, уже воплощенных в полноценные коммерческо-ориентированные технологии. Для них надо было расставить их приоритетности, отдельно для России, отдельно – для остального мира.

После проведения опроса была получена информация о наличии «узких мест» и проблемных ситуаций в полном технологическом нефтегазовом цикле с учетом перспективных инновационных технологий.

- На втором этапе прогнозного исследования при помощи анкеты 2, сформированной по рекомендациям экспертов Института проблем нефти и газа РАН (ИПНГ РАН), Института органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН), Института катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН (ИК СО РАН) и ряда других научных организаций, были получены ответы от экспертов, которыми (так же как на первом этапе) являлись представители институтов развития.

По каждой из представленных 14 технологий эксперту предлагалось оценить перспективность ее внедрения в России, обосновать новизну и принципиальные отличия от существующих технологий, т. е. перспективность реализации (большинство предложенных новых базовых технологий относилось к переработке и химической конверсии углеводородного сырья).

- На третьем этапе на основании анкеты 3, предназначенной для экспертов представителей вертикально-интегрированных компаний, были получены ответы по оценке перспектив использования нефтегазовыми компаниями инновационных технологий, перечисленных в анкете 2.

- На четвертом этапе анкета 4 предназначалась для предприятий-изготовителей оборудования и разработчиков технологий для ТЭК. Среди предприятий, которым рассылалась анкета 4, были как специализированные компании нефтегазового машиностроения (например, ООО «Волгоградский завод буровой техники» (ВЗБТ)), так и предприятия оборонно-промышленного комплекса (например, ОАО «Воткинский завод»).

В результате были получены ответы экспертов о состоянии потенциала отечественных машиностроительных компаний, производящих

нефтегазовое оборудование, средства связи, контроля, управления, с целью оценки возможности производства нефтегазового оборудования для перспективных инновационных технологий и импортозамещения оборудования, приобретаемого отечественными нефтегазовыми компаниями.

Далее в учебнике будут более подробно рассмотрены некоторые результаты данного прогнозного исследования.

Сферы применения методов экспертных оценок достаточно широки. Известны примеры использования экспертных оценок в технике. В случае ограниченных возможностей применения точных математических методов из-за отсутствия достаточно точной статистической и другой информации о технических характеристиках системы, а также надежных математических моделей, описывающих реальное состояние системы, экспертные оценки являются единственным средством решения многих задач. В частности, сотрудниками Уфимского государственного нефтяного технического университета (УГНТУ) в 2009 г. была разработана методика проведения экспертных оценок по определению оптимальной конструкции защитных покрытий трубопроводов и вида изоляции, выявлены основные параметры, влияющие на долговечность и стоимость изоляционного покрытия.

В рамках проведения работы был составлен опросный лист для экспертов, подобрана группа экспертов (ведущих специалистов страны по проблемам защиты трубопроводов от коррозии), проведен опрос экспертов и количественный расчет групповой экспертной оценки. В результате проведенного анализа результатов групповой экспертной оценки были выявлены наиболее предпочтительные виды изоляционных покрытий.

Проведение опросов включает в себя традиционный метод Дельфи, сценарные методы, методы «мозгового штурма» и др. Различия состоят в специфике вопросов, задаваемых экспертам, которая зависит от целей прогнозирования и конкретных проблем, стоящих перед той или иной страной. В Японии, например, прогноз повторяется каждые пять лет, и от одного прогноза к другому происходит лишь некоторое уточнение его структуры. В Великобритании и Германии, напротив, изменяются сами методы прогнозирования.

Следует более подробно остановиться на некоторых разновидностях методов экспертных оценок и связанных с ними комбинированных методах.

4.2.1. Метод Дельфи

Одним из наиболее распространенных методов является разработанный сотрудниками американской корпорации «Rand» Т. Дж. Гордоном (Gordon) и О. Хелмером (Helmer) *метод Дельфи* (Делфи, Delfy, Delphi), состоящий в обобщении и статистической обработке мнений специалистов относительно перспектив развития той или иной области и смежных областей. Опросы проводятся в несколько туров, в ходе которых вопросы и ответы уточняются. Основным отличием метода Дельфи от традиционного подхода к достижению согласования мнения экспертов путем открытой дискуссии является полный отказ от коллективных обсуждений. Это делается с целью уменьшить влияние таких психологических факторов, как присоединение к мнению наиболее авторитетного специалиста, нежелание отказать от публично выраженного мнения, следование за мнением большинства. В методе Дельфи прямые дебаты заменены тщательно разработанной программой последовательных опросов, проводимых обычно в форме анкетирования с помощью специально разработанных анкет или опросных листов.

Анкеты включают в себя широкий перечень вопросов, касающихся возможности появления, сроков освоения, степени распространения и оценки экономических и социальных последствий прогнозируемых научно-технических нововведений.

Ниже приводится разработанная в 70-х гг. XX в. в Центральном экономико-математическом институте (ЦЭМИ) АН СССР примерная анкета для прогнозирования производства мономеров промышленности синтетических материалов.

1. Какие новые мономеры могут появиться в отечественной химической и нефтехимической промышленности и в какие сроки?
2. Какие методы производства новых мономеров можно ожидать и в какие сроки может быть начато промышленное освоение этих методов?
3. Каковы области применения новых мономеров и полимерных материалов на их основе и возможные объемы использования в этих областях?
4. Какова сырьевая база новых мономеров и оценка ее доступности?
5. Какими могут быть технико-экономические показатели новых мономеров и какова степень их конкурентоспособности со взаимозаменяемыми существующими мономерами (при условии совершенствования их производства)?

6. Могут ли в будущем получить широкое распространение известные мономеры, не имеющие пока массового использования из-за дороговизны, дефицитности и других сдерживающих факторов?

7. Какие иностранные лицензии, патенты или технологию целесообразнее закупить, чем разрабатывать аналогичные отечественные процессы?

Важным элементом проведения прогнозных исследований по методу экспертных оценок является подбор экспертов. Разработаны методы определения компетентности экспертов, формирования экспертных групп и организации их работы. При помощи метода Дельфи в нашей стране и за рубежом было выполнено довольно много прогнозов, в том числе по отраслям химической и нефтехимической промышленности.

В частности, в 2005 г. в нашей стране были проведены исследования по теме «Разработка научно-технологического прогноза на долгосрочную перспективу». Работы проводились в рамках государственного контракта, заключенного между Министерством образования и науки РФ и Центром исследований и статистики науки (ЦИСН). Формирование перечней перспективных технологий в рамках этого проекта осуществлялось на основе опроса специалистов ведущих научных организаций (выполняющих исследования и разработки в соответствующих областях) и промышленных предприятий. Оцененные экспертами перечни ожидаемых научно-технических и технологических достижений с учетом уточнений дополнялись избранными позициями из зарубежных прогнозов. Полученные в итоге формулировки ожидаемых научно-технических и технологических достижений включались в анкету для проведения многотурового опроса экспертов по методу Дельфи. В состав экспертных групп для выполнения данного этапа работы были включены не менее пяти человек, представляющих академическую науку, государственные научные центры, предпринимательский сектор и государственные структуры.

Далее проводился экспертный опрос с целью формулирования итогового прогноза – перечня перспективных технологий по каждому из выбранных направлений прогноза. Опрос проводился по методу Дельфи на основе рассылки анкет. Анкета представляла собой таблицу из двух граф: в первой графе приводился перечень технологий, а во второй – перечень критериев, по которым эти технологии должны быть оценены.

К участию в опросе обычно привлекается широкий круг специалистов (несколько сотен человек по каждому направлению прогноза). Так, например, при проведении опросов о перспективах развития России по направлению «Экология и рациональное природопользование» получены 384 заполненные анкеты, а по теме «Энергосберегающие технологии» – 377. Основная часть экспертов, принимавших участие в опросе, представляла отраслевые и академические институты, примерно одинаковый удельный вес заполненных анкет приходился на государственные научные центры и высшие учебные заведения. В опросе также принимали участие эксперты из федеральных органов управления и некоторых других организаций. Подавляющее большинство экспертов занимают руководящие должности и имеют ученые степени, в том числе почти половина из них – доктора наук¹.

Ввод и обработка результатов анкетного опроса осуществлялись с использованием специализированной программы «Да-система 4.0». На сегодняшний день данный инструмент является современным мощным программным средством для обработки и анализа данных социологических, маркетинговых исследований, а также экспертных опросов. В программе используется оригинальная отечественная технология детерминационного анализа (Да-технология), которая позволяет анализировать влияние одних факторов (признаков) на другие.

Метод Дельфи наиболее целесообразно применять в таких ситуациях, когда имеющиеся в распоряжении или доступные данные непригодны для решения существующей проблемы или в распоряжении нет нужных данных, нет достаточного времени для их сбора, процесс получения и анализа необходимых данных слишком дорогостоящий (многообразные проблемы являются переменными по своей сущности и взаимодействие между ними неизвестно).

4.2.2. Система ПАТТЕРН

Другой, также основанной на экспертных оценках прогнозирующей технологией является *система ПАТТЕРН* (PATTERN²), разработанная в США и применяющаяся для определения наиболее перспективных направлений научных и технических разработок при исполь-

¹ Однако в некоторых ситуациях круг специалистов, может быть, следует немного ограничить, так как чем шире состав группы экспертов, тем сильнее инерционность, консервативность их прогнозов.

² PATTERN – Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers = Обоснование планирования посредством научно-технической оценки количественных данных.

зовании их в военных целях. Этот метод построен на системе, состоящей из последовательности следующих элементов (принципов):

- составление иерархического списка проблем (общая проблема делится на частные до тех пор, пока проблема самого низкого уровня может быть оценена одним человеком);
- принцип прогнозирования (заключается в *написании сценария* (динамической модели объекта в будущем), т. е. логической последовательности событий в явно выраженных временных координатах);
- составление дерева целей (заключается в определении основных целей каждого этапа развития модели, причем цель одного уровня должна обеспечиваться системой мероприятий предыдущего уровня, и так для всех целей);
- определение путей решения конкретных научных идей и технических проблем;
- взаимная полезность (корректировка между собой полезности научной и технической разработки для аналогичных или смежных типов научно-технических задач).

4.2.3. Матричный метод

При определении перспектив развития сложных явлений большое значение имеет вопрос об определении взаимного влияния их отдельных компонентов друг на друга и на достижение целей объекта прогноза. Одно из возможных решений этой задачи может быть достигнуто на основе применения *матричного метода*. Элементами составляемой матрицы влияния комплекса факторов являются оценки (в частном случае это могут быть экспертные оценки). Этот метод позволяет произвести сравнение различных направлений прогнозных разработок по степени важности для достижения совокупности целей или отдельной цели.

Матричный метод является нормативным методом прогнозирования, в котором задаются конечные цели и в процессе прогнозирования определяются пути и средства их достижения. Прогностическая функция матричного метода заключается в оценке влияния различных вариантов происходящих сдвигов на достижение конечных целей объекта прогноза. Практически прогнозная информация формируется за счет того, что в комплексы факторов входят альтернативные решения тех или иных проблем, в том числе и такие, которые находятся на различных стадиях разработок.

Исходной информацией для прогнозирования по матричному методу с использованием экспертных оценок являются:

- перечень целей объекта прогнозирования и коэффициенты их относительной важности;
- перечень факторов, влияющих на достижение целей объекта прогноза, сгруппированных в однородные комплексы;
- коэффициенты (баллы) матриц, определяющих влияние одного комплекса на другой или на достижение целей;
- показатели относительной самооценки компетентности экспертов, принимавших участие в работе по прогнозированию развития объекта;
- данные о группах, участвовавших в работе экспертов, необходимые для определения компетентности экспертов.

В частности, в упомянутом в п. 4.1 прогнозе, разрабатываемом РАН, кроме использования балансовых макромоделей, осуществлялось применение многофакторных матриц (в частности, воспроизводственно-циклической, геодиверсификационной, стратегической и др.).

4.3. Методы на основе применения патентной информации

Для технологического прогнозирования в различных отраслях промышленности особую важность имеет применение патентной информации, так как она обладает важными качествами – достоверностью, оперативностью и полнотой. Достоверность патента с юридической точки зрения гарантируется государством, выдавшим патент (на основании проведенной экспертизы).

Оперативность патентной информации обеспечивается тем, что в практике современных прикладных разработок преобладает тенденция правовой защиты изобретений, а при этом никакие иные публикации, порочащие новизну заявки, до завершения патентования недопустимы. Кроме того, имеется возможность изучать выкладку всех заявок, полученных патентным ведомством; это делает патентную информацию самой оперативной.

Полноту информации может обеспечить только совокупность патентов, в то время как рассмотрения лишь отдельно взятого патента в информационном отношении недостаточно. Особенно это касается изобретений в области химии, где патентное законодательство сужает объем защиты специфическими требованиями и правилами составления ограничительной части патентной формулы. Поэтому каждый отдельный патент посвящен либо веществу, либо способу производства, либо катализатору, либо технологической схеме, аппарату и т. д. Обычно данных, содержащихся в одном патенте, недостаточно для сколько-

нибудь надежного определения технико-экономических показателей и оценки эффективности предложенного технического решения.

В частности, для нефтехимической отрасли целесообразно использовать методики среднесрочного прогнозирования по данным патентной информации, так как долгосрочное инженерное прогнозирование (с периодом упреждения прогноза более 15 лет), по данным патентов, лишено смысла по причинам морального старения технологии.

Ниже приведено краткое описание некоторых методов прогнозирования развития техники (разработанных отечественными учеными к началу 70-х гг. XX в.), основанных на патентной информации.

4.3.1. Прогнозирование научно-технического прогресса на основе качественно-количественного анализа динамики выдачи патентов

Для конкретного анализа тенденций научно-технического развития необходимо знать прирост знаний. За единицу знания берется сообщение о новом факте науки и техники, которое заключено в патентном описании. Все дальнейшие рассуждения относятся к анализу патентной информации.

Общая идея прогнозирования (предложенная Б. Н. Тардовым) в этом случае исходит из следующих положений:

- техническое решение, зафиксированное в патенте, будет внедрено в серийное производство только через 12–16 лет;
- существует неразрывная связь между динамикой информации и научно-техническим прогрессом;
- некоторые отклонения в информации нивелируются законом больших чисел.

Согласно разработанной Б. Н. Тардовым системе поиска, розыску подлежат все классы патентов, к которым возможно отнесение данного изобретения (даже если на патенте эти классы и не проставлены). Тем самым гарантируется учет применимости патентов в различных отраслях техники.

С помощью данной методики были проанализированы некоторые тенденции развития гидротурбостроения, конструирования изотермических вагонов и других областей техники.

Однако при использовании данного подхода исследователь сталкивался с некоторыми методическими трудностями (например, различающейся по странам системе патентования), от некоторых из них сделана попытка избавиться в следующем методе.

4.3.2. Прогнозирование развития техники на основе теоретико-информационного анализа патентов

Данная методика разработана (на уровне идеи) С. М. Ямпольским, Ф. М. Хилоком и В. А. Лисичкиным. При решении проблемы прогнозирования важно определить, какие объекты техники могут быть подвергнуты рассмотрению. К ним можно отнести конструкцию или структуру машины, технологию производства, методы конструирования и область применения технического объекта.

Анализ патентов за 3–5 лет позволяет предвидеть возможности будущей техники.

Прогнозирование развития отдельных направлений при технических разработках проводится в два этапа. На первом этапе рассматриваются вопросы, типичные решения которых сводятся к следующим закономерностям.

- Первый год (нулевой) считается исходным. Количество патентов, выданных в течение этого года, сравнивается с их числом в каждом из последующих годов.

- Если число патентов в каждом из пяти последующих лет превышает их число в нулевом году, то это направление техники будет развиваться в течение пяти или шести лет. Такой период называется упреждающим.

- Если число патентов в каждом из пяти последующих лет меньше их числа в нулевом году, то интенсивность развития данного направления в технике будет снижаться начиная с нулевого года.

- Если число патентов стабильно на уровне нулевого года (маловероятный случай), то это направление техники в конце периода упреждения либо начнет развиваться, либо пойдет на убыль.

- Если патенты в течение изучаемого периода не выданы, то данное направление явно бесперспективно.

- Если рост патентов характеризуется экспоненциальной кривой, данное направление техники будет развиваться бурно.

На втором этапе прежде всего определяется объект прогноза. Затем из ретроспективного патентного фонда выбираются все патенты, касающиеся данного объекта за некоторый отрезок времени (например, за 10 лет). Из всех патентов выделяются признаки, относящиеся к объекту, и устанавливается их зависимость или независимость от других признаков.

Далее подсчитывается частота появления каждого зависимого и независимого признака. Таким образом, определяется вероятность появления каждого признака, а также условные вероятности 2, 3, ..., n признаков.

4.3.3. Прогнозирование развития техники путем оценки инженерно-технической значимости изобретений

В качестве исходного предположения, лежащего в основе методики прогнозирования (разработанной В. Г. Гмошинским и апробированной на строительной технике), выступает утверждение о том, что исследование ретроспективного патентного фонда за 5–10 предшествующих лет позволяет делать прогноз возможных путей развития техники на 5–10 следующих лет.

Методика (прогнозирования предполагает проведение трех этапов исследований:

- оценка новизны единичного патента (это главный этап);
- выделение конкурирующих групп патентных решений и определение перспективности каждой из них;
- оценка уровня патентования в какой-либо области техники.

4.3.4. Определение уровня научно-технических разработок и тенденций их развития

Этот метод (предложенный И. Ю. Зборовским) основан на изучении количества изобретений с учетом их качественных характеристик. Под количеством изобретений при этом понимается количество патентов и авторских свидетельств, выданных на изобретения в течение рассматриваемого промежутка времени.

Качественные характеристики – это основные особенности, отличающие одно изобретение от другого. К таким особенностям относятся, например, технический уровень изобретения, широта проблемы, лежащей в основе изобретения, сложность изобретения, спрос на него.

4.4. Оценка эффективности изобретения согласно концепции предельно эффективной технологии

Приведенные выше методы прогнозирования, основанные на динамике патентов и содержащейся в них информации, сутью которых является утверждение: «чем больше патентов в некоторой области, тем она эффективнее, здесь и надо отыскивать новинки», были подвергнуты критике экономистами, специализирующимися в химической отрасли.

В середине 70-х гг. XX в. отечественными инженерами-экономистами Ю. А. Калягиным и Е. Б. Цыркиным при разработке алгоритма расчета показателей предельно эффективной и реально достижимой технологии в нефтехимии была предложена концепция пре-

дельно эффективной технологии (ПЭТ). Под предельно эффективной технологией в химической и нефтехимической промышленности понимается такая технология получения целевого продукта, при которой достигается его максимально возможный выход¹. Также, исходя из того, что выход является произведением степени конверсии сырья и селективности² по целевому продукту, эти технологические параметры должны быть тоже максимально допустимыми. Селективность, конверсия³, тепловой эффект определяют не только себестоимость продукта, получаемого при условиях ПЭТ, но и капитальные вложения. Если предельная селективность процесса 100%, то образуется только один продукт. Следовательно, затраты на разделение продуктов реакции равны нулю. При снижении селективности капитальные вложения в узел разделения начинают ступенчато расти. Ведь если образуется не один, а два продукта, то уже требуется минимум одна колонна, чтобы их разделить, если три продукта – то две колонны, и т. д.

Степень приближения реальной технологии к предельно эффективной, ведущей прежде всего к снижению удельных затрат на производство, может рассматриваться как показатель эффективности производственного процесса.

Понятие ПЭТ в первую очередь базируется на законах химической термодинамики и кинетики, от которых зависят затраты сырья и энергии. Известно, что кинетика определяет скорость целевой и побочной реакций. Их соотношение обуславливает селективность процесса и затраты на сырье. Весьма важно, что в этом случае оценка будет осуществляться на уровне экономически минимальных производственных систем.

Метод ПЭТ не противостоит другим приемам прогнозирования развития техники, а дополняет их. Основой для расчетов показателей ПЭТ может, например, служить анализ патентной информации. Также следует руководствоваться рассмотренной выше закономерно-

¹ *Выход продукта* – отношение количества полученного продукта к теоретически возможному количеству (по стехиометрическому уравнению) в расчете на поданное сырье; численно определяется как произведение селективности и конверсии.

² *Селективность (избирательность)* – отношение количества полученного продукта к теоретически возможному количеству (по стехиометрическому уравнению) в расчете на превращенное сырье.

³ *Конверсия (степень превращения сырья, коэффициент использования)* – отношение количества вещества, вступившего в химическое взаимодействие с другим веществом, к количеству этого же вещества, поданного в реактор.

стью, что каждая технология после реализации в промышленном масштабе совершенствуется, достигает предела и затем заменяется новой (см. рис. 1 и 2).

При оценке того или иного изобретения с помощью показателя ПЭТ авторы методики рекомендуют применять методы экспертных оценок, но при условии, что оценивается не весь патент, а один из его аспектов. В дальнейшем каждый из аспектов оценивается по совокупности патентов и устанавливается тенденция развития данной технологии. В основу анализа должно быть положено полное описание изобретений и патентные бюллетени по ведущим в данной области странам.

Согласно методике ПЭТ можно установить количественные зависимости между функциональными законами превращения вещества, тепло- и массообмена в химико-технологических процессах, с одной стороны, и экономическими показателями промышленной технологии – с другой. Взаимосвязи затрат на технологию позволяют научно обосновать предельные значения применительно к любому технологическому процессу: действующему, разрабатываемому или к процессу, необходимость которого еще только обсуждается. Предельные значения селективности и конверсии соответствуют предельно эффективным затратам и характеризуют предельно эффективную технологию.

Таким образом, проводя системный анализ по концепции ПЭТ, можно осуществлять прогнозирование появления новых, более эффективных технологических процессов. Методика ПЭТ позволяет с достаточной вероятностью рассчитать ожидаемые технико-экономические показатели любой гипотетической технологии. Однако вопрос о том, когда эта технология появится в виде технических решений, остается открытым. Более того, неясно, будет ли вообще когда-либо реализована эта технология, так как всегда можно предположить возможность появления других, тоже пока гипотетических конкурирующих вариантов.

В связи с концепцией ПЭТ следует упомянуть понятие *Е-фактора* (*E factor*), введенное в химическую технологию в конце 80-х гг. XX в. профессором Технологического университета в г. Делфте (Нидерланды) Р. А. Шелдоном (Sheldon). *Е-фактор* (или *Environmental Factor* – экологический фактор) представляет собой отношение количества побочных продуктов к количеству целевых и предназначается для оценки воздействия производственных процессов на окружающую среду.

Несмотря на то что экологическая составляющая обычно включается в число технико-экономических показателей, в последнее время она приобретает и самостоятельное значение, вследствие повышения технологических требований к охране окружающей среды.

В настоящее время, несмотря на современные достижения в области органического синтеза, химическая промышленность, производящая слишком много отходов, столкнулась с серьезными экологическими проблемами. Теперь можно оценить количество отходов на килограмм произведенного продукта – *E*-фактор. В табл. 1 представлены данные по разным отраслям химической промышленности, собранные Шелдоном за 20 лет.

Таблица 1

***E*-фактор в различных отраслях химической промышленности**

Отрасль	Тоннаж продукции	<i>E</i> -фактор (кг отходов / кг продукта)
Нефтепереработка	10^6 – 10^8	менее 0,1
Крупнотоннажная (основная) химия	10^4 – 10^6	1–5 (и менее 1)
Тонкая химия	10^2 – 10^4	5–50 и более
Фармацевтическая промышленность	10^1 – 10^3	25–100 и более

Источник: Персональный сайт Р. А. Шелдона. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.sheldon.nl/roger/efactor.html> (дата обращения: 16.01.2017).

Так, в нефтепереработке количество отходов составляет примерно одну десятую на 1 кг продукта, в основной химии – от 1 до 5, в тонкой химии эта величина значительно больше – от 5 до 50, в фармацевтике – гигантские относительные объемы отходов, но при этом малые объемы производства.

Одной из причин того, что значения *E*-фактора резко возрастают для тонкого синтеза и получения фармацевтических препаратов, является то, что последние включают многоступенчатый синтез. Кроме того, большие значения *E*-факторов в тонкой химической и фармацевтической промышленности связаны также с использованием классических методов производства без применения катализаторов.

Концепция *E*-фактора сыграла важную роль в привлечении внимания к химической промышленности и, в частности, к фармацевтической промышленности, в связи с проблемами отходов химических производств. Данная концепция продолжает являться стимулом для разработки более экологически чистых и эффективных процессов.

Кроме понятия «*E*-фактор», существует термин «*атомная селективность*», т. е. степень использования атомов реагентов при получении продукта. Таким образом, атомной селективностью называется отношение молекулярной массы целевого продукта к сумме молекулярных масс всех образовавшихся веществ с соответствующими стехиометрическими коэффициентами. Сравнивая значения этого параметра, можно быстро оценить разные методы синтеза с точки зрения их вредности для окружающей среды.

В частности, при получении оксида этилена классическим хлоргидринным способом атомная утилизация составляет лишь 25%, а при современном нефтехимическом способе (путем окисления этилена под действием катализатора) атомная утилизация – 100%.

Атомная селективность – очень полезный инструмент для быстрой теоретической оценки количества отходов путем сравнения альтернативных процессов. Напротив, *E*-фактор – это фактическое количество отходов, образующихся в процессе.

Однако существует одно исключение, принятое Шелдоном, – при вычислении *E*-фактора он вообще не учитывает воду. Так, при рассмотрении потоков водных отходов рассматриваются только содержащиеся в воде неорганические соли и органические соединения, при этом сама вода исключается. Включение воды в вычисления может привести к сильно завышенным значениям *E*-фактора, которые будут препятствовать сравнению параметров.

Таким образом, чем выше *E*-фактор, тем больше отходов и, следовательно, сильнее негативное воздействие на окружающую среду. Идеальное значение *E*-фактора равно нулю.

Существуют также модификации *E*-фактора, например параметр, называемый *массовой интенсивностью процесса* и определяемый как *E*-фактор + 1. Также используется *коэффициент среды*, который получается умножением *E*-фактора на условный коэффициент вредности. Например, если для таких безвредных солей, как NaCl и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, принять коэффициент вредности, равный 1, то солям тяжелых металлов можно дать уже от 100 до 1000 в зависимости от их токсичности, сложности утилизации и т. д.

В настоящее время при прогнозировании мировых тенденций дальнейшего развития производственных систем после структурной перестройки экономики в соответствии с требованиями времени и становления нового типа общественного потребления рассматривается некая гипотетическая модель совершенного производства. В каче-

стве подобной модели можно рассматривать модель ноосферы, предложенную в начале XX в. Э. Леруа (Le Roy) и В. И. Вернадским, где интеграция естественнонаучного, инженерного и гуманитарного знания позволит создать сбалансированные по ресурсам производственные системы, обладающие высокой эффективностью и отвечающие интересам большинства членов общества.

В недалекой перспективе прогнозируется осуществление переноса процессов формообразования на наноуровень, что может привести к концептуальным изменениям в экономическом инструментарии, используемом в управлении производственными системами. В этом случае могут быть практически реализованы рассмотренные выше концепции ПЭТ и *E*-фактор. Оценка эффективности технологии и принятие на ее основе управленческих решений потребуют осуществления экономического и экологического мониторинга состояния соответствующей производственной системы. Мониторинг должен представлять собой специально организованное наблюдение, позволяющее отслеживать динамику процессов развития системы, оценивая адекватным образом значимые последствия от реализации любых управленческих воздействий в рамках реализации стратегии и идентифицировать устойчивое направление развития, степень приближения к предельно эффективной технологии.

4.5. Анализ научно-технического прогресса с помощью систематизации научной информации. Метод информационных карт

В данном методе прогнозирования (предложенном в работах Ю. И. Рылева и др.) выдвигается и разрабатывается идея систематизации историко-научной и историко-технической информации, основанной на таких объективных связях, которые определяют возможные аспекты анализа исторического процесса. При этом подчеркивается, что, во-первых, методология изучения конкретного хода исторического развития должна лечь в основу методологии прогнозирования, во-вторых, систематизированная таким образом информация определяет возможность проведения глубокого и многостороннего анализа научно-технического прогресса, следовательно, выступает наиболее точной и удобной фактографической базой прогнозирования.

При проведении систематизации во всех областях науки и техники создается единая картина научно-технического прогресса; появляется возможность установления связей между отдаленными областями

ми, выявления белых пятен в исследованиях и т. д. Впервые примененная в этом методе прогнозирования система историко-структурных карт (информационных карт) в настоящее время служит основой для автоматизации процесса хранения и поиска информации с помощью информационных технологий.

В частности, в конце 90-х гг. XX в. коллектив сотрудников Минэкономки России и Научно-исследовательского центра мониторинга инвестиций и рынков (ЦМИР) при Минэкономки России занимался оценкой ресурсосберегающей эффективности наукоемких технологий. Информационной основой в рамках единого методического подхода для выполнения указанной выше оценки являлись соответствующие информационные карты и составляемые и обновляемые на их основе перечень новых технологий производства отдельных видов продукции и их кодовые словари.

Данные, характеризующие новые технологии в информационных картах, помимо технико-экономических показателей, включали в себя и их качественные характеристики:

- научную (отечественная, зарубежная) базу реализуемой технологии;
- стадию завершения разработки технологии;
- степень новизны технологии;
- форму (товарная) использования научной базы технологии (патенты, лицензии, ноу-хау);
- наличие отечественного потенциала реализации технологии;
- варианты организации внедрения технологии;
- специальные (дополнительные) условия реализации технологии.

Это обстоятельство позволило предварительно формировать группы технологий, имеющие определенный качественный признак (признаки) для их последующего отбора по критерию максимизации ресурсосберегающей эффективности инвестиций.

Предлагаемые рекомендации были ориентированы на ресурсосберегающие критерии оценки и отбора новых технологий, поэтому экологический и социальный факторы их реализации, не имеющие количественных оценок, учитывались при равных или сопоставимых оценках их эффективности.

4.5.1. Национальный информационный центр ВИНТИ РАН

В нашей стране в ведомстве Российской академии наук существует национальный информационный центр, обеспечивающий рос-

сийское и мировое сообщество научно-технической информацией по проблемам точных, естественных и технических наук. Этим центром является основанный в 1952 г. Всероссийский институт научной и технической информации РАН (ВИНИТИ РАН).

Источником формирования информационных продуктов и других изданий ВИНИТИ РАН является поток мировой научно-технической литературы, поступающей из более чем 70 стран мира на 40 языках по естественным, точным, техническим и прикладным наукам, а также по различным отраслям и сферам экономики и некоторым актуальным проблемам.

Информационные продукты ВИНИТИ РАН представлены следующими основными видами:

- реферативный журнал ВИНИТИ РАН;
- база данных ВИНИТИ РАН по науке и технике;
- отдельные информационные издания;
- классификационные системы.

Реферативный журнал ВИНИТИ РАН (РЖ ВИНИТИ) представляет собой периодическое издание, в котором публикуются рефераты, аннотации, библиографические описания книг и статей из журналов и сборников, материалов научных конференций, депонированных научных работ и других научно-технических изданий.

РЖ ВИНИТИ состоит из 28 сводных томов, включающих 224 выпуска, каждый из которых может быть издан отдельно, и 40 отдельных выпусков, не включаемых в сводные тома. Все выпуски РЖ издаются ежемесячно, кроме выпусков по химии и химической технологии (периодичность 2 раза в месяц). РЖ ВИНИТИ отражает около одного миллиона документов ежегодно, среди которых более 30% поступают из российских источников. В настоящее время издается в печатной и электронной форме.

База данных ВИНИТИ РАН (БД ВИНИТИ) – это одна из крупнейших в России баз данных по естественным, точным и техническим наукам. Ежемесячно обновляемая БД ВИНИТИ формируется по материалам периодических изданий, книг, фирменных изданий, материалов конференций, тезисов, патентов, нормативных документов, депонированных научных работ, 30% которых составляют российские источники. Документы БД ВИНИТИ содержат библиографию, ключевые слова, рубрики и реферат первоисточника на русском языке. БД ВИНИТИ содержит материалы РЖ ВИНИТИ с 1981 г. БД ВИНИТИ также содержит генерируемую с 2001 г. единую политематическую базу данных. БД ВИНИТИ состоит из 29 тематических фрагментов общим объемом более 28 млн документов.

Отдельные информационные издания ВИНТИ РАН. К основным отдельным изданиям ВИНТИ РАН относятся:

- обзорная информация (результаты анализа и обобщения сведений по актуальным проблемам науки и техники);
- проблемно-ориентированные реферативные, информационные сборники и бюллетени;
- сигнальная информация (СИ), где представлено содержание 800 научных и научно-популярных журналов, издающихся в России и других странах СНГ;
- экспресс-информация (расширенные рефераты наиболее интересных научно-технических документов, издаваемых в России и за рубежом);
- библиографический указатель «Депонированные научные работы»;
- монографии по теории и практике в области информационной деятельности. Монографии анализируют современное состояние информационных структур, систем и процессов, а также освещают другие проблемы, связанные с информационной деятельностью.

Классификационные системы. Для систематизации научной информации существуют следующие классификационные системы.

- Универсальная десятичная классификация (УДК). Это основа систематизации накопленных человечеством знаний в библиотеках, базах данных и других хранилищах информации. УДК принята в большинстве стран мира для систематизации различных документов, включая научно-технические. ВИНТИ РАН обладает монопольным правом на распространение и внедрение УДК на русском языке.

• Государственный рубрикатор научно-технической информации (ГРНТИ) – универсальная иерархическая классификация областей знаний, принятая для систематизации всего потока научно-технической информации, обрабатываемого в ВИНТИ.

• Рубрикатор отраслей знаний ВИНТИ РАН (РВИНТИ). Расширенная классификация для естественных и технических наук, построенная на основе ГРНТИ. РВИНТИ предназначен для систематизации информационных продуктов и поиска в БД ВИНТИ. Он позволяет наиболее полно и точно сформулировать информационный запрос пользователя.

Таким образом, основная цель ВИНТИ РАН состоит в том, чтобы обеспечить информационную поддержку ученым и специалистам России в области естественных и технических наук.

4.5.2. Систематизация научной информации по общественным наукам

Вопросы систематизации научной информации в области социальных и гуманитарных наук также находятся в ведомстве РАН. В 1969 г. на основе Фундаментальной библиотеки общественных наук (ФБОН) был создан Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук (ИНИОН РАН). Он приобрел широкую известность благодаря системе научно-информационных изданий (библиографических, реферативных и аналитических), научным исследованиям в различных областях социального и гуманитарного знания, Фундаментальной библиотеке, насчитывающей более 14 млн единиц хранения, Автоматизированной информационной системе по общественным наукам (АИСОН).

В ИНИОН РАН сосредоточены все виды библиотечной и информационной работы с документами и все виды информационного и библиотечного обслуживания отдельных ученых и исследовательских коллективов.

ИНИОН РАН выпускает библиографические указатели новой литературы по социальным и гуманитарным наукам. В частности, существует раздел «Экономика» (периодичность – 12 номеров в год).

С 1993 г. ИНИОН РАН издает библиографический указатель «Новая литература по социальным и гуманитарным наукам. Экономика», который является продолжением библиографических указателей «Новая советская литература по общественным наукам. Экономика» и «Новая иностранная литература по общественным наукам. Экономика», издание которых начато соответственно в 1934 и 1951 гг.

Библиографический указатель «Экономика» предназначен для научных работников, специалистов, преподавателей высшей школы, аспирантов, студентов старших курсов, практических работников, а также для использования в библиографической и справочной работе научных библиотек и информационных центров. В него включаются следующие виды изданий: монографии, сборники статей, авторефераты диссертаций, отдельные статьи и рецензии из сборников, журналов и прочих периодических изданий, статистические материалы и обзоры, документы конференций, симпозиумов, отчеты и доклады ведомств и управлений, учебники для высших учебных заведений, библиографические и правовые издания. Информация о рукописях, депонированных в ИНИОН, отражается в библиографическом указателе «Депонированные научные работы».

Систематизация материалов осуществлена по рубрикам ИНИОН, совмещенным с Рубрикаторм Государственной автоматизированной системы научно-технической информации (ГАСНТИ). Внутри отдельной рубрики книги и статьи располагаются в общем алфавитном ряду. Издание снабжено авторским и предметным указателями, списком использованных источников.

С 1980 г. (с № 1) указатель выпускается на базе Автоматизированной информационной системы по общественным наукам ИНИОН.

4.6. Прогнозирование научно-технического развития на основе комплексного анализа информации (метод Глушкова)

Согласно этому методу прогнозирования (предложенному Г. М. Добровым и существенно переработанному академиком В. М. Глушковым), все научно-технические прогнозы нужно разделять не на две, а на три составляющие единый комплекс типа прогнозов: *исследовательский прогноз* (формулирование целей), *программный* и *организационный*. Два последних типа – это частные случаи нормативных прогнозов, причем задачей программного прогноза является нахождение возможных путей достижения ранее поставленных целей (*что конкретно необходимо, чтобы достичь желаемого?*). Задача организационного прогноза – оценка перспектив роста научного потенциала и указания ориентировочных размеров ресурсов, необходимых для достижения целей научно-технического развития (*в каком направлении ориентировать решения, чтобы достичь цели?*). Все три вида указанных прогнозов составляют единый комплекс вероятностных оценок. Достоинством такого подхода считается более выраженное стремление к увязке целей и путей их достижения с экономическими условиями реализации прогнозов.

Прогноз должен являться результатом переработки разнообразной научно-технической информации, накопленной и созданной человечеством в процессе исторического развития. Будучи «сырым материалом» для разработки прогнозов, исходная информация, естественно, должна быть определенным образом систематизирована и классифицирована.

В частности, в 70-х гг. XX в. группа специалистов Института кибернетики АН УССР провела апробацию данного подхода для прогнозирования изменений в области угледобывающей техники. За основу был взят факт, что под влиянием практики и научных исследова-

ний с учетом реального опыта удач и неудач в конструировании машин для добычи угля создатели новой техники в данной области на 8–10 лет раньше изменения облика действующих технических средств переклочили свои усилия на конструирование перспективных машин «крупного скола» и «узкого захвата». Опираясь на полный объем заявок на изобретения в области угледобывающей техники, специалисты сделали прогнозы о тенденциях ее изменений.

Принятая в данной и других работах методика научно-технического прогнозирования характеризуется следующими этапами комплексно выполняемой разработки (метод Глушкова):

- получение задания на прогноз с указанием желаемого конечного назначения и масштабов приложения будущего прогноза;
- анализ тенденций развития объекта прогнозирования и подготовка к исследовательскому прогнозированию;
- формулировка и обоснование возможных вариантов целей (типичная стадия исследовательского прогноза);
- переход исследовательского прогноза в программный;
- программное прогнозирование;
- дополнение комплексного прогноза данными, полученными от организационного прогноза;
- формулировка комплексной концепции научно-технического развития в виде системы аргументированных положений и количественно определенных показателей и параметров (концепция может дополняться описательным документом, например стратегией развития какой-либо отрасли науки и техники);
- итоговая балансировка включаемой в комплексный прогноз системы количественных показателей с данными об экономическом потенциале, ресурсах, демографическом потенциале и т. д.;
- разработка аналитической документации, сопровождающей прогноз при передаче его для использования в практике перспективного планирования;
- стадия собственно внедрения прогнозов (первая проверка методов прогнозирования и полученные результаты).

В последующие годы были разработаны и другие методы прогнозирования. Однако для большинства современных разработок в этой области наблюдается тенденция скорее к совершенствованию некоторых основных подходов, известных и используемых многие годы, если не десятилетия, чем к поиску новых «достижений». В частности, вводятся усовершенствования с целью сделать прогнозирование более системным.

4.7. Логическая последовательность важнейших операций разработки прогнозов

Указанные в методе Глушкова этапы комплексно выполняемой разработки (10 этапов), в принципе, частично совпадают с общей логической последовательностью важнейших операций разработки прогнозов посредством применения методологии технологического прогнозирования, которая сформировалась к 80-м гг. XX в. и также используется в настоящее время.

1. Предпрогнозная ориентация (программа исследования). Уточнение задания на прогноз: характер, масштабы, объект, периоды основания и упреждения и т. д. Формулирование целей и задач, предмета, проблемы и рабочих гипотез, определение методов, структуры и организации исследования.

2. Построение исходной (базовой) модели прогнозируемого объекта методами системного анализа. Для уточнения модели возможно применение метода экспертных оценок.

3. Сбор данных прогнозного фона методами, которые рассматривались выше.

4. Построение динамических рядов показателей – основы стержня будущих прогнозных моделей методами экстраполяции, возможно обобщение этого материала в виде прогнозных предмодельных сценариев.

5. Построение серии гипотетических (предварительных) поисковых моделей прогнозируемого объекта методами поискового анализа профильных и фоновых показателей с конкретизацией минимального, максимального и наиболее вероятного значений.

6. Построение серии гипотетических нормативных моделей прогнозируемого объекта методами нормативного анализа с конкретизацией значений абсолютного (т. е. не ограниченного рамками прогнозного фона) и относительного (т. е. привязанного к этим рамкам) оптимума по заранее определенным критериям сообразно заданным нормам, идеалам, целям.

7. Оценка достоверности и точности, а также обоснованности (верификация) прогноза – уточнение гипотетических моделей обычно методами опроса экспертов.

8. Выработка рекомендаций для решений в сфере управления на основе сопоставления поисковых и нормативных моделей. Для уточнения рекомендаций возможен еще один опрос населения и экспертов. Иногда (правда, пока еще редко) при этом строятся серии пост-

вероятностных прогнозных моделей-сценариев с учетом возможных последствий реализации выработанных рекомендаций для их дальнейшего уточнения.

9. Экспертное обсуждение (экспертиза) прогноза и рекомендаций, их доработка с учетом обсуждения и сдача заказчику.

10. Вновь предпрогнозная ориентация на основе сопоставления материалов уже разработанного прогноза с новыми данными прогнозного фона и новый цикл исследования, так как прогнозирование должно быть таким же непрерывным, как целеполагание, планирование, программирование, проектирование, вообще управление, повышению эффективности которого оно призвано служить.

Повышение эффективности решений за счет использования прогнозной информации было достигнуто в нашей стране в 60–70-х гг. XX в., т. е. на начальной стадии становления прогностики, когда многие методы еще теоретически не были разработаны или практически недостаточно опробованы, когда многие методики еще носили фактически экспериментальный характер. Все это дает основания для выдвижения вполне научной гипотезы о том, что по мере развития прогностики, совершенствования ее методов прогнозирование будет оказывать еще более эффективное воздействие на уровень целей, планов, программ, проектов, организационных решений, чем в настоящее время.

Анализ приведенного выше современного инструментария прогнозирования показывает, что последнее отнюдь не универсально и не всеисильно, что оно не в состоянии подменить собой более широкое понятие – «предвидение». Особенности способов разработки прогноза накладывают принципиальные ограничения на возможности прогнозирования как в диапазоне времени, так и в диапазоне объектов исследования (не все явления поддаются прогнозным оценкам). Эти ограничения надо постоянно учитывать при уточнении заданий на разработку прогнозов.

4.8. Особенности прогнозирования научной деятельности

Современный этап развития человечества (новый технологический уклад) существенно отличается от предшествующих по качественным параметрам и масштабности применяемых новых орудий труда и технологических процессов. Он имеет целый ряд особенностей, которые отличают его от предшествующих. Эти особенности следующие:

- превращение науки в непосредственную производительную силу общества. Известно, что к производительным силам относятся средства производства (орудия и предметы труда) и рабочая сила. Но из этого не следует, что наука превращается в четвертый элемент производительных сил общества, она просто самым существенным образом влияет на каждый из этих элементов в качественном плане, тем самым усиливая каждый из них, а следовательно, и производительные силы общества в целом;

- сокращение временного интервала с момента появления открытий и изобретений до их реализации на практике (см. п. 2.1). Например, человечеству потребовалось 112 лет, чтобы фотография из научной сферы стала применяться на практике, для электродвигателя – 56 лет, квантового генератора – 2 года. Но это не значит, что сейчас все открытия и изобретения можно реализовать на практике за столь короткое время;

- опережение развития науки, т. е. теория опережает практику. А из этого следует очень важный вывод, что сейчас можно достаточно точно спрогнозировать, какая техника и технология появятся в реальной жизни через 5–20 и более лет;

- расширение границ проникновения современной научно-технической революции и ее масштабность; современная наука все глубже проникает в познание космоса, земли и океана, атома и человека и других сфер.

При существовании общего понятия для аббревиатурного сокращения – НИОКР, задачи прогнозирования в сфере фундаментальных и поисковых исследований и соответственно прикладных исследований и разработок (а также при разработке прогнозов видов, типов, состава техники будущего) имеют резкое различие. Кроме того, несколько различаются применяемые методы и модели прогнозирования.

Задачи прогнозирования специфичны для различных стадий НИОКР (табл. 2) [2].

Период упреждения научно-технических прогнозов определяется двумя факторами: длительностью цикла реализации новых научных идей или достижений и назначением прогнозов, заключающихся в обеспечении планирования развития науки и техники. В связи с этим период упреждения долгосрочных научно-технических прогнозов может составлять от 15–20 до 20–30 и более лет.

Методический аппарат технологического прогнозирования научно-технического прогресса охватывает совокупность методов разработки поисковых и нормативных прогнозов. До 1975 г. в большинстве случаев проводилась разработка поисковых научно-технических

прогнозов. Начиная со второй половины 70-х гг. XX в. наметилась тенденция усиления внимания к нормативным прогнозам.

Наиболее часто употребляются следующие методы.

- При прогнозировании в сфере фундаментальных и поисковых исследований – составление сценариев, построение дерева целей, экспертные методы, морфологический анализ, методы экстраполяции тенденций. На этом уровне интуитивные методы прогнозирования остаются наиболее распространенными. Важно отметить, что все интуитивные методики могут использоваться в целях как поискового, так и нормативного технологического прогнозирования.

Таблица 2

Задачи прогнозирования для различных стадий проведения НИОКР

Стадии НИОКР	Задачи прогнозирования
Фундаментальные исследования	Определение возможных областей расширения знаний об изучаемых явлениях. Установление абсолютных и относительных пределов развития изучаемых процессов. Формирование и оценка научных направлений и проблем
Поисковые исследования	Формирование целей и задач по направлениям исследования. Поиск альтернативных способов решения научных проблем. Разработка критериев оценки исследований. Определение оптимальной стратегии развития
Прикладные исследования	Оценка возможности использования определенных принципов и законов при создании новой техники и технологии. Поиск альтернатив формирования технических систем. Формирование научно-технических и организационно-технологических проблем, решение которых обеспечит возможность создания новой техники и технологических процессов
Опытно-конструкторские работы	Оценка социально-экономической потребности в новой технике. Определение предельных технических возможностей создания новых изделий (систем). Формирование параметрических рядов перспективных технических систем. Расчет необходимых ресурсов. Оценка эффективности вероятных проектных альтернатив

Из поисковых методик наиболее распространены экстраполяция тенденций и морфологический анализ. Экстраполяция возможна в случаях стабильных тенденций развития, при прогнозировании на сравнительно короткие периоды времени. Успешное применение методов экстраполяции определяется выработкой критериев, по которым прослеживается основная тенденция. Морфологический анализ позволяет наметить возможные пути решения поставленной задачи, не пренебрегая ни одним из них без тщательного рассмотрения. Определяются необходимый и возможный набор целей, задач, средств их решения, а также критерии оценки. Это позволяет осуществлять целенаправленный перебор средств. Путем варьирования последних определяются альтернативные пути решения задачи и после соответствующей нормативной оценки отбирается оптимальный вариант соответственно его важности, осуществимости или другим критериям.

- При прогнозировании прикладных исследований и разработок, а также при разработке прогнозов видов, типов, состава техники будущего чаще употребляются (помимо перечисленных выше) патентные методы и сетевые модели. При прогнозировании на этом уровне наибольшее распространение получили специальные прогнозирующие системы формирования и оценки перспектив развития науки и техники.

В выборе методов прогнозирования важным критерием является глубина упреждения прогноза. При этом необходимо не только знать абсолютную величину этого показателя, но и отнести его к длительности эволюционного цикла развития объекта прогнозирования. Если глубина упреждения укладывается в рамки эволюционного цикла, то действенными являются формализованные методы прогнозирования. При возникновении в рамках прогнозного периода «скачка» в развитии объекта прогнозирования необходимо использовать интуитивные методы – как для определения характера «скачка», так и для оценки времени его осуществления. В этом случае формализованные методы применяются для оценки эволюционных участков развития до и после «скачка». Если же в прогнозный период укладывается несколько эволюционных циклов развития объекта прогнозирования, то при комплексировании систем прогнозирования большее значение имеют интуитивные методы.

Как было указано выше, результаты прогнозирования достижений НТП в области новых материалов, перспективных технологий служат информационной базой для экономического прогнозирования

и перспективного планирования, т. е. прогнозы НТП служат не только для выявления главных тенденций развития технологии, но и для выработки технико-экономических ориентиров этого развития в конкретной отрасли. Эти ориентиры влияют на формирование государственной инновационной политики, определяющей цели, средства и приоритеты научно-технического прогресса в данной отрасли. Кроме того, существует также и обратная связь между отраслевым планированием и научно-техническим прогнозированием. В этой связи целесообразно осветить некоторые аспекты макроэкономического отраслевого прогнозирования.

4.9. Методологические аспекты прогнозирования макропоказателей в современной экономике

Экономическое прогнозирование НТП позволяет научно обосновать наиболее вероятные пути создания и применения новой техники, оценить общественно полезные социально-экономические результаты и эффективность ее внедрения для различных отраслей и сфер экономики. Экономические прогнозы основываются прежде всего на научно-технических, а также на социологических, геологических и других прогнозах.

Цель отраслевого экономического прогнозирования – разработка рекомендаций для перспективной ориентации отрасли.

Особое значение имеет долгосрочное экономическое прогнозирование НТП в целях определения наиболее вероятных путей развития многоотраслевого хозяйства страны, масштабов и значимости ожидаемых изменений объема производства с учетом демографических факторов и потребностей общества.

Экономическое межотраслевое прогнозирование базируется на объективной формулировке тенденций развития экономики, науки и техники, оценке факторов, влияющих на реальные процессы развития, установлении наиболее перспективных направлений исследований в фундаментальных и прикладных науках при использовании важнейших закономерностей и особенностей предвидимого социально-экономического и научно-технического развития. Результатом межотраслевого прогнозирования является определение наиболее вероятных возможных направлений развития различных сфер и отраслей экономики, выбор наиболее оптимальных вариантов, а также указание путей активного воздействия на экономические процессы.

Решение этих задач создает научно обоснованную базу для перспективного планирования и обеспечивает гибкость управления хозяй-

ственным развитием. Результатом проведения мероприятий по перспективному планированию является разработка государственной стратегии дальнейшего развития соответствующей отрасли экономики.

Методы экономического макропрогнозирования должны предусматривать более полный учет результатов работы над научно-техническими прогнозами, для чего необходимо построение такой системы экономических показателей, которые могли бы стыковаться с показателями технико-экономическими и техническими. В частности, при разработке межотраслевых экономических балансов, производственного межпродуктового баланса химической промышленности, оптимальных планов развития и размещения химических и нефтехимических предприятий, прогнозирования основных показателей развития химической индустрии, объемов и структуры выпуска важнейших конечных химических продуктов используются эконометрические модели, реализованные с помощью современных информационных технологий.

Рассмотренные выше принципы технологического прогнозирования, прекрасно подходящие для составления прогнозов в естественных и технических науках, а также развития техники и технологий, оказываются совершенно непригодными для прогнозов глобальных и макроэкономических тенденций при долгосрочном прогнозировании развития экономики. Здесь на первое место встают не общенаучные и технологические принципы, а экономические, социальные и даже политические макропараметры.

В жизни общества действует множество разнонаправленных, а подчас и противоборствующих факторов и сил, закономерности развития цивилизации проявляются через субъективные действия людей и их коллективов, а социальные системы переживают подъемы и кризисы. Использование, например, такого поискового подхода, как экстраполяция, может привести к тому, что исследователь сделает из своих рассуждений ложные выводы и даст обществу неверные рекомендации на будущее. Это особенно опасно в кризисные, переходные эпохи, когда происходит перелом тенденций (как это случилось в 90-е гг. прошлого века). Применяя такие методы, можно получить достаточно точные результаты в пределах одной фазы цикла (эволюционных процессов), но нереально предвидеть переломы траектории в будущем. Также классические методы изыскательского и нормативного прогнозирования – методы экспертных оценок в этих условиях могут зависеть от возраста, политических пристрастий, материально-

го положения экспертов, что может обусловить, например, консервативность их прогнозов. Нормативные прогнозы изначально ориентированы на конкретную долгосрочную цель, и, если она избрана неверно, результат предвидения также будет ошибочен.

В настоящее время в нашей стране исходной методологической базой интегрального макропрогнозирования служит теория предвидения, учение о циклах, кризисах и инновациях Н. Д. Кондратьева, цивилизационный подход и учение о социально-культурной динамике П. А. Сорокина и балансовое макро моделирование и прогнозирование В. В. Леонтьева (см. главу 1). Данные теории были системно развиты современными российскими учеными применительно к условиям XXI в.: из циклично-генетических закономерностей и глобальных тенденций развития технологий и экономики, периодической смены поколений техники (технологий), технологических укладов и технологических способов производства, сопровождающихся технологическими кризисами, волнами эпохальных, базисных и улучшающих инноваций. Применение именно такой методологии позволяет получить объемное представление о тех переменах, что происходят и будут происходить в обществе, причем в строгих рамках балансовых моделей.

Прогноз развития российской экономики осуществляется посредством системы межотраслевого эконометрического моделирования, включающей в себя совокупность макроэкономических и межотраслевых эконометрических моделей, разработанных в Институте народнохозяйственного прогнозирования РАН. В основе данной системы лежит модель российской экономики RIM¹, разработанная с использованием программных средств группы INFORUM (Мерилендский университет, США). Использование межотраслевой модели обусловлено тем, что, в отличие от стационарно развивающихся экономик Запада, российская экономика переживает период сильнейших структурных изменений. Значительные сдвиги произошли за последние 12–15 лет в структуре производства, доходов, соотношения цен. Будущее России (в особенности в сценариях ухода от сырьевой ориентации) также связано с серьезными структурными сдвигами.

Проблемами прогнозирования некоторых макроэкономических показателей российской экономики занимается также научно-исследова-

¹ RIM – Russian Interindustry Model = Российская межотраслевая модель.

тельский и учебно-методический центр – Институт экономической политики им. Е. Т. Гайдара (Институт Гайдара)¹. Например, в 2000–2003 гг. были проведены исследования (в рамках гранта, предоставленного Агентством международного развития США), посвященные анализу свойств макроэкономических временных рядов, их моделированию и прогнозированию. Основной задачей этих исследований являлось расширение круга моделей, используемых для прогнозирования, – кроме традиционного эконометрического моделирования и моделирования с использованием структур случайных векторов были использованы структурные модели и модели с использованием результатов опросов предприятий, с проверкой прогнозных свойств данных моделей.

Прогнозирование, планирование и регулирование являются важнейшими рычагами государства по управлению экономикой страны. С переходом на рыночные отношения роль этих инструментов управления не снижается, а вот методы планирования существенно изменяются. На смену директивному планированию, когда каждому предприятию устанавливались заранее заданная производственная программа и потребители, приходит так называемое индикативное планирование (государство на основе детального анализа функционирования экономики за предшествующий период, исходя из экономической политики и имеющихся ресурсов, устанавливает на плановый период основные макроэкономические показатели). Индикативное планирование предусматривает не только разработку плановых макроэкономических показателей (индикаторов), но и способы их достижения, т. е. заранее определяется, какова будет фискальная, научно-техническая, финансово-кредитная, инвестиционная и социальная политика государства с целью достижения запланированных индикаторов.

* * *

Однако согласно исследованиям академика РАЕН и РАО И. В. Бестужева-Лады (президента Международной академии исследований будущего – International Futures Research Academy), рыночная экономика порождает консерватизм, а тот изначально враждебен плановому началу, в том числе и предплановым разработкам – прогнозам. Создав нововведение, нужно выходить с ним на рынок и «торговать», а это

¹ До 2010 г. назывался Институт экономики переходного периода – ИЭПП, основателем и директором которого до декабря 2009 г. был Е. Т. Гайдар.

очень трудная задача. Все дело в том, что для доведения многих инновационных разработок до уровня технологий требуются огромные инвестиции, и, например, частные промышленные компании на них неспособны, да и некоторые государства пребывают в режиме «урезания бюджетов» (например, в 90-е гг. XX в. в России из-за неолиберальных рыночных реформ не было практически никакой государственной поддержки инноваций), следовательно, ни о каких перспективных проектах задумываться не могут. Так что прогнозистам на Западе приходится очень нелегко. А так как Россия тоже перешла к рыночной экономике, то и отечественных прогнозистов ждут не самые легкие времена.

К сожалению, сегодня лишь немногие предприниматели или управленцы понимают, что нужно заказывать разработки, позволяющие «взвешивать» последствия намечаемых решений по проверенным временем канонам технологического прогнозирования. Остальные либо этого не осознают, либо делают вид, что не понимают, предпочитая получать огромные доходы сегодня и не задумываться о возможных последствиях и о завтрашнем дне.

При всех сложностях современных экономических и политических тенденций как в России, так и во всем мире в настоящее время в развитии науки прогностики есть явные положительные сдвиги. В частности, в последние годы появилась возможность на основе ранее неизвестных трудов отечественных и зарубежных ученых изучать и анализировать эффективные методологии и подходы для разработки прогнозов дальнейшего поведения или развития различных объектов исследования.

Контрольные вопросы

1. Какой вид информации обычно используется для построения моделей?
2. Перечислите, какие виды моделей применяются для прогнозирования.
3. В чем состоит сущность метода Дельфи?
4. Какие типы вопросов могут включать анкеты и опросные листы, используемые в методе Дельфи?
5. По каким причинам следует несколько ограничивать состав группы экспертов?
6. Каковы особенности технологии прогнозирования по системе ПАТТЕРН?
7. Методом поискового или нормативного прогнозирования является матричный метод?
8. Перечислите и охарактеризуйте качества, которыми обладает патентная информация.

9. Выделите особенности методов прогнозирования, основанных на патентной информации.

10. На каких законах базируется концепция предельно эффективной технологии?

11. Какова сущность понятия *E*-фактор?

12. Каковы преимущества прогнозирования посредством метода информационных карт?

13. Перечислите основные информационные продукты ВИНТИ РАН и ИНИОН РАН.

14. Охарактеризуйте составляющие научно-технических прогнозов, предложенные академиком В. М. Глушковым.

15. Перечислите этапы используемой в настоящее время логической последовательности операций разработки прогнозов по методологии технологического прогнозирования.

16. Какие задачи прогнозирования соответствуют основным стадиям проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ?

17. Какие методы используются при прогнозировании в сферах фундаментальных и прикладных исследований?

18. По каким причинам принципы технологического прогнозирования оказываются непригодными для прогнозов макроэкономических тенденций развития экономики?

ГЛАВА 5

РОССИЙСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ, ОРГАНИЗАЦИИ, ОТДЕЛЫ И СЛУЖБЫ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ СОСТАВЛЕНИЕМ ПРОГНОЗОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

В 90-е гг. XX в. эпоха глубокого воспроизводственного кризиса в России была ознаменована отсутствием реального интереса к перспективам и проблемам социально-экономического развития в долгосрочной перспективе. Это наблюдалось как со стороны государственной власти и деловых кругов, так и общества. В этих условиях исследования в жанре долгосрочного прогноза стали делом относительно узкого круга профессионально заинтересованных в них ученых. В то же время в мире в условиях широкой общественной заинтересованности и при масштабной организационной и финансовой поддержке государственных и межгосударственных организаций и деловых кругов долгосрочное комплексное (многоаспектное) прогнозирование технологического развития получило мощный импульс развития сначала в группе наиболее развитых стран, а затем и во многих других регионах мира. Долгосрочные прогнозы помогают непрерывно совершенствовать производство, оперативно перестраивать его на основе новейших достижений науки.

В настоящее время благодаря благоприятной мировой конъюнктуре и наблюдаемой положительной динамике российской экономики вновь начал появляться интерес к долгосрочному прогнозированию. В России при финансовой поддержке государственных органов стали возрождаться масштабные и систематические исследования такого рода.

Российская академия наук вместе с ведущими специалистами вузов, общественных институтов восстанавливает давнюю традицию отечественной науки – на базе долгосрочного прогноза давать обоснование стратегии на будущее. Начало этой традиции было положено в трудные времена Гражданской войны, когда перспективы восстановления и стремительного развития экономики страны нашли свое отражение в плане Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО). В 60–80-е гг. XX в. работы над долгосрочными прогнозами возобновились и велись в широких масштабах. Сотни ученых трудились над разработкой комплексной программы научно-

технического прогресса страны и его социально-экономических последствий на двадцатилетний период. Сейчас назрела необходимость вновь обратиться к подобным исследованиям.

Согласно приведенной в п. 3.1 классификации прогнозов НТП, по масштабам прогнозы делятся на глобальные, межотраслевые, отраслевые, касающиеся отдельных производств и конкретных технологических установок. В соответствии с этим службы прогнозирования должны присутствовать на всех уровнях управления.

5.1. Разработка глобальных и макроэкономических прогнозов

Государственное прогнозирование – разработка научными организациями по заказу государственных органов прогнозов социально-экономического, научно-технического, экологического, территориального и внешнеэкономического развития. В нашей стране государственное прогнозирование регламентируется специальным законом о государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития. Предусмотрена разработка прогнозов социально-экономического развития страны на долгосрочную перспективу (раз в 4–5 лет), на среднесрочный период (ежегодно) и на очередной год (ежегодно).

На практике ежегодно разрабатываются прогнозы социально-экономического развития Российской Федерации на последующий год и основные параметры прогноза на два последующих года. Разработка прогнозов осуществляется научными организациями по заказам органов исполнительной власти федерального, регионального и муниципального уровней. Государственное прогнозирование исследует возможные сценарии социально-экономического, научно-технического, экологического и территориального развития в мире и в России, служит обоснованием государственной политики и стратегических планов на долгосрочную и среднесрочную перспективу. Государственное прогнозирование может принести реальную пользу только в том случае, когда оно основывается на современной методологии и информационной базе, учитывает неизбежность циклических колебаний и периодических кризисов, взаимосвязи со странами СНГ и с мировым рынком в условиях глобализации.

Перспективное прогнозирование и планирование позволяют разработать экономическую стратегию государства на ближайшие 5–10 (15–20) лет и тем самым осуществлять ежегодное планирование с учетом реализации как годовых, так и перспективных планов. Наличие эконо-

мической и научно-технической стратегии позволяет государству с меньшими ресурсами достигать намеченных целей, а следовательно, непрерывно повышать эффективность общественного производства.

Разработка технологического прогноза на перспективу 20 лет должна повторяться каждые четыре года – за два года до корректировки приоритетных направлений развития науки, технологий и техники. Для обеспечения разработки технологического прогноза на регулярной основе должна быть создана организационная структура, состоящая из органов, обеспечивающих выполнение комплекса задач по управлению разработкой прогноза (Заказчик, Головной исполнитель, секция по прогнозированию Научного совета Заказчика, Межведомственная рабочая группа, Экспертная комиссия), субъектов, принимающих участие в разработке прогноза, и организаций, оказывающих услуги в процессе прогнозирования.

Для того чтобы ответить на вопросы, связанные с будущим развитием, необходимо разрабатывать долгосрочные прогнозы инновационного и социально-экономического развития страны и на их основе – государственную стратегию. Российской академией наук намечена программа подготовки прогнозов социально-экономического, инновационно-технологического и территориального развития России на период до 2030 г.

В соответствии с данной программой задача по созданию комплекса прогнозов инновационно-технологической и структурной динамики экономики России возложена на Институт экономических стратегий (ИНЭС) Отделения общественных наук РАН, Вычислительный центр РАН (ВЦ РАН), Российскую академию государственной службы при Президенте РФ (РАГС) и Международный институт Питирима Сорокина – Николая Кондратьева (МИСК).

Кроме того, вопросами государственного макропрогнозирования занимается, например, Отделение исследования циклов и прогнозирования Российской академии естественных наук и Институт энергетических исследований (ИНЭИ РАН).

Также существует специализированный Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН (ИНП РАН), организованный в феврале 1986 г. как головная организация разработки социально-экономических разделов комплексных программ научно-технического прогресса СССР на 20 лет.

В настоящее время основными направлениями научной деятельности, проводимой в лабораториях и исследовательских центрах ИНП

РАН (например, в Центре макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования) под руководством директора института – академика РАН В. В. Ивантера, являются:

- разработка комплексных прогнозов (обоснование альтернатив) развития экономики страны в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе;
- разработка стратегий развития регионов в рамках приоритетов общехозяйственного развития;
- прогнозно-аналитические исследования в интересах крупных хозяйствующих субъектов и органов государственного управления Российской Федерации (Государственная Дума РФ, Федеральная дорожная служба РФ и т. п.);
- совершенствование методологии и методики комплексного социально-экономического прогнозирования.

На уровне министерств прогнозируются отраслевые научные исследования и опытно-конструкторские разработки. При министерствах создаются специальные департаменты (например, при Министерстве экономического развития РФ (Минэкономразвития России) организован департамент макроэкономического прогнозирования).

В частности, прогнозированием развития нефтяной и газовой промышленности, а также газо- и нефтехимии в настоящее время занимается Министерство энергетики Российской Федерации (Минэнерго России); непосредственно прогнозированием развития химической промышленности – Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России). Это ведомство было образовано в 2008 г. при разделении Министерства промышленности и энергетики (Минпромэнерго). Минпромторгу в ведение от Минэкономразвития была передана сфера торговли, а энергетика перешла в ведомство Минэнерго, являющегося, кроме того, правопреемником упраздненного Федерального агентства по энергетике (Росэнерго).

Информационно-аналитические услуги в области прогнозирования развития электроэнергетики России оказывает учрежденное в 2005 г. распоряжением ОАО РАО «ЕЭС России» АО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике» (АО «АПБЭ»). В настоящее время единственным учредителем АО «АПБЭ» является ПАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» (ПАО «ФСК ЕЭС»).

Деятельность АО «АПБЭ» осуществляется по следующим функциональным направлениям:

- сбор и обработка информации в электроэнергетике;
- мониторинг и анализ функционирования электроэнергетики и анализ влияния рынка электроэнергии на ее развитие;
- прогнозирование в электроэнергетике.

В частности, разрабатываемые АО «АПБЭ» перспективные прогнозы развития электроэнергетики служат для обеспечения органов государственной власти и энергетического сообщества ключевой прогнозной информацией для формирования стратегий, долгосрочных и среднесрочных программ, инвестиционных проектов в электроэнергетике.

Наряду с государственным прогнозированием разрабатываются инициативные прогнозы общественными научными организациями, высшими учебными заведениями и отдельными учеными. Например, в апреле 1997 г. в Москве была создана общественная Академия прогнозирования (исследований будущего) – Российского отделения Международной академии исследований будущего, с постоянно действующими семинарами, летними школами молодых футурологов и т. д. Академия прогнозирования (президентом которой является профессор А. И. Агеев) объединяет лучшие прогностические силы страны. В ее состав входят более 100 докторов наук, иностранные представители. Академия прогнозирования имеет отделения в ряде городов России и сеть международных связей. В частности, Академия принимает активное участие в международных проектах по прогнозированию нормативного характера.

Среди независимых экономических аналитических центров можно выделить Некоммерческое партнерство «Центр макроэкономического анализа и краткосрочного прогнозирования» (ЦМАКП) – это независимая некоммерческая исследовательская организация, специализирующаяся в области анализа макроэкономических процессов в России, разработки сценарных экономических прогнозов на кратко-, средне- и долгосрочную перспективу, инструментального обеспечения аналитических и прогнозных расчетов.

5.2. Возможные сценарии развития российской экономики

Как было указано выше, одним из основных отличий прогноза (по сравнению с планом) является определение нескольких альтернатив развития объекта прогнозирования. Анализируя результаты исследований перечисленных выше учреждений и организаций (особенно долгосрочные прогнозы), можно увидеть различные варианты

(сценарии) дальнейшего развития прогнозируемых объектов и явлений российской экономики. При выборе конкретного сценария учитывается совокупность неблагоприятных или благоприятных факторов, влияющих на инновационную динамику.

Различное сочетание факторов, способных оказывать влияние на объект прогнозирования (какое-либо производство, затем отрасль экономики, несколько отраслей), их взаимовлияние и весомость могут обусловить множество вариантов развития этого объекта. Однако для выявления основных тенденций и закономерностей достаточно рассмотреть два основных (граничных) сценария: инерционный и интенсивный.

Инерционный сценарий может характеризоваться пассивной научно-технической политикой. Характерными для данного сценария факторами, например, являются неблагоприятные экономические условия и ухудшающаяся структура запасов. В результате – стабилизация или снижение эффективности и объемов производства. В частности, в трудах российских исследователей Б. Н. Кузыка (члена-корреспондента РАН, директора Института экономических стратегий Отделения общественных наук РАН) и Ю. В. Яковца (академика РАЕН, президента Международного института П. Сорокина – Н. Кондратьева) данный сценарий именуется инерционно-рыночным и характеризуется тем, что на перспективу сохраняются преобладающие ныне тенденции ориентации на преимущественно рыночные механизмы развития экономики при минимальном участии государства в поддержке инноваций, медленном обновлении устаревших основных фондов и растущей зависимости от мирового рынка, импорта товаров и технологий.

Интенсивный сценарий (сценарий инновационного прорыва) характеризуется селективной научно-технической политикой, ориентированной на комплексное решение ограниченного числа приоритетных научно-технических проблем и первоочередное создание критически важных технологий и технических средств. Решающим фактором для реализации интенсивного сценария является создание благоприятных экономических условий для внедрения новых разработок и проведение на этой основе активной структурной политики. Отечественные ученые-прогнозисты В. Н. Кузык и Ю. В. Яковец считают, что сценарий инновационного прорыва ориентирован на реализацию, при активном участии государства, стратегического курса на переход к инновационному типу развития экономики и повышение конкурентоспособности экономики и отече-

ственных товаров на внутреннем и внешнем рынках, что позволит обеспечить инновационное обновление основных фондов и продукции, высокие темпы экономического роста и социального развития.

При необходимости, помимо двух приведенных сценариев, могут рассматриваться и другие варианты, например «умеренный» сценарий, характеризующий промежуточными значениями экономических условий, структурной и научно-технической политикой.

В других трактовках прогнозных расчетов эти сценарии именуется вариантами развития и соответственно называются пессимистическим (или консервативным), оптимистическим и реалистическим (последний является аналогией «умеренного» сценария).

Рассмотренные выше сценарии имеют большое значение для выбора инновационной стратегии. Реальная динамика может идти в перспективе как по одному из этих сценариев, так и по возможной промежуточной между ними или за их пределами траектории.

Представленную классификацию возможных сценариев развития можно встретить не только в макропрогнозах, а также при прогнозировании развития отдельных предприятий, производств и технологий. Существуют и другие классификации сценариев развития (совершенствования, модернизации), например по степени риска мероприятия.

При разработке стратегии развития какого-либо объекта прогнозирования выбирается один из предложенных сценариев и в дальнейшем используются полученные в нем выводы и результаты расчетов.

5.3. Разработка технических прогнозов развития нефтегазовых и химических производств

На уровне отдельных научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций вопросами прогнозирования (частные, конкретные перспективы развития различных аспектов науки, техники и технологии), например, занимаются Центр исследований и статистики науки (ЦИСН) и Научно-исследовательский центр мониторинга инвестиций и рынков (ЦМИР). Данными организациями для составления прогнозов активно используются соответственно многоуровневый опрос экспертов по методу Дельфи (см. п. 4.2) и метод информационных карт (см. п. 4.5).

Для максимального эффекта подобные работы должны носить не разовый, а регулярный характер и их результаты должны приниматься во внимание и рассматриваться в соответствующих организациях.

Финансирование этих исследований должно осуществляться органами, отвечающими за рассматриваемые в прогнозах проблемы.

На уровне предприятий нефтегазовой и химической отраслей осуществляется прогнозирование развития подсистем сложного производственного комплекса или технологии. Прогнозирование на предприятии позволяет понять, какие наиболее вероятные изменения могут произойти в области применяемой техники и технологии, а также в выпускаемой продукции и как это скажется на конкурентоспособности предприятия.

Решение этой проблемы может быть достигнуто за счет концентрации материальных, финансовых и трудовых ресурсов на важнейших направлениях НТП, обеспечивающих максимальную экономию материальных и трудовых затрат, повышения качества продукции. При разработке прогноза должны быть рассмотрены следующие вопросы:

- освоение новых продуктов и повышение качества выпускаемой продукции;
- внедрение прогрессивных технологических процессов, проведение реконструкции и технического перевооружения действующих производств;
- внедрение новых современных производств;
- внедрение мероприятий, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование ресурсов.

В качестве исходных данных при разработке прогноза технического развития предприятия могут быть использованы:

- результаты анализа технико-экономического состояния производств на предприятии в сравнении с общим уровнем технического развития отрасли, а также лучшими зарубежными процессами;
- материалы научно-технических прогнозов по важнейшим проблемам развития нефтепереработки и нефтехимии;
- результаты законченных научно-исследовательских и проектных работ;
- лицензии, патенты, предложения иностранных фирм;
- результаты законченных НИОКР инженерных служб предприятия.

Согласно данным Минпромторга России, в 2008 г. в химической промышленности Российской Федерации насчитывалось около 1000 крупных и средних промышленных предприятий и более 100 научных и проектно-конструкторских организаций, опытных и экспериментальных заводов с общей численностью сотрудников более 791 тыс. человек.

Как было указано в п. 4.9, при современных условиях функционирования рыночной экономики невозможно успешно управлять промышленной компанией без эффективного прогнозирования ее деятельности. От того, насколько прогнозирование будет точным и своевременным, а также соответствовать поставленным проблемам, в конечном счете будет зависеть и количество получаемой прибыли.

В настоящее время на Западе почти каждая крупная фирма опирается в своей деятельности на заказные прогнозы. В Конгрессе США почти каждый четвертый депутат – абонент специального прогностического центра Конгресса.

Для того чтобы эффект прогноза был максимально полезен, необходимо создание на средних и крупных предприятиях так называемых прогнозных отделов (для малых предприятий создание этих отделов будет нерентабельным). Но даже без таких отделов можно обойтись, а без прогнозирования – невозможно. В этом случае прогноз должен быть получен силами менеджеров и задействованными в этом процессе специалистами.

В задачи отделов и служб прогнозирования на предприятии входит, в частности, установление закономерностей роста технических параметров изделий, требований заказчиков к этим параметрам, взаимосвязи характеристик технического уровня, сложности, новизны, веса, стоимости и т. д.

Что касается самих прогнозов, то они должны быть реалистичными, т. е. их вероятность должна быть достаточно высока и соответствовать ресурсам предприятия. Для прогнозистов важно с самого начала выдавать прогнозы такого качества, чтобы ни у кого не было сомнений в их необходимости.

На уровне производств прогнозируются технологические параметры или процессы развития технологий. В частности, для прогнозирования различных оптимальных и неоптимальных, а также аварийных ситуаций на производстве активно используется компьютерное моделирование различных технологических объектов [19] (см. п. 4.1).

Согласно статистическим данным на начало 80-х гг. XX в., в нашей стране наибольшее количество прогнозов было разработано именно в химической промышленности (346), на втором месте было сельское хозяйство (341), а машиностроение – на третьем (289). Меньше всего прогнозов разработано по направлению «Материально-техническое снабжение» (9). В угольной промышленности было разработано 247 прогнозов, в энергетике – 133 прогноза, а в нефтяной и газовой промышленности – 81 прогноз.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность государственного прогнозирования?
2. Какие учреждения и организации занимаются созданием комплекса прогнозов инновационно-технологической динамики российской экономики?
3. Какие министерства в настоящее время занимаются прогнозированием развития нефтегазовой и химической промышленности?
4. Дайте характеристику инерционного и интенсивного сценариев развития экономики.
5. Какие вопросы должны быть рассмотрены при прогнозировании развития предприятий?
6. Проведение каких мероприятий входит в задачи отделов и служб прогнозирования на предприятиях?
7. Каковы особенности прогнозирования на производственном уровне?

Раздел II

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

ГЛАВА 6

СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

6.1. Изменение мирового топливно-энергетического баланса

6.1.1. Анализ развития мирового энергопотребления

При рассмотрении цивилизации как энергетической системы жизнедеятельности потребление энергии характеризует все аспекты развития общества: от обеспечения пищей до различных уровней промышленного производства. Таким образом, числовое представление используемой энергии представляет собой критерий развития общества. В табл. 3 представлены данные зависимости глобального потребления энергии от численности населения за период 1850–2010-х гг. с шагом в 20 лет.

Таблица 3

Население мира и потребление энергии

Год	Население, млрд	Энергия, ТВт · год*	Потребляемая энергия, кВт · год/чел.
1850	1,13	0,68	0,60
1870	1,30	0,79	0,61
1890	1,49	1,00	0,67
1910	1,70	1,60	0,94
1930	2,02	2,28	1,10
1950	2,51	3,26	1,30
1970	3,63	6,52	1,79
1990	5,27	10,80	2,05
2010	6,89	16,17	2,35

* ТВт – тераватт; 1 ТВт = 10^{12} Вт.

Источники: Population and environment. J. Interdiscipl. Stud. 1991. 12, №3. P. 231–255; BP Statistical Review of World Energy. June 2016; Население Земли // Проект Countrymeters Электрон. дан. Режим доступа: <http://countrymeters.info/ru/World> (дата обращения: 31.03.2017).

В 2010 г. потребляемая энергия в мире составляла 16,17 ТВт, или в среднем 2,35 кВт на одного человека (табл. 3), причем 90% приходилось на промышленное потребление энергии во всех ее формах (тепловой, электрической). По оценкам, энергетический сектор составляет четверть мировой экономики.

В 1990 г. потребляемая энергия в мире составляла около 2,05 кВт на одного человека, т. е. темп роста производства энергии замедляется, и это особенно заметно именно для развитых стран, как следствие наступления постиндустриального общества. Все большее значение придается энергосбережению. Согласно общераспространенному мнению, имеется возможность сократить расход энергии в 4 раза. По мнению шведских ученых из университета г. Уппсалы, можно сократить потребление энергии не в 4, а в 10 раз. Однако дело не столько в технологии энергосбережения, сколько в возможности реализации таких программ при реструктуризации промышленности и изменении отношения к ценности энергии. Таким образом, в этой важнейшей проблеме осуществление технических решений в значительной степени предопределено социальными аспектами. В настоящее время необходима именно политическая воля в реструктуризации энергетики с учетом долговременного характера таких инвестиций.

Многими аналитиками в последние годы признается опасность возникновения очередной волны роста мирового энергопотребления. Предшествующая длинная волна, начавшаяся в конце 40-х гг. XX в., завершилась в середине 90-х гг., увеличив мировое энергопотребление почти в пять раз, а душевое – почти вдвое. Ее окончание было связано со стабилизацией с 80-х гг. XX в. среднедушевого энергопотребления в мире за счет сокращения общего и душевого энергопотребления в бывших странах плановой экономики и снижения душевого энергопотребления в странах, входящих в ОЭСР¹, при относительно умеренном росте душевого энергопотребления в развивающихся странах.

Однако в настоящее время первые два фактора перестали действовать, а наиболее крупные из развивающихся стран – Китай и Индия – все быстрее наращивают душевое потребление энергии. С учетом продолжающегося экономического роста развивающихся азиат-

¹ ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития – Международная экономическая организация развитых стран (включает 34 государства), признающих принципы представительной демократии и свободной рыночной экономики; на долю государств-членов ОЭСР приходится около 60% мирового ВВП; Россия в данную организацию не входит.

ских стран, быстрого увеличения там численности населения и высокой энергоемкости национальных экономик резко растут потребности этих стран в энергоресурсах. Опережающими темпами увеличивается потребление энергии в Африке и Латинской Америке, и даже в странах Европейского Союза (ЕС) возобновился рост душевого энергопотребления.

Рост энергопотребления в мире происходит весьма неравномерно, усугубляя региональные энергетические диспропорции: наиболее быстрые темпы наблюдаются в развивающихся странах Азии, особенно в Китае, на долю которого в 2005 г. пришлось практически половина мирового прироста энергопотребления.

При построении сглаженного графика зависимости среднего потребления энергии в кВт·год/чел. по годам с шагом в 20 лет (рис. 3, табл. 3) видно, что после медленного роста средних значений душевого энергопотребления, наблюдающегося до конца 80-х гг. XIX в., в период 1890–1910-х гг. происходил бурный рост энергопотребления, приходящегося на одного человека. Затем с 1910 г. по конец 40-х XX в. увеличение этого показателя становилось умеренным. С конца 40-х до начала 70-х гг. XX в. вновь наблюдался период бурного роста душевого энергопотребления, который затем сменился умеренным повышением этого показателя, заканчивающимся на рубеже XX–XXI вв.

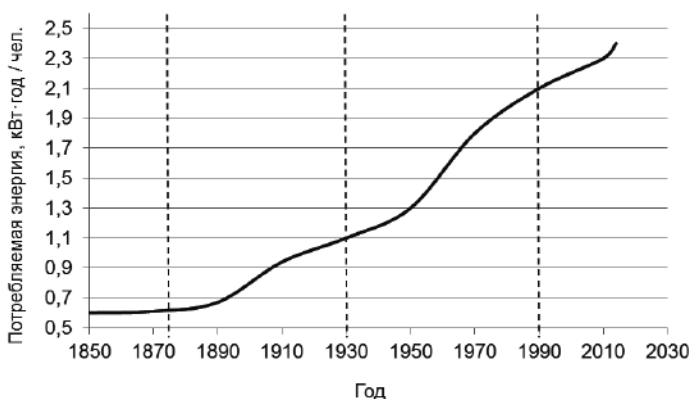


Рис. 3. Среднее потребление энергии, приходящееся на одного человека (по годам с шагом в 20 лет)

Источник: Основы гармонизации нефтегазохимического комплекса. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2015. С. 121.

Если отметить середины пологих участков на кривой зависимости среднего потребления энергии в кВт · год/чел. по годам, например проведя вертикальные линии (рис. 3), то можно увидеть две S-образные кривые. По внешнему виду они похожи на логистические кривые, отражающие зависимость между затратами, связанными с улучшением продукта или процесса, и результатами, полученными от вложенных средств. Логистические S-образные кривые, характеризующие процесс развития любой технологии, были предложены американским исследователем Р. Фостером (см. 2.1, рис. 2).

Таким образом, при анализе временной зависимости среднечеловеческого энергопотребления наблюдаются два похожих друг на друга цикла продолжительностью 55–60 лет (рис. 3). Если проанализировать все типы циклов, которые различают в экономической и технологической динамике, то по временному интервалу к ним наиболее близки циклы Кондратьева (кондратьевские циклы), составляющие 50 лет, в основе которых лежит смена преобладающих технологических укладов (см. п. 2.1).

По данным «ВР», в 2015 г. потребляемая энергия в мире составляла 17,5 ТВт · год, т. е. в среднем на одного человека приходилось 2,39 кВт · год. Данный показатель превышает значение соответствующей величины для 2010 г. (табл. 3), что, возможно, является признаком начала нового периода бурного роста душевого энергопотребления.

Из всего изложенного выше следует, что среднечеловеческое энергопотребление в мире представляет собой вполне гармоничную систему.

Если характеризовать возможности цивилизации одним параметром, то это, безусловно, энергопотребление. В табл. 4 представлены данные о мировом энергопотреблении первичных ресурсов и доле их применения в топливно-энергетическом балансе (ТЭБ), кроме того, отдельно приведены те же данные по России.

Как видно из табл. 4, в современном мировом ТЭБ суммарная доля нефти и газа составляет 56,7%, что почти в два раза больше, чем доля угля. Однако на долю нефти и газа приходится около 17% мировых ресурсов ископаемого топлива, а на долю угля – более 80%.

Следует отметить, что мировой ТЭБ менялся неоднократно. Так, в Российской империи начала XX в. более половины всей энергии давали дрова, одну четвертую часть – уголь, а нефть – только шестую часть.

В 1910 г., как свидетельствует статистика, большую часть топлива в мире составлял уже уголь – 65%. За ним шли дрова, и на последнем месте стояла нефть. Ее доля в мировом топливном балансе составляла

всего 3%, а природный газ вообще не использовался. Еще через четверть века доля каменного угля снизилась до половины, в то время как доля нефти в ТЭБ возросла до 15%. Во многих странах мира начали использовать и природный газ. В 70-е гг. XX в. первое место в топливном балансе уверенно заняла нефть – около 35%.

При анализе динамики мирового потребления нефти, проведенном в Институте энергетических исследований РАН, были отмечены следующие фазы.

- 1945–1960 гг. – умеренный рост. За эти 15 лет среднесуточный объем потребления нефти возрос всего на 10 млн баррелей¹ – с 10 до 20 млн баррелей.

- 1960–1975 гг. – бурный рост. За этот период мировое потребление увеличилось на 40 млн баррелей / сут, т. е. в 4 раза.

- 1975–1990 гг. – стабилизация потребления нефти на уровне 60 млн баррелей / сут.

- 1990–2005 гг. – опять умеренный рост. Потребление поднялось на 15–18 млн баррелей / сут.

Таблица 4

Распределение первичных ресурсов в энергопотреблении

Источник энергии	Мировое потребление первичных ресурсов, млн тнэ*	Доля в мировом энергопотреблении, %	Потребление первичных ресурсов в России, млн тнэ	Доля в энергопотреблении (Россия), %
Всего	13 147,3	100,0	666,8	100,0
Нефть	4 331,3	32,9	143,0	21,4
Газ	3 135,2	23,8	352,3	52,8
Уголь	3 839,9	29,2	88,7	13,3
Атомная энергия	583,1	4,4	44,2	6,6
Гидроэнергия	892,9	6,8	38,5	5,8
ВНИЭ**	364,9	2,8	0,1	0,0

* тнэ – тонна нефтяного эквивалента (англ. tonne of oil equivalent, toe), единица измерения энергии, принятая Международным энергетическим агентством (МЭА; англ. International Energy Agency, IEA); 1 тнэ = 41,868 ГДж, или 11,63 МВт · ч (в России также используется понятие «тонна условного топлива», за единицу которой принимается теплотворная способность 1 т каменного угля = 29,31 ГДж).

** ВНИЭ – возобновляемые нетрадиционные источники энергии (см. пп. 6.1.2).

Источник: BP Statistical Review of World Energy. June 2016.

¹ Баррель (от англ. barrel, основное значение – бочка) – мера вместимости и объема, применяемая в США, Англии и ряде стран, использующих английскую систему мер. Нефтяной баррель (принятое сокращение – bbl) составляет 158,988 л.

Одним из решающих факторов в преимущественном использовании нефти играл тот факт, что до 1970 г. средняя мировая цена нефти составляла 2,11 долл. США за баррель.

Однако в периоды 1972–1974-х и 1979–1981-х гг. последовали «ценовые шоки» (вызвавшие нефтяные и энергетические кризисы) – цены на сырую нефть вследствие нефтяного эмбарго ОПЕК¹ подскочили с 8–9 долл. США за баррель до 50–52 долл. за баррель (во всех странах, за исключением стран бывшего социалистического лагеря). Согласно некоторым источникам, резкие скачки цен на нефть объясняются не арабо-израильским конфликтом начала 70-х гг. XX в. и другими причинами, а соглашением владельцев крупных нефтяных концернов («ARCO», «Royal Dutch Shell», «Mobil» «Exxon» и др.) с ОПЕК, причем большую выгоду получили крупные корпорации и финансовые группы.

К 1997 г. цена опустилась до 11–12 долл. США за баррель, однако в дальнейшем возобладала тенденция удорожания нефти, и в 2004 г. она вновь подскочила до 50 долл. за баррель, достигнув в 2008 г. своего пикового значения в 147 долл. за баррель.

Вслед за ценами на нефть выросли мировые цены на природный газ, впервые превысив порог в 210 долл. / м³ на рынках США и Великобритании (в 2000 г. средняя стоимость природного газа в этих регионах составляла около 150 долл. / м³). Цены на газ следуют за изменениями цен на нефть с задержкой 9–12 месяцев.

Рост цен на нефть и газ в последние годы привел и к более высоким темпам роста спроса на уголь и соответственно цен на него. Цена импортного энергетического угля в странах ОЭСР поднялась со среднего значения 36 долл. США за тонну в 2000 г. до 62 долл. / т в 2010 г.

В настоящее время эксперты называют разные причины наблюдаемого во второй половине 2000-х гг. резкого подъема цен на энергоресурсы, одной из которых является значительное истощение запасов легкодоступных ресурсов, прежде всего нефти. В некоторых отчетах говорится о том, что пик добычи с высокой вероятностью может случиться до 2020 г., после чего начнется сокращение добычи.

¹ ОПЕК (ОПЕС) – Organization of Petroleum Exporting Countries = Организация стран – экспортеров нефти – была создана в 1960 г. Ираном, Ираком, Кувейтом, Саудовской Аравией и Венесуэлой с целью координации их отношений с зарубежными нефтяными компаниями. Позднее к ОПЕК присоединились Алжир, Эквадор (вышел из ОПЕК в 1992 г.), Габон (вышел в 1996 г.), Индонезия, Ливия, Нигерия, Катар и Объединенные Арабские Эмираты. Штаб-квартира ОПЕК находится в Вене. Доля стран ОПЕК в мировой добыче нефти составляет порядка 40%.

Уже сегодня в разработку вовлекается все больше сложных месторождений, как по характерам коллекторов, так и по качеству нефти, и себестоимость разработки таких месторождений оказывается выше 20 долл. США за баррель. Это в долгосрочной перспективе может привести к ограничению предложения энергоресурсов, что негативно скажется на экономическом росте.

Существуют и другие точки зрения (см. также пп. 8.3.2). Например, профессор В. В. Бушуев (руководитель рабочей группы по формированию энергетических стратегий России до 2020 и до 2030 гг., см. п. 4.6) выделяет четыре этапа, отличающиеся формированием цен на нефть:

- доминирование международных нефтяных компаний (до 1973 г.);
- главенство ОПЕК (1973–1986);
- период «хрупкого паритета» между странами-потребителями и экспортерами при сохранении влияния квот¹ ОПЕК на нефтяные котировки (1986–2003);
- период доминирования спекулятивного капитала (2003–2013).

По мнению В. В. Бушуева и аналитиков из Института энергетической стратегии (ГУ ИЭС), в настоящее время развитие фьючерсного рынка привело к притоку на рынок хеджеров², инвесторов и спекулянтов. Выросла доля игроков на рынке, фактически не связанных с энергетической сферой. Примерно с 2003 г. цена нефти стала определяться ее ценностью как финансового актива, и фьючерсный рынок превратился в доминирующую силу при ценообразовании на нефтяном рынке.

Если принять во внимание обе точки зрения и учесть тот факт, что резкое повышение цен в период 2003–2013 гг. выгодно сказывалось на увеличении рентабельности добычи и развитии технологий переработки битуминозных песков Канады (см. п. 7.1 и пп. 8.3.1) и разработки шельфовых месторождений, то опять (как и в 70-е гг. XX в.) прослеживается прямая выгода от происходящего как для крупных финансовых групп, так и для нефтяных концернов.

В 2014–2015 гг. наблюдался «ценовой шок» – двукратное падение мировых цен на нефть. Одной из причин этого стала сланцевая

¹ *Квота* (позднелат. *quota* – часть) – доля участия в производстве, сбыте, экспорте или импорте продукции, устанавливаемая в картельных соглашениях монополий для входящих в них участников-предприятий, компаний или стран.

² *Хеджер* (англ. *hedger*) – категория игроков на бирже, совершающих операции с целью защиты активов от колебаний цен.

революция¹, которая получила распространение в США и, отчасти, в Канаде (см. пп. 8.3.2). Добыча нефти низкопроницаемых пластов в Северной Америке обеспечила почти весь прирост мировой добычи в 2013–2014 гг. и дала толчок разбалансировке мирового рынка.

Другими причинами, повлиявшими на всех участников глобального рынка энергоносителей, по мнению председателя Научного совета РАН по проблемам геологии и разработки месторождений нефти и газа, академика РАН А. Э. Конторовича, стали рост предложения со стороны традиционных поставщиков нефти в Персидском заливе и снижение темпов роста потребления нефти в странах АТР и снижение потребления в Европе.

На стороне потребления наиболее существенный вклад в дальнейшую разбалансировку мирового рынка посредством сокращения мирового спроса на нефть способны внести крупнейшие потребители нефтяного сырья – транспорт, электроэнергетика и теплоснабжение зданий, – осуществляющие активное технологическое развитие [34].

В настоящее время, по данным компании «BP», в ТЭБ России суммарная доля нефти и газа очень высока – 74,2% (против мировой доли 56,7%), а доля угля крайне низка – 13,3%. В Китае на угле вырабатывается 63,7% электроэнергии, в Индии – 58,1%, в Австралии – 35,5%.

Согласно данным «BP», в настоящее время в топливно-энергетическом балансе США наблюдаются относительно близкие значения потребления нефти, газа и угля (соответственно 37, 31, 17%), и по данным Агентства по национальной безопасности США, существующее положение останется таковым до 2020 г. Кроме того, практически одинаковое соотношение потребления нефти, газа и угля наблюдается в ТЭБ Германии, Румынии, Словакии, Турции и Австралии.

Использование угля как энергоносителя связано с большими проблемами экономического и экологического характера. Нефть и газ намного удобнее в эксплуатации: жидкое и газообразное топлива легко подавать при помощи насосов по трубам и сжигать посредством форсунок и горелок. Кроме того, теплота сгорания нефти примерно в 1,5 раза выше, чем у угля, и во много раз превышает теплоту сгорания дров (табл. 5).

¹ *Сланцевая революция* – внедрение в промышленную эксплуатацию эффективных технологий добычи газа из залежей плотных пород (алевроитов, аргиллитов и сланцев), а также легкой нефти низкопроницаемых коллекторов, которое произошло в США в начале XXI в.

Таблица 5

Удельная теплота сгорания топлива

Топливо	W_v , МДж / кг*	W_n , МДж / кг**
<i>Твердое</i>		
Антрацит (марки «А»)	32–34	19–27
Бурые угли	25,0–29,0	10,0–17,0
Горючие сланцы	27,0–33,0	6,3–8,4
Древесный уголь (сухой)	30,0	–
Дрова	19,0	10,0
Каменные угли длиннопламенные (Д)	31,0–32,0	21,0–24,0
Спирт	–	27
Торф	22,0–25,0	8,4–11,0
<i>Жидкое</i>		
Бензин высшего качества	–	44,1
Дизельное автотракторное горючее	–	42,7
Керосин торговый	–	43,0
Мазут	–	39,0–41,0
Нефть	–	41,0
Этиловый спирт	–	27,2
<i>Газообразное (0°C, $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$)</i>		
Ацетилен	50	48,2
Бутан	49,6	46,1
Водород	142	120
Коксовый газ (очищенный)	–	34,8
Оксид углерода	10,2	–
Природный газ	–	42–47

* W_v – высшая теплота сгорания (без учета потерь на испарение воды, содержащейся в топливе).

** W_n – низшая теплота сгорания (с учетом потерь на испарение воды, содержащейся в топливе).

Источник: Справочник по элементарной физике. 10-е изд. М.: Наука, 1988. 254 с.

Газ, как топливо, имеет важные преимущества перед нефтью и тем более углем: у него высокая теплотворная способность, кроме того, при горении природного газа не остается золы.

Следует отметить, что в последние годы увеличивается число стран и крупных регионов, развитие которых не обеспечено собственными энергоресурсами. Особенно резко возросла зависимость от импорта энергии наиболее быстро развивающихся стран (Китая, Индии и др.), и в перспективе ситуация будет только усугубляться. В частности, Азия уже сегодня 60% своих потребностей в нефти обеспечивает за счет импорта, а к 2020 г. импорт будет покрывать до 80% спроса.

Согласно данным «ВР», по производству гидроэлектроэнергии в настоящее время Россия переместилась с третьего на пятое место в мире, уступив Канаде, Китаю, Бразилии и США. По мнению аналитиков Санкт-Петербургского информационного агентства INFOLine, в экономике России нарастает опасность утраты стратегического значения гидроэнергетики. Основная проблема заключается в износе оборудования, и если ситуацию не изменить, положение в этой отрасли скоро может стать критическим.

По оценке INFOLine, несмотря на наличие в России богатых гидроресурсов и предпосылок для развития гидроэнергетики, экономические гидроресурсы в нашей стране освоены всего на 21%. Для сравнения: в Германии, Франции и Италии этот показатель достигает 95%, в Великобритании – 90%, Японии – 84%, США – 82%.

В 2014 и 2015 гг. опубликовано несколько долгосрочных прогнозных исследований развития общемирового ТЭК. В частности, это прогноз, предложенный Международным энергетическим агентством (МЭА), прогноз компании «ВР» и прогноз, подготовленный ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ИНЭИ РАН) и ФГБУ «Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации» (АЦ при Правительстве РФ) [35].

Основными исходными данными при составлении прогнозов являются:

- численность населения в мире и ее распределение по отдельным регионам и странам;
- стоимость энергетических услуг;
- возможность использования новых технологий.

Кроме того, могут использоваться и другие факторы. Например, для имитационной многофакторной модели, которую применяет МЭА в своих прогнозных исследованиях, в качестве исходных данных также учитываются:

- предполагаемые значения роста ВВП в каждом рассматриваемом регионе;
- стратегии, планы, программы и новые предложения (а также механизмы их обеспечения), принятые странами в последние годы.

Долгосрочные прогнозы общего потребления энергии (на период 2035–2040 гг.) по некоторым вариантам (сценариям) всех представленных выше прогнозных исследований имеют довольно близкие значения, которые отличаются друг от друга на 2,8–3,0%, что лежит в пределах точности исходных данных и качества используемых мо-

делей¹. Таким образом, согласно большинству прогнозов, в конце 30-х гг. XXI в. значение мирового энергопотребления будет составлять ~24,5 ТВт.

Согласно материалам Минэнерго России (2016), сценарий развития мирового ТЭК, описываемый в качестве базового в большинстве прогнозов зарубежных аналитиков, предполагает, что глобальный спрос на энергоносители вырастет к 2040 г. приблизительно на 35–45% при стабилизации потребления энергии в странах ОЭСР.

Однако следует отметить, что в условиях, когда нынешняя тенденция сохранения относительно низких цен на энергоносители сохранится длительное время, снижается достоверность прогнозов, сделанных до 2015 г., так как в предложенных исследованиях ИНЭИ РАН, АЦ при Правительстве РФ и «ВР» за основу бралось предположение постепенного повышения цен на энергетические ресурсы.

Кроме того, вызывают определенные сомнения данные исследований ООН по численности населения, опубликованные в 2015 г. В частности там указано, что в России ожидается уменьшение народонаселения до 139, 129 и 117 млн человек в 2030, 2050 и 2100 гг. соответственно. Однако именно эти данные являются основополагающими при проведении почти всех прогнозных исследований.

Согласно некоторым прогнозам, к концу XXI в. мощность мировой энергетической системы вырастет в 3,5 раза по сравнению с 2010 г. и составит 57 ТВт. Если учесть, что к этому времени скорость роста человечества существенно замедлится и будет в 3 раза меньше, чем сейчас, то рассматриваемую оценку следует принять за верхний предел.

6.1.2. Возобновляемые нетрадиционные источники энергии

Альтернативная энергетика – совокупность перспективных способов получения энергии, которые распространены не так широко, как традиционные. В настоящее время на возобновляемые нетрадиционные источники энергии (ВНИЭ) приходится всего около 1,3% мировой выработки электроэнергии (см. табл. 4).

К возобновляемым нетрадиционным (альтернативным) источникам энергии относят биоресурсы, ветровую энергию, энергию приливов и отливов, геотермальную энергию, энергию солнца, водородную энергетику и др.

¹ Академия энергетики. 2015. № 1 (63). С. 4–13.

Энергетические биоресурсы. Биоресурсы тоже являются возобновляемыми источниками энергии. К ним относятся ресурсы древесины, торфа, горючих сланцев, а также отходы растениеводства (солома, лузга подсолнечника, риса, сезонные обрезки садов и виноградников и т. д.), отходы животноводства, птицеводства, деревообрабатывающей промышленности. Кроме того, в последние годы очень часто упоминаются биогаз и водоросли.

В настоящий момент Россия располагает необходимым научно-техническим потенциалом для решения вопросов, связанных с разработкой новых технологий топливного использования биомассы. Это позволит решить проблемы, связанные с развитием распределенной энергетики, на новых технологических основах в большинстве регионов страны.

Перспективным считается использование для получения электроэнергии на батареях высокотемпературных топливных элементов биогаза. Данное направление представляет собой органическое сочетание двух инновационных направлений:

- разработка технологии и оборудования для эффективного получения биогаза;
- разработка и изготовление генератора на основе твердооксидных топливных элементов, работающих на биогазе.

На очистных сооружениях в Дрездене (Германия) уже функционирует опытная установка для получения биогаза. Планируется также создание аналогичной пилотной (т. е. опытной) установки на одном из очистных полигонов Московской области. Проект разрабатывается учеными из Института физики твердого тела РАН (ИФТТ РАН), Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ) и Экспериментального завода научного приборостроения (ФГУП ЭЗАН) совместно с Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems (IKTS, Дрезден, Германия). Эта установка будет питать твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) мощностью 1 кВт.

В последние годы многие компании инвестируют в коммерциализацию производства биотоплива из водорослей, резонно рассчитывая на то, что повышение спроса на энергоресурсы неизбежно приведет к диверсификации источников сырья для энергетики. Не остаются в стороне и нефтяные компании, готовящиеся к конкуренции на рынке возобновляемого топлива и вступающие в различные альянсы с разработчиками инновационных решений в области производства биотоплива. В частности, известно о соответствующих

НИОКР компаний «ExxonMobil Corp.» (США), «BP» и «Chevron Corp.» (США).

Водоросли представляют собой многообещающий энергоресурс. Преимущества водорослей в качестве возможного сырья для производства транспортного топлива хорошо известны. Выращивание водорослей не отнимает землю и водные ресурсы у растений, используемых в производстве продовольственной продукции. Это отличает новый энергоресурс от многих видов сырья для биотоплива первого поколения. Некоторые водоросли способны производить масло в естественных условиях фотосинтеза. Для подобного производства нужны лишь солнечный свет, вода и углекислый газ. Кроме того, потребляя CO_2 (к примеру, углекислый газ, вырабатываемый теплоэлектростанциями) и «выдыхая» кислород, такие водоросли способствуют снижению выбросов парниковых газов¹. По своей молекулярной структуре биотопливо из водорослей похоже на используемые ныне нефтепродукты. И наконец, водоросли обладают очень высокой урожайностью и позволяют получить значительный выход биотоплива. Используя водоросли, можно получить свыше 18,5 тыс. л топлива с одного гектара² в год. Аналогичные показатели для другого сырья значительно ниже: масличная пальма – 6100 л, сахарный тростник – 4200 л, кукуруза – 2300 л, соя – 470 л.

Энергия ветра и воды. Реальные возможности использования таких возобновляемых источников энергии (ВИЭ), как ветер и вода, в их современном формате ограничены. Ветровая энергетика, использование морских приливов и геотермальных источников всегда будут иметь ограниченные масштабы. Что же касается гидроресурсов, то, например, в России основная их часть уже задействована, а строительство новых гидроэлектростанций может сталкиваться с серьезными экологическими проблемами.

Геотермальные источники энергии. Примером геотермальной электростанции (ГеоЭС) может служить Мутновская геотермальная электростанция, расположенная в 140 км от г. Петропавловск-Кам-

¹ Считается, что выбросы парниковых газов в атмосферу могут стать причиной глобального потепления. Суть парникового эффекта состоит в поглощении некоторыми газами отраженного от поверхности Земли инфракрасного теплового излучения, что приводит к увеличению средней температуры воздуха на планете. Различные газы имеют разную способность к образованию парникового эффекта. Обобщить вклад предприятия в глобальное потепление можно при помощи эквивалента CO_2 .

² *Гектар* – единица площади в метрической системе мер, применяемая для измерений земельных участков; 1 га = 10 000 м², т. е. 1 га равен площади квадрата со стороной 100 м.

чатский у подножия действующего вулкана Мутновский. До начала строительства Мутновской ГеоЭС там же ранее была введена в эксплуатацию Верхне-Мутновская станция мощностью 12 МВт. Кроме того, в 1967 г. на юге Камчатской области была построена Паужетская ГеоЭС мощностью 11 МВт, которая продолжает работать и в настоящее время.

Первый блок Мутновской ГеоЭС мощностью 25 МВт введен в эксплуатацию в 2001 г. Через год, с пуском второго энергоблока, мощность станции возросла до 50 МВт. Вторая очередь Мутновской ГеоЭС вводилась в эксплуатацию в 2007–2009 гг. и увеличивала мощность станции на 100 МВт. Третья очередь мощностью более 100 МВт планировалась на 2012 г. Мутновская ГеоЭС на протяжении ряда лет демонстрирует устойчивую работу и производит дешевую электроэнергию, себестоимость которой составляет около 1,5 цента/(кВт · ч). В целом Мутновская ГеоЭС во многом превосходит по своим техническим характеристикам зарубежные аналоги:

- экологическая чистота достигается исключением прямого контакта геотермального теплоносителя с окружающей средой с последующей закачкой его обратно в земные пласты;
- проблема защиты оборудования станции от коррозии и солеотложений в значительной степени решена с помощью применения специальной технологии присадок пленкообразующих аминов;
- блочно-модульный принцип поставки оборудования позволил существенно сократить сроки строительства станции.

Уже сегодня геотермальная энергетика обеспечивает более 25% потребности в электроэнергии Камчатки, что позволяет ослабить зависимость полуострова от поставок дорогостоящего топлива.

Следует отметить, что геотермальные электростанции с высокопотенциальным теплоносителем могут сооружаться только вблизи соответствующих месторождений геотермальных вод. Таких месторождений не много, соответственно и подобные электростанции – объекты достаточно уникальные. Гораздо большей доступностью и распространенностью обладают геотермальные воды с более низкими внутрипластовыми температурами. Громадными запасами геотермальных вод с температурами до 100°C обладает Западная Сибирь.

Технологии получения электроэнергии из низкопотенциальной тепловой энергии геотермальных вод основаны на двух принципах энергопреобразования: использования веществ с низкими температурами кипения и специальных гидропаровых турбин.

Идея производства электроэнергии в турбогенераторах с помощью веществ с низкими температурами кипения принадлежит советским ученым, которые в 1965–1967 гг. создали первую в мире геотермальную бинарную электростанцию на Камчатке – Паратунскую ГеоЭС. Фреон, превращенный в пар теплом горячей воды, направлялся в турбогенератор, вырабатывающий электрическую энергию. Сегодня эта технология активно используется. Построено около тысячи энергоблоков мощностью от нескольких кВт до 130 МВт в десятках стран мира.

Солнечная энергетика. Существует точка зрения о высокой эффективности солнечной энергетике – систем из солнечных батарей и полупроводниковых фотопреобразователей. По мнению академика РАН Ж. И. Алферова и члена-корреспондента РАН Н. С. Лидоренко, КПД полупроводниковых преобразователей в перспективе может быть поднят до 60% и даже больше. Однако не ясно, удастся ли добиться рентабельности их производства по сравнению с другими источниками энергии. Также разрабатываются варианты космических солнечных электростанций с передачей полученной энергии на Землю. Однако в первой половине века эта проблема не станет на практические рельсы.

Кремниевые солнечные батареи известны уже более чем полвека. Эффективность преобразования света в кремниевых батареях достигает 20%, а срок службы – более 25 лет. Стоимость самого кремния не высока, однако технология производства кремниевых солнечных батарей чрезвычайно сложна, что обуславливает их высокую стоимость.

Объем производства электроэнергии с использованием кремниевых батарей в последние годы стремительно растет. В США и Европе 1 кВт · ч энергии, полученной от солнечных батарей, стоит около 30 центов, что в 2–5 раз больше, чем тарифная ставка за 1 кВт · ч, предоставляемой жителям от обычных источников (ТЭС или АЭС). Самые оптимистичные прогнозы позволяют рассчитывать на то, что цена получаемой от «неорганических» солнечных батарей энергии снизится до 10 центов за 1 кВт · ч лишь в 2014 г. Сегодня использование кремниевых солнечных батарей окупается лишь в тех случаях, когда потребитель удален от других источников энергии.

Таким образом, в настоящее время по всему миру формируются программы развития ветровой, солнечной энергетике и биотоплива. Лидерами выступают США, Китай и страны ЕС. Так, например, в Ев-

ропе к 2020 г. планируется увеличить долю ВИЭ до 20%. Официально это объясняется сокращением антропогенного воздействия на климат и сокращением выбросов углекислого газа (CO_2) в атмосферу. Но для того, чтобы эти программы заработали и возобновляемая энергетика стала конкурентоспособной, необходимы высокие цены на нефть и газ. При всем этом исследования по антропогенному воздействию на климат являются спорными, о чем много говорилось, поэтому в некоторой степени нелогично выглядит спешка в развитии возобновляемой энергетике (с созданием объективных сложностей для экономики).

Тахионная энергия Теслы. В связи с рентабельностью различных альтернативных источников энергии по сравнению с традиционными следует упомянуть об исследованиях Николы Теслы (Tesla) – американского ученого (серб по национальности). В конце XIX в. и первой половине XX в. Н. Тесла проводил многочисленные опыты по конверсии энергии тяготения (или тахионной энергии). Тесла изучал энергетическое поле, которое окружает Землю и наполняет пространство, и извлекал из него энергию (совершенно бесплатную). Одновременно с этим он использовал это энергетическое поле для самых различных видов коммуникации и передачи энергии на расстояние. Такие источники энергии, как каменный уголь, нефть, сила воды, становились излишними, как и трансконтинентальные линии электропередачи. Корабли, автомобили, самолеты, фабрики и жилые дома могли получать энергию непосредственно из энергетического поля Земли, и соответственно контроль над электроэнергией, нефтью, газом, углем и т. п. после внедрения этих технологий становился невозможным (см. п. 2.1). Существует версия, что банкир Дж. П. Морган (Morgan), финансировавший опыты Теслы, осознав возможные последствия их внедрения, заставил изобретателя свернуть все работы и приказал сравнять с землей центр Н. Теслы в Колорадо-Спрингсе.

Водородная энергетика. Среди реальных источников энергии большие надежды возлагаются на водородную энергетику. Она основывается на водороде, который относится к типу возобновляемых и экологически чистых энергоресурсов. Кроме того, из основных используемых в настоящее время топлив водород имеет наибольшую по величине удельную теплоту сгорания (см. табл. 5).

Однако пока водородная энергия обходится дороже традиционных источников. Но прогнозы показывают, что в перспективе она будет стремительно дешеветь на фоне удорожания ископаемого топли-

ва. Основная задача состоит в том, чтобы обеспечить достаточно высокую эффективность производства и хранения водорода и разработать конкурентоспособные энергоустановки с его использованием.

При сжижении водорода его объем уменьшается в 700 раз. Но для хранения жидкого водорода требуется создать криогенные системы. Одной из проблем при создании криогенных систем хранения водорода в жидком состоянии является то, что в таком виде он находится в узком интервале температур: от температуры кипения 20,3 К до температуры замерзания 14,1 К. Если температура поднимается выше точки кипения, водород переходит из жидкого состояния в газообразное, опускается ниже точки замерзания – в твердое состояние.

Не так давно появилась концепция водородной энергетики, которая предполагает получение водорода при помощи ВНИЭ (солнечных, геотермальных, ветровых и пр.) или атомной энергии, дальнейшую его транспортировку и эффективное использование в химической, металлургической, металлообрабатывающей, пищевой отраслях промышленности и других областях. Однако в основном концепция водородной энергетики ориентирована на использование водорода в качестве универсального топлива для транспортных энергетических установок, которые являются главными потребителями ископаемого топлива и основными загрязнителями окружающей среды.

В настоящее время 90% водорода – основного компонента водородсодержащего газа (ВСГ) – получают в процессах риформинга и в других нефтеперерабатывающих и нефтехимических процессах, и практически весь он используется в различных процессах нефтепереработки (гидроочистка, гидроформинг, гидроизомеризация и др.) и нефтехимии (процессы гидрирования). Другой традиционный способ получения водорода методом каталитической конверсии углеводородов (см. п. 13.3, 14.2) нельзя считать перспективным, во-первых, из-за слишком высоких затрат энергии (порядка 20 МДж / м³ водорода), а во-вторых, в связи с сокращением запасов природного сырья – нефти или газа.

Всего разработано и описано в литературе около 60 методов производства водорода. Из существующих технологий крупномасштабного производства водорода предпочтение следует отдать электролитической технологии. Однако и в этом случае затраты электроэнергии недопустимо велики – не менее тех же 20 МДж в расчете на 1 м³ чистого водорода. Если рассчитывать на производство водорода на АЭС и ГЭС в непииковые режимы работы, то расход энергии можно будет снизить более чем в два раза.

Использование водорода во второй четверти XXI в. может вызвать подлинную энергетическую революцию¹ как составную часть распространения нового технологического уклада (см. п. 19.2).

Ожидается, что к 2100 г. производство водорода достигнет, по оценкам Министерства энергетики США, 770–950 Мт (в 2000 г. оно составляло 50 Мт)². Это приведет к формированию крупнейшего нового сектора мировой экономики.

Эксперты многих стран мира считают, что уже в первой половине XXI в. заметную роль в развитии мировой энергетики, в том числе в энергетике больших городов, предстоит сыграть водороду. Еврокомиссия рассматривает два сценария развития водородной энергетики:

- *базовый* – производство водорода на основе традиционных источников энергии (уголь, нефть, газ) путем термохимической конверсии первичной энергии;
- *водородный* – производство водорода на основе альтернативных, в том числе возобновляемых источников энергии, включая гидроэнергетику, путем электролиза воды.

В соответствии с водородным сценарием широкомасштабное производство водорода в мире начнется после 2030 г. и будет стимулироваться снижением стоимости водородных технологий и ростом потребления водорода в транспортном секторе. С 2030 по 2050 г. производство водорода вырастет до 1 млрд т (в базовом сценарии – 250 млн т). К 2050 г. водород, по водородному сценарию, будет обеспечивать 13% от конечного потребления энергии по сравнению с 2% в базовом сценарии.

В данный момент мировой объем производства водорода составляет 50–60 млн т/год, его основными потребителями являются:

- химическая промышленность;
- нефтепереработка;
- металлургия;
- производство поликристаллического кремния;
- микроэлектронная и электротехническая промышленность;
- стекольная промышленность;

¹ *Энергетическая революция* – смена тенденции роста потребления углеродного топлива на тенденцию его устойчивого снижения, что приведет к замене ресурсной и технологической базы энергетики с доминирующей углеродной на «равноправную» или даже преимущественно возобновляемую и «чистую».

² Мт – мегатонна; 1 Мт = 10⁶ т или 10⁹ кг.

- пищевая промышленность;
- энергетика.

Предполагается, что в ближайшем будущем большая часть произведенного водорода будет использоваться на ТЭЦ для производства электроэнергии и тепла и, возможно, в двигателях внутреннего сгорания (базовый сценарий). По водородному сценарию предусматривается производство водорода электролизом воды и практически полное его использование на транспорте (главным образом в топливных элементах). Производство водорода электролизом воды стимулирует применение избыточных мощностей АЭС и ВИЭ в провалах суточного и годового графиков нагрузки. В этом случае станции работают с КПД, близким к оптимальному, и с максимально возможным отпуском электроэнергии внешнему потребителю, благодаря этому минимизируются удельные постоянные эксплуатационные затраты и снижается себестоимость производства электроэнергии.

Министерство коммерции, индустрии и экономики Южной Кореи в 2005 г. приняло план строительства водородной экономики к 2040 г. Цель – производить на топливных элементах 22% всей энергии и 23% электричества, потребляемого частным сектором. Если поставленные задачи будут выполнены, Южная Корея станет производить из водорода 8% ВВП страны к 2040 г.

Что касается Европы, то в Швейцарии испытана экспериментальная модель TOTЭ «HXS 1000 премьер», которая была смонтирована в 110 жилых зданиях. Эти установки проработали с начала испытаний более 1,5 млн ч, таким образом, накоплен опыт работы в реальных условиях. На Ганноверской ярмарке в 2005 г. компания «Hexis» представила следующее поколение TOTЭ – топливную систему «Galileo 1000 N».

В настоящее время в Японии фирмами «Osakagas» и «Tohogas» начаты пилотные проекты по установке в частных домах 1–2-киловаттных установок TOTЭ, работающих на природном газе. Устанавливаемое оборудование в реверсивном режиме соединено с городской электросетью. Общий КПД TOTЭ достигает 80%, КПД генерации электроэнергии – 60%. Помимо электроэнергии производится тепло, которое используется для обеспечения горячего водоснабжения и обогрева.

По мнению многих экспертов, в водородной энергетике применение энергоустановок на топливных элементах малой мощности в

децентрализованном энергоснабжении – самое реальное и перспективное направление.

В последние годы в ЕС, США, Канаде, Японии, Китае и ряде других стран приняты новые государственные программы, рассчитанные на широкое внедрение водородных технологий в автотранспорте, энергетике, авиации и других областях промышленности. Основные цели этих программ – обеспечение энергетической независимости, экологической безопасности, устойчивого развития, повышения качества жизни населения и лидерства указанных стран в области новых водородных технологий.

Тяжелый изотоп водорода дейтерий (D) может служить сырьем для термоядерных реакций. Например, одна тонна натурального водорода содержит 200 г дейтерия, который равноценен 2000 т нефти, а одна тонна воды содержит 11% водорода. Из этого следует, что запасы топлива на Земле для термоядерных реакций практически неисчерпаемы.

6.1.3. Прогнозирование изменения мирового топливно-энергетического баланса

Текущая ситуация и перспективы топливно-энергетической отрасли в различных странах имеют, разумеется, свои особенности. Так, в ряде штатов США, таких как Индиана, Пенсильвания и другие, приняты местные программы поддержки и развития угольной отрасли, поэтому развитию технологий газификации углей (см. п. 15.2) и производству энергии и топлив на этой базе там будет уделяться повышенное внимание. В Бразилии, где велики объемы сельскохозяйственного производства, а как импортная, так и собственная нефть дорога, большое внимание уделяется использованию этанола – продукта переработки сельскохозяйственных отходов (от переработки сахарного тростника).

В настоящее время общая энергогенерация России остается нерациональной (табл. 6, а также см. табл. 4). Согласно прогнозам Минэнерго России на период до 2030 г., в Российской Федерации будет преодолена тенденция нарастающего доминирования природного газа на внутреннем энергетическом рынке с уменьшением его доли в общем энергопотреблении с 52,8% в 2016 г. до 46–47% к 2030 г. Кроме того, прогнозируется увеличение доли нетопливных источников энергии в потреблении первичных топливно-энергетических ресурсов с 11 до 13–14% к 2030 г.

Таблица 6

Структура производства электроэнергии в России (в %)

Тип электростанции	2008 г. (факт)	2020–2022 гг. (прогноз)	2030 г. (прогноз)
Атомные электростанции	15,7	18,2–18,3	19,7–19,8
Генерирующие объекты, использующие ВИЭ, и гидроаккумулирующие электростанции*	16,1	15,4–16,6	17,7–19,1
Конденсационные электростанции (КЭС)**	31,1	32–38,1	34,4–39,5
Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ)***	37,1	28,3–33,1	21,6–28,1

* Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) – гидроэлектростанция, используемая для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки.

* КЭС (ранее ГРЭС) – тепловая электростанция, производящая только электрическую энергию с использованием конденсационных турбин. На КЭС применяется органическое топливо: твердое топливо, преимущественно уголь разных сортов в пылевидном состоянии, газ, мазут и т. п.

** ТЭЦ – тепловая электростанция, вырабатывающая не только электрическую энергию, но и тепло, отпускаемое потребителям в виде пара и горячей воды. Исходный источник энергии на ТЭЦ – органическое топливо (чаще газ и мазут).

И с т о ч н и к: Энергетическая стратегия России на период до 2030 года.

В электроэнергетике наиболее весомый вклад в снижение уровня потребления нефти внесет ускоренное развитие технологий электрогенерации на базе ВНИЭ, а также связанное с этим массовое внедрение децентрализованных систем распределенного электрообеспечения. Прогнозируется существенный рост доли ВНИЭ в мировом объеме электрогенерации (примерно в 3–4 раза, с 3 до 12%). В электрогенерации уже в ближайшее время ВНИЭ могут обойти газ как второй по мировой значимости энергоноситель, а к 2035 г. выйти на первое место в данной области. Наибольший прирост объемов электрогенерации на базе ВИЭ прогнозируется в Китае (в абсолютных величинах больше, чем в США, ЕС и Японии, вместе взятых) [34].

Однако, по данным зарубежных аналитиков, в ближайшем будущем именно газ постепенно оттеснит на второй план наиболее популярные ныне энергоносители – нефть и уголь. В долгосрочных прогнозных исследованиях, сделанных специалистами МЭА, «ВР» и ИНЭИ РАН совместно с АЦ при Правительстве РФ, указывается, что к 2030–2035 гг. доля природного газа в мировом энергобалансе останется примерно на нынешнем уровне при уменьшении долей нефти и угля и резком увеличении использования ВНИЭ (табл. 7).

Таблица 7

**Прогноз распределения первичных ресурсов в энергопотреблении на 2030 г.
(по данным МЭА)**

Источник энергии	Мировое потребление первичных ресурсов, млн тнэ	Доля в мировом энергопотреблении, %	Потребление первичных ресурсов в России, млн тнэ	Доля в энергопотреблении (Россия), %
Всего	15 370	100,0	709	100,0
Нефть	4313	28,1	139	19,6
Газ	3547	23,1	348	49,1
Уголь	3448	22,4	99	14,0
Атомная энергия	1044	6,8	71	10,0
Гидроэнергия	482	3,1	20	2,8
ВНИЭ	2535	16,5	32	4,5

Источник: IEA. World Energy Outlook 2015.

В последние годы все чаще говорят, что на смену «нефтяной эпохи» приходит «эпоха метана» (природного газа).

Наиболее динамичные темпы роста прогнозируются для мировой торговли газом, рынок которого стал глобальным и удельный вес которого в общем объеме мировых потоков ископаемых топливных ресурсов должен вырасти к 2040 г. до 22–25% (по сравнению с 17% в 2012 г.). При этом торговля СПГ обеспечит почти 60% этого прироста, опередив по темпам торговлю трубопроводным газом.

Сохранение позиций угля в энергетике азиатских стран возможно за счет развития новых технологий сжигания и переработки угля, включая использование энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара (УСКП) [34].

Возможно, в ближайшие несколько лет в развитии промышленности не будет технологических прорывов. Возможно, что в течение примерно 10 лет существующие технологии будут развиваться в направлении снижения стоимости и улучшения экологической обстановки в большинстве распространенных областей применения. Но в последующие 10 лет конкуренция приведет к созданию технологий, существенно отличающихся от сегодняшних, и нужно к этому готовиться.

Согласно глобальным прогнозам, первые два-три десятилетия XXI в. растущие энергопотребности будут удовлетворяться в основном за счет ископаемого топлива, особенно в развивающихся странах (в связи с быстрым ростом населения и современным низким уровнем энергопотребления). По прогнозам Международного энергетического

агентства, до 2030 г. глобальный спрос на энергоресурсы будет увеличиваться на 1,7% в год и достигнет 15,3 млрд т в нефтяном эквиваленте, причем на ископаемое топливо будет приходиться более 90% прироста спроса. Однако это вызовет истощение лучших месторождений, чрезмерное удорожание энергии и усиление теплового загрязнения окружающей среды с негативными климатическими последствиями. Поэтому ряд прогнозов предусматривают уже с третьего десятилетия опережающий рост потребления ВИЭ, и прежде всего водородной энергетики.

Оценка перспектив атомной и термоядерной энергетики противоречива. Большинство прогнозов не предусматривают увеличение ее доли, а некоторые предсказывают даже свертывание во второй половине века. Вероятно, доля ядерной энергетики будет снижаться, поскольку не предполагается строительство новых крупных ядерных электростанций, главным образом по соображениям экологической безопасности (проявление данной тенденции усилилось после аварии в 2011 г. на АЭС «Фукусима-1» в Японии).

Энергетическая революция изменит положение на мировом энергорынке. Сейчас он зависит от стран Ближнего и Среднего Востока, России и Латинской Америки, на долю которых приходится 90% мировых запасов нефти и 83% запасов газа (при доле в населении мира 29%). Если будут реализованы водородные программы США и Западной Европы, то эти страны могут стать основными источниками возобновляемых энергоресурсов.

Согласно прогнозу, разработанному специалистами Международного института прикладного системного анализа (Австрия) и Токийской энергетической компании, в первую половину XXI в. будет наблюдаться постепенное сокращение использования в глобальных масштабах традиционных ископаемых энергоресурсов. Последние по сценарию сохраняют свою доминирующую роль в качестве первичных источников энергии вплоть до 2050 г., однако за это время произойдет структурный сдвиг от нефти и угля в сторону газа. К концу XXI в. водородные топливные элементы, ядерные энергетические установки и возобновляемые источники станут основными поставщиками электроэнергии, в то время как электростанции на угольном топливе или нефти полностью утратят свое значение. Единственным видом ископаемого топлива, который сохранит свое место, останется природный газ, однако его удельный вес будет существенно ниже, чем у новых альтернативных источников.

Здесь следует заметить, что в реальности перспектива может быть совсем иной. Например, в ФРГ в начале 70-х гг. XX в. составлялись прогнозы относительно вклада различных видов топлива в мировой топливно-энергетический баланс на 2000 г. В этих прогнозах предвиделось, что в период 1975–2000 гг. сохранится доминирующее положение нефти в энергетике и в обеспечении химической промышленности углеводородным сырьем. Так, согласно прогнозируемым данным, доля применения в мировом топливно-энергетическом балансе различных видов топлива должна была составлять [21]: нефть – 43%, уголь – 17%, природный газ – 16%, гидроэнергия – 4%, атомная энергия – 20% (сравните с табл. 4).

Наиболее тщательно прогнозы обеспечения сырьем и энергией были проработаны в США. Все прогнозы предполагали начало промышленного производства синтетических жидких и газообразных топлив из угля в 80-х гг. XX в. Большие надежды возлагались на атомную энергию и еще не известные другие возможные источники (низкокачественную угольную породу, содержащую органические вещества и расплавы, а также геотермальные источники, солнечную энергию и др.).

Отечественные прогнозисты в 60-е гг. XX в. предсказывали, что в дальнейшем можно ожидать сокращения добычи такого натурального сырья, как уголь и нефть; в то же время все в больших масштабах будут использоваться другие природные и синтетические материалы-заменители. Также в те годы были предположения об увеличении энергопотребления. На начало XXI в. прогнозировалось, что будет осуществлено полное использование силы ядерной реакции для энергетических целей. Основным сырьем для термоядерных реакций будет служить дейтерий, т. е. тяжелый изотоп водорода. Составляя прогнозы, ученые тогда предполагали, что единственным пределом использования дейтерия в отдаленном будущем явится перегрев атмосферы от тепла котлов термоядерных электростанций.

Кроме того, прогнозисты 60-х гг. прошлого столетия считали, что в начале XXI в. будет в большей степени использоваться внутренняя энергия земли и энергия ветра, в широких масштабах начнется применение также солнечной энергии с помощью полупроводниковых элементов. Считалось, что солнечные электростанции приобретут большое значение в энергетическом балансе XXI в. и будут конкурировать с другими энергетическими устройствами. Открытия в области химии и физики дадут в распоряжение человека неограниченные источники энергии, новые материалы.

С современных позиций видно, что некоторые прогнозы полностью оправдались, а иные кажутся просто смешными. Однако возможно, что здесь имеет место лишь неправильно предсказанное время осуществления прогноза.

Согласно [34], возможны альтернативные сценарии развития мировой энергетики, реализация которых коренным образом меняет внешние условия для развития отечественных отраслей ТЭК и, следовательно, оказывает существенное влияние на требования к их перспективной технологической структуре. Ключевыми вопросами дальнейшего развития мировой энергетики в настоящее время видятся уровень цен и спрос на нефть, темпы развития возобновляемой энергетики и жесткость «климатических ограничений» (юридически обязывающее квотирование выбросов парниковых газов). При этом быстрый переход к неуглеродной энергетике сделает вопрос о цене на нефть неактуальным, поскольку существенно упадет спрос на нее. Соответственно в зависимости от того или иного ответа на указанные вопросы возможны три сценария.

1. *Новая эпоха углеводородов* – частичный возврат к тренду, существовавшему до 2014 г., но с ускоренным развитием газового рынка.

2. *Эпоха низких цен на углеводороды*, в которую неизбежна жесткая «война за рынки», поскольку компенсировать потерю прибыли вследствие низких цен производители топливно-энергетических ресурсов смогут, только снижая издержки и увеличивая продажи.

Процесс распространения возобновляемой энергетики, за исключением биотоплива, в данных условиях, по мнению, например, МЭА, будет продолжаться, так как сохранятся политические соображения, лежащие в основе поддержки возобновляемой энергетики.

3. *Энергетическая революция*, победу которой могут существенно приблизить следующие факторы:

- ускоренное повышение экономической эффективности энергоустановок на основе ВИЭ;
- решение проблемы нестабильной выработки энергии на установках с ВИЭ;
- отказ от субсидирования углеводородного топлива.

Дополнительным мощным стимулом для реализации данного сценария может стать введение ограничений на выбросы парниковых газов, что может сделать использование органических топлив, прежде всего угля, экономически нерентабельным.

При переходе к низкоуглеродной энергетике значительную роль могут сыграть ядерные энергетические технологии. В разработке многих из них Россия прочно занимает лидирующие позиции.

По мнению экспертов Минэнерго России, достаточно вероятным, чтобы принимать его во внимание, является сценарий низких цен. Следующим по вероятности в прогнозном периоде, но наиболее критическим по значимости представляется сценарий энергетической революции, пусть и не в полном объеме.

6.2. Сырьевые ресурсы в мировой экономике XXI века

Проблемы потребления энергии в первую очередь связаны со способами ее получения, т. е. с источниками энергии и сырьем для их получения. Также важны общие аспекты, связанные с добычей минерального сырья, используемого как для топливно-энергетических, так и промышленных целей.

Геологические службы промышленно развитых стран постоянно отслеживают тенденции в развитии мировой минерально-сырьевой базы. Эти прогнозы позволяют рационально вкладывать капиталы в поиски и разведку дефицитных видов полезных ископаемых, обеспечивая таким образом надежную базу для промышленности и сельского хозяйства.

Мировая экономика развивается циклично – кризисы сменяются периодами подъемов. Анализ развития мировой минерально-сырьевой базы показал, что для нее также характерны взлеты и падения. В частности, если характерные для промышленности долгосрочные инвестиционные циклы С. Кузнецова составляют 20–25 лет (см. п. 2.1), то в горнодобывающей отрасли, согласно исследованиям геологов и геохимиков – члена-корреспондента РАН В. И. Старостина, члена-корреспондента РАН Д. Ю. Пущаровского и В. Т. Трофимова, этот период удваивается и очередной пик в добыче полезных ископаемых наступит через 40–50 лет.

Прошедший век характеризовался исключительно высокими темпами добычи минерального сырья, достигшими к его концу гигантских масштабов. В настоящее время ежегодно из недр извлекается 1100 млн т железной руды, 10 млн т меди, 18 тыс. т серебра, 2500 т золота. В связи с этим геологическая служба обязана не только восполнить запасы отработанного сырья, но и обеспечить необходимый резерв. Сложность такой задачи связана с тем, что наиболее выгодные для разработки крупные и уникальные месторождения в значительной степени уже открыты, наша планета с поверхности хорошо исследована и поиск новых месторождений на больших глубинах с каждым годом становится все более дорогостоящим.

Темпы отработки большинства видов минерального сырья в настоящее время и на ближайшие 50 лет весьма высоки, поэтому возникает вопрос об их истощении и даже о сырьевом голоде. Подобные негативные прогнозы делаются на основании интерполяции современной динамики добычи на ближайшую и удаленную перспективу.

В настоящее время у минерально-сырьевой проблемы существуют различные аспекты. Таким образом, имеется несколько различных направлений, по которым можно реализовать ряд мер с целью обеспечения мирового сообщества отдельными видами сырья.

6.2.1. Разработка месторождений минеральных пород с пониженным содержанием ценных компонентов

Опыт развития мировой экономики последних 200 лет, особенно второй половины XX в., показал, что относительно большинства видов сырья речь идет не об истощении запасов, а об их качественном изменении. У многих видов (медь, свинец, цинк, олово, платиноиды, железо) существует зависимость между содержанием полезного компонента и общим объемом рудной массы. Понижение содержания в арифметической прогрессии приводит к возрастанию объемов руды в геометрической прогрессии¹.

Так что поиски подобных месторождений и их разработку человечество будет вести до тех пор, пока экономически это будет рентабельно, в хозяйственный оборот будут вовлекаться все более значительные массы минерализованных пород с понижающимися концентрациями полезного компонента.

Таким образом, первым направлением обеспечения мирового сообщества отдельными видами сырья является комплексное и более полное его извлечение из недр.

6.2.2. Замена одного вида сырья другим

Второе направление предполагает замену одного вида сырья другим. Наиболее типичным примером могут служить горючие полезные ископаемые: нефть, газ, уголь, горючие сланцы. Эти энергетические ресурсы составляют основу ресурсного потенциала, поэтому данный аспект проблемы ресурсосбережения можно рассматривать на примере энергосбережения.

¹ *Прогрессия* (от лат. progressio – движение вперед, рост) – последовательность $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$, каждый член x_i которой получается из предыдущего x_{i-1} прибавлением постоянного (для данной прогрессии) числа (*арифметическая прогрессия*) или умножением на постоянное число (*геометрическая прогрессия*).

Современная мировая энергетическая инфраструктура базируется главным образом на нефти. Согласно прогнозам сотрудников геологического факультета МГУ, в ближайшие 10–15 лет предполагается увеличивать потребление нефти для топливно-энергетических целей ежегодно на 2–2,5%. Ежегодный прирост запасов не восполняет убыль от отработки. Также, согласно прогнозам, продолжится современная тенденция в росте цен на нефть.

По мнению знаменитого российского ученого, академика РАН, члена Academia Eurgoraea и Римского клуба С. П. Капицы, проблему полного израсходования сырьевых и энергетических ресурсов, в принципе, можно рассматривать с исторической и философской точек зрения. Многие ресурсы создаются трудом и изобретательностью, в технике и технологиях есть бесконечный резерв в производстве новых ресурсов. Исчезновение какого-либо товара, например такого как нефть, приводит к поискам и открытию новых запасов, созданию альтернативных источников энергии. В свое время тревога о том, что падает производство продовольствия, привела к тому, что в результате открытий в области биотехнологии существенно увеличилась производительность сельскохозяйственного труда и т. д.

Здесь также можно вспомнить о том, какими путями по мере развития цивилизации изменялись используемые виды топлива. Например, в XIX в. Англию – самую передовую промышленную страну того времени – постиг топливный кризис: на острове для нужд населения и промышленности перестало хватать дров, и нужно было срочно искать им замену. Со временем в Англии, а затем и в других странах мира научились топить углем еще лучше, чем дровами.

6.2.3. Пути разрешения эколого-сырьевых проблем

Третье направление обеспечения мирового сообщества отдельными видами сырья обусловлено возникшими в XX в. экологическими проблемами. Данную проблему можно разрешить различными путями.

1. Сокращение масштабов открытых разработок некоторых минеральных ресурсов за счет увеличения подземной добычи.

2. Частичная замена некоторых видов полезных ископаемых искусственными материалами, в частности пластмассами.

Для проведения ресурсосберегающей политики существенное значение имеет расширение масштабов и сфер потребления химических продуктов (синтетических смол, пластмасс и др.) вместо дефицитных и менее эффективных традиционных природных материалов

(металла, древесины, натуральных кож и жиров, стекла). Важную роль играют применение лакокрасочных покрытий, ингибиторов¹ для антикоррозионной защиты металлов и сохранения деревянных конструкций.

Разумное сочетание этих двух главных тенденций возможно только при установлении мирового регулирующего механизма в развитии минерально-сырьевой базы.

В настоящее время отсутствуют оптимизированные системы использования и развития минерально-сырьевой базы в рамках мирового сообщества. Существующие модели таких расчетов базируются на национальных приоритетах и очень часто методически не совершенны. Сделанные на их основе прогнозы практически не подтверждаются. Многие из них основаны на данных прошедшего времени и современного состояния (методы экстраполяции) и не учитывают особенностей грядущих событий. К середине XXI в. недооценка роли геологии в экономике может привести к серьезным проблемам для всего общества.

6.2.4. Долгосрочные глобальные прогнозы об использовании сырьевых ресурсов

Отечественные прогнозисты Б. Н. Кузык и Ю. В. Яковец считают, что наступивший XXI в. получил от ушедшего столетия тяжелое экологическое наследие в виде угрозы истощения многих видов жизненно важных природных ресурсов и достигшего критического состояния во многих регионах планеты загрязнения окружающей среды. Индустриальная мировая цивилизация, рыночно-капиталистический строй оказались не в состоянии обеспечить рациональное взаимодействие общества и природы. Технологические достижения, направленные на покорение природы и хищническое использование ее ресурсов, поставили под вопрос само существование человечества. Только на основе экологизации всех направлений технологического развития можно обеспечить рациональное совместное развитие природы и общества.

Согласно мнению С. П. Капицы, в обозримом будущем человечество будет располагать такими ресурсами, которые позволят пройти через демографический переход и обеспечить развитие в дальнейшем

¹ *Ингибиторы* (от лат. *inhibeo* – останавливаю, сдерживаю) – вещества, тормозящие разнообразные процессы (в частности, химические ингибиторы тормозят химические реакции, а ингибиторы коррозии снижают скорость коррозии).

(см. п. 6.1). Это существенное заключение, которое требует глубокого и всестороннего обсуждения, поскольку с ним связана долговременная стратегия человечества. Однако оно не соответствует распространенным представлениям о близкой истощаемости ресурсов и ряду рекомендаций о будущем, в которых часто содержатся решительные требования о прямом вмешательстве в демографический процесс.

Отсутствие в настоящее время глобального ограничения по ресурсам не означает, что в обозримом будущем мир не столкнется с таким положением. Есть все основания полагать, что в XXI в. население увеличится всего в 2 раза, а потребление энергии и других ресурсов возрастет в 5–6 раз. Это может привести к нарушению глобальных условий. Станет ли оно столь большим, что окажет существенное влияние на условия жизни на Земле, или само развитие технологии и организации общества позволит достичь устойчивого стационарного режима? В рамках модели такая возможность предвидится. Однако в ней не учтены глобальные обратные связи, обусловленные ограничением ресурсов и изменениями в окружающей среде.

Согласно опубликованным за рубежом долгосрочным прогнозам инновационно-технологического развития, в перспективе до 2050 г. продолжится сложившаяся в прошедшем полувеке тенденция замены металлов и других традиционных конструкционных материалов композиционными материалами, керамикой, пластмассами. Получат распространение наукоемкие интеллектуальные композиты. Достижения нанoeлектроники позволят создавать наноструктурированные металлические, керамические и полимерные материалы с заданными свойствами и необходимой формы. Сократится потребность в черных и ряде цветных металлов, добыча и переработка которых связаны с нанесением значительного ущерба окружающей среде. В строительстве получат широкое распространение новые энергосберегающие материалы, значительно сокращающие потребность в энергоресурсах при их производстве и потери при отоплении зданий, энергоэкономичные жилые комплексы новых поколений.

6.3. Современное состояние и прогнозирование путей использования минерально-сырьевых и энергетических ресурсов России

В настоящее время мировая экономика в целом достаточно обеспечена минеральными ресурсами. Эта ситуация сохранится и в ближайшие годы. Однако жить только за счет минеральных ресурсов че-

ловечество не может. Следует иметь в виду, что за редчайшими исключениями минерально-сырьевой комплекс способен обеспечить не более 5–10% ВВП. Все остальное создает созидательная деятельность человека – развитие новейших технологий в промышленности и сельском хозяйстве. Наличие же этих ресурсов – подарок судьбы и хороший трамплин в современное общество.

Кроме проведения мер по ресурсосбережению, в нашей стране необходимо резко изменить политику использования ресурсов. Опыт развитых стран (США, Англия, Япония, Германия, Франция) показывает, что они прежде всего максимально используют собственную минерально-сырьевую базу, а уж затем компенсируют недостающее сырье за счет экспорта. Например, запасов нефти в США в 7 раз меньше, чем в России (по некоторым оценкам), а газа – в 10 раз, однако уровень добычи обоих видов сырья в обеих странах почти одинаков.

В табл. 8 приведены данные (в %) по наличию и потреблению ресурсов, а также населению по странам и группам стран.

Таблица 8

Наличие и потребление ресурсов населением мира

Страна	Наличие ресурсов, %	Потребление ресурсов, %	Население, %
Всего в мире	100	100	100
Страны третьего мира	59	15	77
Россия	25	5	3
Страны ЕС	10	40	15
США	6	40	5

И с т о ч н и к: Материалы заседания Правления ЗАО «Росхимнефть» 21.04.2005 г.

Из табл. 8 видно, что США и страны ЕС потребляют 80% ресурсов мира. В частности, развитые страны (США, Англия, Германия Франция, Япония), на долю которых приходится 16% населения Земли, потребляют более половины добываемых в мире полезных ископаемых. Картина для отдельных видов сырья еще более впечатляющая. Развитые страны потребляют более 80% урана, около 77% меди, 72% свинца, 59% цинка, 67% никеля, от 50 до 80% олова, вольфрама, молибдена, более 50% фосфатного сырья и т. д.

Россия, имея в наличии 25% мировых ресурсов, потребляет лишь 5%, страны третьего мира, имея 77% мирового населения и 59% мировых ресурсов, потребляют лишь 15% ресурсов. Получается, что

Россия вместе со странами третьего мира обеспечивает развитие США и стран ЕС. Таким образом, уровень жизни и развития промышленности объясняется не количеством имеющихся в данной стране природных ресурсов, а исключительно причинами социально-экономического и политического характера.

Переходя от проблем использования минерально-сырьевых ресурсов к показателям энергопотребления для отечественной химической промышленности, можно сделать заключение, что здесь ситуация тоже не внушает оптимизма. Анализируя показатели сравнительных технико-экономических показателей по энерго- и ресурсосбережению некоторых производств базовых химических продуктов в России и за рубежом, необходимо отметить, что энергопотребление в России превышает зарубежное от 20% (производство кальцинированной соды) до 60% (каталитический крекинг¹). Аналогичная ситуация и с использованием сырья.

Очень высока энергоемкость продукции в России: она в 2,5 раза выше, чем в США; в 3,5 раза, чем в Западной Европе, и в 6 раз выше, чем в Японии. Например, на долю химии в развитых странах приходится 6–10% потребления энергии, и рост энергоэффективности производства – обязательное условие ее конкурентоспособности. Причина тому не только суровые климатические условия и огромные пространства России, заставляющие тратить больше энергии на отопление и транспорт. Главная причина – в технологической отсталости российской экономики от мирового уровня.

Кроме того, в 2000 г. по сравнению с 1990 г. энергоемкость продукции возросла на 18–27%, а также значительно увеличилась даже по сравнению с 70–80 гг. XX в., когда энергоемкость советской экономики и так была огромна. В настоящее время доля энергозатрат в структуре себестоимости продукции на многих российских предприятиях достигает колоссальных величин – 20–30%, в то время как в передовых странах с развитой экономикой норма – всего 3–5%. Причина такой ситуации не в высокой стоимости топливно-энергетических ресурсов, а в высокой энергоемкости производства. В частности, на российских нефтеперерабатывающих заводах около половины всех печных агрегатов имеют КПД 50–60% при среднем показателе на зарубежных заводах 90%.

Сравнительная энергоемкость ВВП по странам приведена в табл. 9.

¹ Крекинг (англ. *cracking*, от *crack* – расщеплять) – высокотемпературная переработка нефти и ее фракций с целью получения, как правило, продуктов меньшей молекулярной массы: моторных топлив, смазочных масел и т. п., а также сырья для химической и нефтехимической промышленности.

Таблица 9

Сравнительная энергоемкость ВВП и общее потребление энергии

Страна	Энергоемкость ВВП, кВт · ч / долл. США
Всего в мире	3,7
Украина	24,3
Россия	23,3
Казахстан	6,2
Польша	3,9
Канада	3,6
Бразилия	2,6
США	2,6

Источники: Международное энергетическое агентство, 2006.

Продукция глубокой степени переработки сырья даже при более низких ценах на сырье и тарифах на электроэнергию не имеет запаса ценовой конкурентоспособности, что определяется использованием устаревших технологий, характеризующихся высокими коэффициентами расхода сырья и энергоресурсов, а также высокой степенью износа основного технологического оборудования. В частности, степень износа основных производственных фондов в электроэнергетике и газовой промышленности достигает 60%, а в нефтеперерабатывающей промышленности приближается к 80%.

По данным на 2013 г., рост затрат на электроэнергию в РФ иногда достигает 70–80%. Сегодня электроэнергия в России стоит почти на 25% дороже, чем в Европе, и почти в 2 раза дороже, чем в США. Тарифы не должны меняться каждые полгода, как это происходит сейчас, они должны быть стабильны не менее 3–5 лет. Это касается производства монопольных продуктов¹.

Проведенные в ИНП РАН исследования (в рамках Комплексной программы научных исследований Президиума РАН «Прогноз технологического развития экономики России с учетом новых мировых интеграционных процессов (содержательные, экономические и институциональные аспекты)» (2002–2006)) на основе математического моделирования показали невозможность эволюционного перехода от сложившейся ресурсно-инерционной (экспортно-ориентированной) стратегии к прогрессивной ресурсно-инновационной стратегии. Причем длительная поддержка первой стратегии приведет к ускоренному

¹ Федеральный справочник. Топливо-энергетический комплекс России. М.: ЦСП. Т. 14. С. 257–262.

истощению природных ресурсов и полной утрате отечественного инновационного потенциала. Это обусловлено сохраняющейся невосстановленностью инноваций со стороны экономики, низким уровнем финансирования отечественной науки, высоким уровнем налоговой нагрузки конечных переделов в перерабатывающих отраслях и целым рядом других причин.

Следовательно, для изменения существующих тенденций необходим революционный прорыв, наступающий после кризисного периода (см. п. 2.1), путем реализации «прорывных» инновационных проектов. Прогнозными расчетами установлено, что только гармоничное сочетание развития ресурсодобывающего комплекса с увеличением потенциала и объемов добавленной стоимости перерабатывающих и обрабатывающих отраслей на основе новых технологий способно обеспечить качественно благоприятный рост отечественной экономики, устойчивый к внешним возмущениям и неблагоприятной конъюнктуре на мировых рынках. Кроме того, не только рост, но и удержание достигнутых объемов добычи ресурсов в нарастающих по сложности горно-геологических условиях невозможны без масштабного освоения отечественных инновационных решений и новых технологий.

Перераспределение приращения добавленной стоимости в пользу перерабатывающего и обрабатывающего комплексов промышленности означает качественное изменение экономического роста на основе инноваций и новых технологий, с переходом от масштабного экспорта первичных ресурсов и энергоносителей к регулируемому экспорту переработанных ресурсов, наукоемкой продукции и продукции обрабатывающих отраслей. Своевременный переход к ресурсно-инновационной стратегии вместо инерционной ресурсно-экспортной стратегии способен предотвратить значительный спад темпов экономического развития России. Такой спад возможен прежде всего из-за сокращения разведанных и рентабельно осваиваемых традиционными технологиями запасов углеводородного сырья и уменьшения экспорта нефти и газа.

Согласно оптимистическим прогнозам, в ближайшие годы будет намечаться тенденция к увеличению использования в России отпущенных ей природных ресурсов для собственного развития посредством создания отечественной технической базы по выпуску химической и нефтехимической продукции. Также будет осуществляться развитие импортозамещающих производств, главным образом за счет

более глубокой переработки сырья и использования наукоемких и ресурсосберегающих экологически чистых технологий.

В частности, согласно прогнозу Минпромторга России, в Центральном, Южном и Сибирском федеральных округах предполагается сохранение специализации и развития действующих производств на основе использования прогрессивных ресурсосберегающих технологий.

6.4. Возможные пути обеспечения энерго- и ресурсосбережения в нефтегазохимическом комплексе

Под *энергосбережением* в промышленности понимается система научно-технических и организационных мер, обеспечивающих получение продукции по конкретной технологии при существенно меньших затратах энергии.

Энергосбережение – это специфическая сфера деятельности, в которой как нигде более приветствуются разноплановые знания, универсализм, способность самостоятельно ставить и решать достаточно сложные и нетривиальные задачи, понимать как технические, так и экономические аспекты производственной деятельности.

Для химической технологии характерны следующие основные принципы энергосбережения:

- оптимизация тепловой схемы химико-технологических систем (ХТС) с наиболее полной утилизацией энергоресурсов;
- совершенствование химической схемы процесса;
- применение высокоактивных катализаторов;
- упрощение системы разделения продуктов реакций;
- энерготехнологическое комбинирование процессов.

Наибольшей эффективности можно достичь в случае одновременного использования большинства названных начал энергосбережения при создании ХТС.

Ко второй группе энергосберегающих мероприятий относятся:

- уменьшение тепловых потерь за счет эффективной теплоизоляции и уменьшения излучающей поверхности аппаратуры;
- снижение потерь на сопротивление в электрохимических производствах;
- использование вторичных энергетических ресурсов.

Эффективность энергосбережения можно экономически подтвердить тем, что затраты на внедрение энергосберегающих технологий в 2–3 раза ниже расходов на эквивалентную добычу топлива.

По оценкам специалистов, на реализацию энергосберегающих программ российским предприятиям химической и нефтехимической

промышленности необходимо выделить 25–35% от их годовых затрат на энергоресурсы, что реально снизит энергозатраты на 30%. Причем окупятся энергосберегающие программы достаточно быстро, примерно за год. Если учесть, что средний срок окупаемости крупных инвестиций составляет 5–6 лет, то энергосберегающие технологии представляют большой интерес для инвесторов.

Согласно исследованиям, проведенным в Северо-Западном филиале АО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике», инвестиции в энергоэффективность в промышленности могут привести к сокращению конечного потребления энергии в России приблизительно на 5%. Обрабатывающая промышленность является крупнейшим конечным потребителем в России; на ее долю приходится около 25% всего конечного потребления энергии и 15% потребления первичной энергии. Потенциал повышения энергоэффективности в российской обрабатывающей промышленности оценивается в 41,5 млн тнэ/год.

В настоящее время для решения вышеуказанных проблем созданы соответствующие стратегии и законы. Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р была утверждена разработанная Минэнерго России «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года», которая должна обеспечивать решение стратегических общегосударственных задач перспективного развития экономики и энергетики.

Также существуют различные редакции проекта энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 г., центральной идеей которой стал переход от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию, опирающемуся на полное использование отечественного ресурсного и инновационного потенциала за счет формирования длинных технологических цепочек с их насыщением инновационными технологиями.

Постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 321 была утверждена государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики», целью которой является надежное обеспечение страны топливно-энергетическими ресурсами, повышение эффективности их использования и снижение антропогенного воздействия топливно-энергетического комплекса на окружающую среду. Задачами Программы являются:

- развитие энергосбережения и повышение энергоэффективности;
- обеспечение потребности внутреннего рынка в надежном, качественном и экономически обоснованном снабжении электроэнергией и теплом;

- развитие нефтегазовой и угольной отраслей топливно-энергетического комплекса для эффективного обеспечения углеводородным и угольным сырьем потребностей внутреннего рынка и выполнения обязательств по зарубежным контрактам;

- содействие инновационному развитию топливно-энергетического комплекса.

Кроме того, Президентом РФ был подписан Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который регулирует отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, установив правовые, экономические и организационные основы стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Инновационная политика в России должна быть ориентирована на разработку и внедрение современных энергосберегающих технологий по следующим основным направлениям:

- изменение структуры производства с заменой энергоемких видов химической продукции менее энергоемкими;

- укрупнение единичной мощности агрегатов и технологических линий;

- интенсификация и оптимизация параметров и режимов производственных процессов;

- создание принципиально новых химических технологий и энергосберегающих аппаратов.

Для оценки зависимости потребления энергии от масштабов производства примечателен факт, что в период кризиса 2008–2010 гг., когда резко снизились объемы производства, энергопотребление снизилось в значительно меньшей степени.

На современном этапе развития химической промышленности (в мировых масштабах), кроме энергосбережения, особое значение приобретает ресурсосберегающий аспект. Это обусловлено целым рядом объективных обстоятельств, и прежде всего усилившегося негативного антропогенного воздействия на окружающую среду. Достигнутые масштабы извлечения из недр природного сырья и его переработки, расширение и увеличение использования компонентов биосферы (вода, воздух и др.) при сохранении относительно высокой доли традиционных технологий приводят к резким изменениям среды обитания. Это может привести к необратимым последствиям и создать реальную угрозу существованию человечества.

На производственных стадиях при получении химической продукции на современном этапе развития в первую очередь необходимо приступить к реализации следующих путей повышения эффективности ресурсопотребления:

- комплексное использование сырья;
- утилизация и квалифицированная переработка отходов и отбросов производства;
- широкое внедрение прогрессивных, главным образом безотходных, технологий;
- создание материалов с заранее заданными свойствами, наиболее полно отвечающих требованиям потребителей.

Решение проблемы рационального материалопотребления связано с переходом от проведения отдельных мероприятий к созданию системы безотходных производств, охватывающей все стороны воспроизводственного процесса и движения материальных ресурсов (от добычи исходного сырья до утилизации отходов). Вместе с тем переход к системе безотходных производств означает качественно новую организацию промышленного производства, его техники и технологии. Она будет выражаться в постепенном создании предприятий нового типа – комплексных комбинатов, объединяющих производства разнообразных отраслей на базе полного использования сырьевых ресурсов, отходов и отбросов производства (газов, тепла, шлаков, пылевидных веществ и др.).

Химическая технология позволяет организовать массовое использование многообразных отходов и отбросов, получаемых при производстве и потреблении различной продукции практически во всех отраслях и сферах экономики. Ресурсосбережению способствует применение химических средств интенсификации производственных процессов, например реагентов повышения отдачи нефтяных пластов, кислородного дутья в черной металлургии, мембранной технологии при хранении сельскохозяйственных продуктов и др.

Ресурсосбережение в отраслях химической промышленности обеспечивается в результате:

- внедрения новых прогрессивных технологических процессов и крупных агрегатов, позволяющих уменьшить или исключить расход некоторых видов сырья, топлива и энергии;
- совершенствования действующих технологических процессов и улучшения организации производства с целью сокращения отходов и потерь, например при интенсификации технологических процессов за

счет применения эффективных катализаторов, внедрения регенерационных мощностей, замены периодических процессов непрерывными;

- снижения норм расхода сырья и материалов, особенно дефицитных, в производстве химических волокон, химико-фотографической продукции и др.;

- экономии материальных ресурсов вследствие повышения качества исходного сырья и материалов, потребления вторичных ресурсов, в том числе горючих энергетических, частично или полностью применяемых как топливо (за исключением водорода в производстве каустической соды и хлора);

- расширения использования технологических отходов с достижением по возможности их полного потребления, таких как абгазная соляная кислота, хлороводород, отходы производства полиамидных, полиэфирных и полиакрилонитрильных волокон, пенополиуретана и др.;

- уменьшения потерь сырья, полуфабрикатов и готовой продукции при хранении, складских операциях и транспортировке.

На современном этапе развития экономики России одним из главных факторов конкурентоспособности производства становится уровень его ресурсоемкости. Данное обстоятельство вызывает необходимость разработки методических подходов и инструктивных материалов по оценке ресурсосберегающей эффективности реализации прогрессивных наукоемких технологий в различных отраслях и производствах.

Понятие ресурсосберегающей эффективности прогрессивной наукоемкой технологии гораздо уже понятия эффективности технологии вообще, так как не учитывает такие факторы, как производительность оборудования, уровень организации производства, квалификация рабочей силы, качество выпускаемой продукции и т. п.

Вместе с тем и такая характеристика, как расчетная величина экономии ресурсов за счет замены существующей технологии на новую, еще не является в полном смысле ресурсосберегающей эффективностью, так как не предусматривает сопоставления результатов с затратами на их достижение. Например, внедрение наукоемкой технологии повышения нефтеотдачи путем закачки в пласт поверхностно-активных веществ и биополимеров (взамен традиционной технологии нефтедобычи) дает среднегодовую экономию текущих затрат почти в 2 раза меньшую, чем внедрение технологии термического воздействия на нефтяной пласт паром. При этом ресурсосберегающая эффективность инвестиций на ее реализацию почти в 2,5 раза выше. В этой связи величина экономии того или иного ресурса или их сочетания не

носит такого определяющего характера при оценке технологий, как ресурсосберегающая эффективность инвестиций на их реализацию.

Таким образом, под *ресурсосберегающей эффективностью прогрессивной наукоемкой технологии* понимается ресурсосберегающая эффективность инвестиций, направленных на ее реализацию. Этим параметром можно руководствоваться при составлении прогнозов применения в дальнейшем различных технологий для химического комплекса.

В качестве сберегаемых ресурсов при производстве продукции в результате замены существующей технологии на новую могут выступать электроэнергия, топливо (нефтепродукты, газ, уголь и т. д.), сырье, материалы, комплектующие изделия и труд, взятые по отдельности и в разных сочетаниях.

Контрольные вопросы

1. Каким образом происходит корреляция потребляемой энергии с численностью населения Земли?
2. Какова доля различных энергоресурсов в современном топливно-энергетическом балансе?
3. Как менялся мировой топливно-энергетический баланс за последнее столетие?
4. Как изменялись цены на нефть за последние пятьдесят лет и каковы возможные причины этих изменений?
5. Перечислите и охарактеризуйте возобновляемые нетрадиционные источники энергии.
6. От каких факторов зависят текущая ситуация и перспективы топливно-энергетических отраслей в различных странах?
7. Каковы глобальные прогнозы относительно использования различных энергоресурсов в XXI в.?
8. Укажите основные преимущества и недостатки водородной энергетики.
9. Перечислите и охарактеризуйте основные меры, которые необходимо принимать для обеспечения сырьем мирового сообщества.
10. Каковы глобальные прогнозы долгосрочного инновационно-технологического развития?
11. Каково значение оптимальной доли энергозатрат в структуре себестоимости продукции?
12. Перечислите принципы энергосбережения, характерные для химической технологии.
13. По каким основным направлениям должны в настоящее время разрабатываться и внедряться энергосберегающие технологии в России?
14. Какие пути повышения эффективности ресурсопотребления необходимо реализовать на современном этапе развития?
15. Что понимается под ресурсосберегающей эффективностью прогрессивной наукоемкой технологии?

ГЛАВА 7

СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ОБЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Нефтегазохимический комплекс (НГХК), как совокупность разнообразных видов экономической деятельности, объединяет целенаправленная деятельность по обеспечению рационального использования природных ресурсов углеводородов. НГХК представляет собой совокупность нефтедобывающих и газодобывающих предприятий, транспортных предприятий, предприятий по переработке нефти и газа, нефтехимических предприятий, а также предприятий нефтепродуктообеспечения и газоснабжения, предприятий сервиса [15].

Нефтегазохимический комплекс, как отрасль промышленного производства, подвержен влиянию экономических циклов, взаимосвязан с фазами роста или спада экономики, периодически повторяющимися политическими и финансовыми кризисами. Кроме того, цикличность является внутренне присущей нефтегазохимической отрасли. Цикличность обусловлена (кроме влияния общеэкономических и социально-политических факторов) тем, что современные мощности по производству нефтегазохимической продукции, как правило, крупные, вводятся дискретно, в момент ввода дают значительный прирост, в то время как спрос изменяется относительно плавно.

При анализе динамики циклов развития мирового нефтегазохимического комплекса можно выявить следующие циклы подъёмов и спадов начиная с конца 80-х гг. XX в. [48]:

- 1988–1989 гг. – подъём;
- 1990–1993 гг. – спад;
- 1994–1996 гг. – подъём;
- 1997–2002 гг. – спад;
- 2003–2005 гг. – оживление и подъём;
- 2006–2008 гг. – медленный подъём;
- 2009 г. – спад из-за кризиса.

Эксперты американской ассоциации исследователей рынка химической продукции «CMAI» («Chemical Market Associates, Inc.») считали, что в период до 2010 г. мировой нефтехимический комплекс ожидает подъём, однако их ожидания были нарушены разразившимся

осенью 2008 г. мировым кризисом. В последние годы подъемы и спады в развитии мирового нефтехимического комплекса были не такими ступенчатыми (резкими) и продолжительными, как раньше, поэтому эксперты надеялись, что спад конца 2008–2009 гг. надолго не затянется, и с 2010 г. был зафиксирован новый подъем нефтегазохимического комплекса.

Нефтегазохимический комплекс включает в себя нефтегазовый комплекс (НГК) и химический комплекс (ХК).

Нефтегазовый комплекс – обобщенное название группы отраслей по добыче, транспортировке и переработке нефти и газа и распределению продуктов их переработки. В Российской Федерации НГК является основным элементом экономики. Предприятия нефтегазового комплекса дают более четверти объема производства промышленной продукции России, более трети всех налоговых платежей и других доходов в бюджетную систему, более половины поступлений страны от экспорта. Капитальные вложения в нефтегазовый комплекс за счет всех источников финансирования составляют около одной трети от общего объема инвестиций. В России нефтегазовый комплекс курирует Министерство энергетики Российской Федерации в соответствии с «Энергетической стратегией России...».

Химический комплекс (ХК) является базовым сегментом российской промышленности. В «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года» ХК объединяет в себе химический и нефтехимический комплекс России, в который входят химическая и нефтехимическая промышленность.

Химическая промышленность, находящаяся в ведении Минпромторга России, включает производство основных химических веществ (минеральных удобрений, кальцинированной соды, каустической соды, прочих химических веществ), лакокрасочных материалов, химических волокон и нитей, изделий из пластмасс, прочих химических веществ, включая спецхимию.

В нефтехимическую промышленность, находящуюся в ведении Минэнерго России, входят производства крупнотоннажных пластмасс, каучуков, продукции основного органического синтеза. При этом указанная нефтехимическая продукция служит сырьем для некоторых продуктов химического комплекса: изделий из пластмасс, а также продукции тонкого органического синтеза.

В настоящее время термины «нефтехимия» и «нефтехимическая промышленность» применяются по отношению к химическим произ-

водствам, основанным прежде всего на продуктах переработки нефти и природного газа. Кроме того, в последние годы в связи с развитием технологий и освоением производства традиционных продуктов на новой сырьевой платформе – углеводородном газе – все чаще используются термины «газохимия» и «нефтегазохимия».

Согласно общемировым тенденциям сближения (интеграции) предприятий нефте- и газопереработки с нефтегазохимическими предприятиями в настоящее время в ведомственные интересы Минэнерго России входят также газо- и нефтехимия.

В зарубежной практике ориентация на спрос изменила общий подход к понятию структуры производства. Прежняя классификация по химическому составу и свойствам продукции перестала соответствовать чрезвычайно расширившемуся ассортименту и сложным межотраслевым связям. От подотраслевой структуры производства (органические и неорганические материалы, пластмассы, химические и синтетические волокна, минеральные удобрения и т. д.) компании перешли к таким критериям классификации бизнеса, как степень переработки сырья, близость к конечному потребителю, доля прибыли в отгрузках, выделяя три интегрированных отраслевых блока¹:

- производство сырьевых органических и неорганических продуктов первого передела и крупнотоннажных пластмасс стандартных марок (Basic Chemicals and Plastics);

- продукция высоких переделов (Performance Products), в состав которой входят конструкционные и функциональные полимеры, композиты, многокомпонентные смеси и полупродукты специального производственного назначения (области применения: от потребительских товаров длительного пользования до транспортного и тяжелого машиностроения, электроники, электротехники, новых типов вооружений и связи);

- новые материалы, находящие спрос в производстве технически сложных средств производства и предметов потребления (Market-driven Products).

Представленные блоки расположены в последовательности повышения добавленной стоимости. Каждому из них свойственны определенные темпы развития, механизм стимулирования продаж, характер технологической модернизации, инновационная активность. Именно на этих отраслевых переделах сосредоточены основные интересы зарубежных венчурных отделений западных компаний.

¹ The Chemical Journal. 2011. № 8. С. 20–29.

7.1. Перспективы развития нефтегазового комплекса России в свете общемировых тенденций

Основное количество добытых в мире нефти и газа применяется в виде различных топлив для получения электро- и тепловой энергии (см. пп. 6.1.1). Топливные ресурсы сегодня играют главную роль в обеспечении энергией всех отраслей экономики.

При уровне инвестиций в основной капитал менее 15% от капитальных вложений в 2015 г. в стране на НГК приходится 43% доходов федерального бюджета и 63% экспорта. Высоки доходы в бюджет страны от акцизов на нефть и нефтепродукты. В последние десятилетия в России сырьевые отрасли (особенно нефтегазовый комплекс) выдвинулись на ведущие позиции в экономике страны. Доля нефтегазового сектора в ВВП около 22% [34].

Коэффициент извлечения нефти, характеризующий технологический уровень нефтедобывающей отрасли, за последние 30 лет в России снизился с 42 до 34% (в США вырос с 32 до 39%).

В нефтегазовой отрасли на российском рынке сервисных услуг доминируют зарубежные компании, обладающие значительными финансовыми ресурсами. Это приводит к вытеснению российских научных и проектных организаций с данного рынка. Наиболее существенное отставание от зарубежных технологий проявляется в нефтеперерабатывающей отрасли.

Россия, имеющая передовые позиции в мире по нефтедобыче, а также (по состоянию на 2015 г.) располагающая крупнейшими в мире (после США и Китая) масштабами нефтепереработки, по технологическому оснащению предприятий и структуре производства продукции занимает лишь 67-е место.

В Энергетической стратегии России на период до 2030 г. (далее – ЭС-2030) одной из самых острых проблем назван высокий износ основных фондов – в нефтепереработке он достиг 70–80%. Большинство НПЗ были построены до середины 60-х гг. XX в. За последние 20 лет не построено ни одного крупного нефтеперерабатывающего завода. Медленными темпами ведется реконструкция действующих нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). В структуре выпускаемой продукции по-прежнему доминирует продукция низкого передела. Мазут занимает 28% в корзине продуктов нефтепереработки, 70% его экспортируется в Европу.

По-прежнему торговля сырой нефтью продолжает оставаться доминантой в общем объеме экспорта России. Даже в разрабатываемой

«Генеральной схеме развития нефтяной отрасли на период до 2020 года» эта тенденция, к сожалению, продолжает просматриваться. Объемы экспорта сырой нефти к 2020 г. останутся примерно на нынешнем уровне.

В России в 2010 г. действовали 27 нефтеперерабатывающих заводов общей мощностью по первичной переработке нефти 271 млн т/год, порядка 250 мини-НПЗ, совокупный объем переработки которых составлял 12 млн т/год (данные Минэнерго России), и 6 специализированных заводов по выпуску специальных масел, смазок и др.

Одним из важных показателей, характеризующих уровень технического состояния предприятия, является получивший признание в мировой практике коэффициент сложности НПЗ (Nelson Complexity Index, NCI), разработанный У. Л. Нельсоном (Nelson). Согласно данным ПАО «Газпром нефть» (2015), средний индекс Нельсона по РФ – 5,1. По другим данным, по состоянию на 2015 г. индекс комплексности Нельсона в среднем по России равен 5,62, для сравнения в США он составляет 10,17, ЕС – 8,38, СНГ – 4,93, АТР – 5,11, среднемировой – 6,55¹.

В настоящее время нефть и газ по-прежнему остаются важнейшими источниками дохода в валюте для всей страны. По данным Минэнерго России, из добытой в Российской Федерации в 2015 г. 534 млн т нефти на экспорт было отправлено около 241,8 млн т нефти (45%). При этом наблюдался прирост в 9,3% (20,5 млн т) по отношению к 2014 г. По данным этого же министерства, в 2014 г. на экспорт было поставлено более 150 млн т российских нефтепродуктов, из них мазут занимал 46%, дизтопливо – 31%, среди остальных большую часть составлял прямогонный бензин (около 20%).

Эксперты Минэнерго России среди основных факторов увеличения экспорта нефти выделяют:

- рост нефтедобычи при одновременном высвобождении дополнительных объемов сырья за счет снижения первичной переработки на российских НПЗ;

- снижение с 01.01.2015 г. ставок вывозных таможенных пошлин, применяемых в отношении нефти.

В проекте «Генеральной схемы развития нефтяной отрасли на период до 2020 года», к сожалению, усиливается сырьевой вектор

¹ Организационно-экономические и технологические проблемы модернизации экономики России: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: РИО ПГСХА, 2016. С. 31–37.

развития ТЭК страны: к 2020 г. из 500 млн т/год добываемой нефти на переработку внутри страны предусматривается 230 млн т/год, на экспорт – 270 млн т/год (т. е. планируется экспортировать нефтяного сырья на 14,8% больше, чем перерабатывать внутри страны). Однако переработка и потребление нефтепродуктов внутри страны на порядок эффективнее торговли сырой нефтью.

Согласно данным Минэнерго России (2016), глубина переработки нефти на предприятиях России в 2015 г. составила 74,2% (в 2010 г. она равнялась 71,1%). В Европе глубина переработки нефти составляет 85%, а в США – 96%. Такое различие показателей объясняется низкой долей мощностей углубляющих процессов на отечественных заводах, которая не превышает 15% от мощностей по переработке нефти. Вследствие этого на наших нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) ограничена возможность выработки моторных топлив, в то время как производство топочного мазута составляет около 28% от объема перерабатываемой нефти; это в несколько раз выше аналогичных показателей в мире – менее 5% в США, до 15% в Западной Европе.

Здесь следует также отметить некоторые положительные тенденции, например глубина переработки нефти в РСФСР в 1980 г. составляла лишь 56,7%, а в России в 1998 г. – 64%. Кроме того, с 2001 г. отечественные НПЗ выпускают только неэтилированные бензины (без добавления тетраэтилсвинца), а с 2008 г. окончательно запрещены присадки на основе соединений железа и марганца.

Увеличение глубины переработки нефти за период 1980–2010-х гг. обусловлено вводом в эксплуатацию новых крупных установок каталитического крекинга, освоением термических процессов, а также использованием ресурсов мазута (широкая фракция с н.к.¹ 350°C) для получения продукции повышенного платёжеспособного спроса (вакуумный газойль, битум, технологическое топливо, утяжеленное судовое топливо) без применения деструктивных процессов нефтепереработки.

В последние годы состояние нефтепереработки в мире радикально изменилось. Кувейт, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты, Китай, Индия активно строят и вводят в эксплуатацию все

¹ Принятые в нефтепереработке сокращения: н.к. – начало кипения; к.к. – конец кипения.

новые мощности по нефтепереработке и нефтехимии. Общей мировой тенденцией, наиболее ярко выраженной в промышленно развитых странах, стало ужесточение экологического законодательства, направленное на снижение вредных выбросов при сжигании топлив, а также на постоянный рост требований к качеству нефтепродуктов.

Не выдерживая конкуренции, стали закрываться нефтеперерабатывающие заводы. С начала 2009 г. полностью или частично закрыты 16 НПЗ. По прогнозам, в ближайшее время может быть остановлена работа около 100 НПЗ, прежде всего в Европе. В результате экспорт нефти в Европу будет существенно сокращен.

С точки зрения бизнеса рядом крупных российских вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК) началось приобретение НПЗ в Европе, а вопросы строительства новых НПЗ в России остались не решенными, что негативно сказывается на таких факторах, как дополнительные рабочие места, прибыль, налоги. В то же время высокие финансовые вложения нефтяных компаний в модернизацию старых морально и физически устаревших производств не делают их конкурентоспособными с передовыми западными фирмами из-за высоких затрат, связанных с производственным процессом, энергетическим обеспечением, системами управления производством и др., что в конечном итоге негативно сказывается на ценообразовании конечной продукции.

Следует принять во внимание необходимость изменения стратегии развития нефтяного комплекса России в сторону увеличения экспорта продукции нефтепереработки и нефтехимии вместо экспорта сырой нефти, учитывая, что США в ближайшие годы переходит на переработку тяжелых канадских нефтей, в результате чего будет сокращаться использование ими ближневосточных нефтей. По мнению многих аналитиков, это приведет к существенному снижению мировых цен на нефтяное сырье после 2014–2015 гг., после чего резко уменьшится экспортный потенциал нефти России.

Таким образом, выходом из сложившейся ситуации является ускорение модернизации нефтеперерабатывающей (в направлении строительства установок, углубляющих переработку) и нефтехимической промышленности России для удовлетворения потребностей внутреннего рынка и экспорта высококачественных, обладающих добавленной стоимостью нефтепродуктов вместо экспорта сырой нефти.

По мере повышения степени переработки поступления от продаж в расчете на 1 т нефти возрастают – со 100 долл. США для сырой

нефти до 150 долл. для нефтепродуктов, продаваемых оптом, до 385 долл. для нефтепродуктов, продаваемых через АЗС, и на 800–900 долл. – для нефтехимикатов (см. также п. 13.3).

К числу наиболее важных задач модернизации нефтепереработки и нефтехимии России относятся:

- переход от торговли сырой нефтью к торговле нефтепродуктами и продуктами нефтехимии;
- ввод в действие технического регламента на новые стандарты нефтепродуктов;
- выравнивание пошлин на светлые и темные нефтепродукты;
- коренная модернизация действующих предприятий с увеличением глубины и комплексности переработки сырья;
- строительство новых экспортно-ориентированных нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексов;
- строительство системы для транспортировки углеводородного сырья и продуктов переработки;
- развитие отечественных технологий переработки газового и нефтяного сырья.

Вместе с тем в связи с вводом в действие технического регламента на новые стандарты нефтепродуктов перед российскими нефтяными компаниями стоят масштабные задачи по модернизации НПЗ, связанной с реконструкцией действующих и строительством новых установок, улучшающих качество топлив, в том числе гидроочистки топлив, каталитического крекинга, изомеризации, алкилирования, риформинга.

Дальнейшее эффективное развитие НГК России предполагает не наращивание экспорта сырья любой ценой, а превращение денежных доходов в капитал за счет эффективных инвестиций в развитие сырьевой базы, систем глубокой переработки и транспорта углеводородного сырья на внутренний и международный рынки, формирование глобальной, контролируемой Российским государством и бизнесом системы нефтегазообеспечения, диверсифицированной системы экспортных поставок.

Согласно [34], в прогнозном периоде можно ожидать снижения объемов первичной переработки нефтяного сырья при удовлетворении растущего спроса на моторные топлива за счет повышения технологического уровня нефтеперерабатывающих производств (глубины переработки, выхода светлых нефтепродуктов и среднего индекса Нельсона) и вывода из эксплуатации некондиционных мощностей НПЗ (с низкой степенью переработки).

7.2. Современное состояние и направления развития общемировой химической промышленности

Согласно исследованию, проведенному в Институте мировой экономики и международных отношений РАН (ИМЭМО РАН), за последние 50 лет химическая промышленность развитых стран прошла две волны радикальной модернизации. Первая – с середины 60-х по 70-е гг. XX в. – связана с переходом отрасли на нефтяное сырье, ростом спроса и темпов производства крупнотоннажных синтетических материалов (пластмасс, синтетических каучуков, химических и синтетических волокон), повлекшим за собой значительное изменение технологии и продуктовой структуры отрасли. Самообеспеченность национальной экономики сырьем в эти годы считалась одним из факторов национального экономического суверенитета, и производство было ориентировано преимущественно на внутренний рынок.

Начало второй волны модернизации относится к середине 90-х гг. XX в., когда начал формироваться постиндустриальный промышленный уклад. Глобализация и новые условия международного разделения труда повлекли за собой изменение географической карты отрасли и появление новых форм международного сотрудничества. Динамичное обновление продукции и технологии, превращение инновационной активности в один из основных факторов конкурентоспособности, необходимость формировать и удерживать устойчивую рыночную нишу побуждали крупные химические компании к постоянной реструктуризации производства. Востребованность химии как междисциплинарной и межотраслевой науки, диверсифицированный спрос на продукцию химической промышленности (табл. 10) раздвинули рамки отрасли и обусловили формирование сложного химического кластера (Chemistry Division), связанного с основными тенденциями современного развития:

- ресурсосбережение;
- использование возобновляемых видов сырья и источников энергии;
- снижение техногенной нагрузки на окружающую среду;
- решение проблем продовольственного обеспечения и здравоохранения.

Если рассматривать финансовые показатели, то динамично растущий и чрезвычайно диверсифицированный спрос варьируется в пределах – от 18% (от общей стоимости потребляемой химической продукции) для машиностроения до 8% для текстильной промышленности, от 30% для медицины и фармацевтики до 10% для строительства и 8% для сельского хозяйства.

Таблица 10

**Структура потребления продукции химической промышленности,
включая фармацевтические препараты**

Отрасли экономики	Доля потребления продукции химической промышленности, %
Потребительские товары	30,3
Сфера услуг	16,4
Сельское хозяйство	6,4
Текстильная промышленность	6,3
Строительство	5,4
Автомобилестроение	5,3
Электротехника и электроника	4,6
Целлюлозно-бумажное производство	4,5
Металлургия	2,5
Машиностроение	1,9
<i>Прочее</i>	16,4

Источник: The vision for 2025 and beyond. A European Technology Platform for Sustainable Chemistry. P. 5.

В практически универсальной структуре производства развитых стран на долю химической промышленности приходится от 12 (США) до 16% (Германия) стоимости продукции обрабатывающей промышленности. По капиталовложениям на одного сотрудника отрасль занимает первое место среди отраслей обрабатывающей промышленности, а по добавленной стоимости уступает лишь фармацевтике (табл. 11). Если принять во внимание, что по международной классификации фармацевтика включена в химическую промышленность, то очевидно преимущество последней по каждому из этих параметров.

Таблица 11

**Капиталовложения и добавленная стоимость на одного занятого
для стран ЕС (27 европейских государств)**

Отрасли экономики	Капиталовложения на одного сотрудника, %	Добавленная стоимость, %
Автомобилестроение	80,0	70,4
Металлопродукция	34,7	45,3
Обрабатывающая промышленность	48,1	54,3
Пищевая промышленность	51,8	44,3
Фармацевтическая промышленность	97,3	126,2
Химическая промышленность*	100,0	100,0
Электроника и электротехника	30,6	52,8

* Химическая промышленность – 100%.

Источник: The European chemical industry in a worldwide perspective 2010. Facts and Figures. P. 10, 37.

Сочетание приведенных выше качественных характеристик отрасли, показывающих востребованность продукции, степень ее диверсификации и технологического разнообразия, инвестиционную привлекательность и эффективность, свидетельствует о том, что в постиндустриальной экономике динамичная модернизация химической промышленности представляет собой не просто важный, а один из системных факторов развития производства.

Другой особенностью отрасли, все более явно проявлявшейся по мере перехода экономически развитых стран к постиндустриальному укладу, следует назвать формирование глобальной отраслевой сети взаимодополняющих и взаимозависимых центров, конкурентоспособность которых основана на определенных преимуществах – ресурсных, инновационных, инфраструктурных, логистических.

Развитые страны, прежде всего США, страны ЕС и Япония, находящиеся в значительной зависимости от импорта углеводородов, при высокой стоимости рабочей силы, экологических ограничений, сосредоточили в своих руках высокотехнологичные и наукоемкие производства, переноса ресурсоемкие крупнотоннажные мощности (т. е. производство продукции низких переделов) в центры добычи сырья, растущего спроса и сравнительно дешевой рабочей силы.

Государства Ближнего Востока (Катар, Иран, Саудовская Аравия) и Азиатско-Тихоокеанского региона (Китай, Индия, Южная Корея), эффективно используя новую конъюнктуру и сотрудничая с иностранными партнерами, смогли укрепить национальную промышленную базу, создать необходимую инфраструктуру и, получая значительные прибыли от быстро растущего химического производства, превратились из аутсайдеров в самостоятельных игроков на отраслевом рынке. Так, по абсолютному объему капитальных затрат доля КНР и других стран региона в общем объеме инвестиций выросла за период 2001–2011 гг. с 41 до 67%.

Такие тенденции повлекли за собой четко выраженную региональную специализацию и изменение географической карты мирового химического производства (табл. 12).

Широкий и диверсифицированный спрос, развитая система международного разделения труда способствовали активному и сравнительно стабильному развитию мировой химической промышленности. Среднегодовые темпы прироста в 2000–2007 гг. колебались в пределах 3,4–3,6%.

Таблица 12

Мировое производство химической продукции, млрд долл. США

Страна	1998 г.	Доля, %	2009 г.*	Доля, %
Всего в мире	1573,2	100,0	3698,8	100,0
США	416,7	26,5	689,3	18,6
Япония	193,8	12,3	298,0	8,1
Германия	124,9	7,9	263,2	7,1
Китай	80,9	5,1	549,4	14,9
Франция	79,1	5,0	158,9	4,3
Великобритания	70,3	4,5	123,4	3,3
Италия	63,9	4,1	122,9	3,3
Бразилия	46,5	3,0	126,7	3,4
Южная Корея	39,3	2,5	133,2	3,6
Индия	30,7	2,0	98,2	2,7
Россия	23,8	1,5	77,6	2,1
<i>Прочие страны</i>	403,3	26,0	1058,0	29,0

* По данным Минпромторга России, объем выпуска продукции мирового химического комплекса в 2012 г. составил свыше 4,0 трлн долл. США.

И с т о ч н и к: American Chemistry Council, Global Business of Chemistry Statistics, March 2011.

В последние годы усилился еще один путь реструктуризации химического бизнеса – появление инвесторов из других отраслей. Нефтяные и нефтеперерабатывающие компании всегда проявляли интерес к нефтехимии, а неустойчивая ценовая ситуация на рынке углеводородов последних лет подогрела этот интерес и побудила их компенсировать потери прибыли, продвигаясь в технологически сопряженные нефтехимические переделы. На долю нефтяных компаний приходится свыше 50% мирового выпуска низших олефинов и продукции на основе ароматических углеводородов, примерно треть производства стирола. Причем это выгодно обеим сторонам. Диверсификация производства обеспечивает нефтяникам устойчивость в период колебаний на рынке нефти и повышение прибыли на 20–25% за счет углубленной переработки сырья и увеличения добавленной стоимости. Для химических компаний с высоким инновационным потенциалом продажа активов служит дополнением и продолжением политики создания зарубежных отделений и внутриотраслевой реструктуризации.

Следует упомянуть также о мерах экологической безопасности в контексте химической промышленности. Во многих странах государство вводит меры, законодательно устанавливая определенные нор-

мативы, регламенты, технические условия. Самым ярким примером служит введенный странами ЕС с 01.06.2007 г. Регламент REACH¹ (программа REACH).

В общем виде его суть формулируется следующим образом: производить и ввозить в страны ЕС химические вещества можно лишь в том случае, если доказано, что социально-экономические выгоды от их применения превышают связанный с ними риск. Принимая этот закон, объединенное правительство ЕС ставило перед собой следующие цели – обеспечить баланс между защитой окружающей среды и здоровья людей, с одной стороны, и развитием европейской химической промышленности – с другой, т. е. интегрированно решить экономические, экологические и социальные задачи.

Регламент REACH признан одним из самых сложных за всю историю ЕС, а его исполнение – самым затратным. Только расходы на дополнительные исследования и бюрократические процедуры оформления и регистрации веществ приведут к увеличению стоимости продукции на 10–15%. Несмотря на бурные обсуждения и возражения, закон вступил в силу и желающие сохранять и развивать экономические связи со странами ЕС должны ему подчиняться. По сути, Регламент REACH охраняет интересы будущих поколений, и его экономические результаты можно будет оценить только в долгосрочной перспективе.

Таким образом, характерными чертами эволюции химического бизнеса в последнее десятилетие служили расширение поля деятельности и формирование новых центров прибыли, сочетание инновационных и ресурсных возможностей партнеров по бизнесу, постоянная реструктуризация и сосредоточение интересов на высокотехнологичных областях деятельности.

По данным Минпромторга России (2013), химический комплекс характеризуется высокими темпами роста, опережающими развитие мировой экономики. В прогнозном периоде до 2030 г. среднегодовой темп роста химического комплекса составит более 4,4%, при этом среднегодовой темп роста мирового валового внутреннего продукта (ВВП) за указанный период ожидается на уровне 3%. Таким образом, к 2030 г. суммарный рост химического комплекса на 28% превысит рост мирового ВВП.

¹ REACH – Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals = Регистрация, оценка, разрешение и ограничение химических веществ.

В период до 2030 г. перед химией будет стоять задача – обеспечить спрос на новые высокотехнологичные материалы со стороны машиностроения, судостроения, медицины, вертолетостроения, авиастроения, энергетического машиностроения. Для разработок в космическом, авиационном и ядерно-энергетическом секторах также потребуются новые химические, композитные, герметизирующие, звукоизолирующие материалы, электрические провода и кабели, покрытия. Будут повышаться и без того высокие требования к техническим свойствам продуктов, такие как прочность, устойчивость к воздействию излучения, коррозии, к высокотемпературному и низкотемпературному воздействию, а также к старению материалов. Пока остается открытым вопрос, сможет ли российская химическая промышленность, и в частности оборонная химия, соответствовать общемировым требованиям.

7.2.1. Современное состояние и результаты прогнозных расчетов вариантов развития отечественного химического комплекса

По данным Минпромторга России, доля химического комплекса в структуре промышленного производства РФ в 2014 г. составила около 6%, уступая добыче полезных ископаемых (23%), машиностроению (10%), производству и распределению электроэнергии, газа и воды (10%), металлургическому производству (10%) и производству пищевой продукции (11%).

Производство продукции российского химического комплекса представлено в основном продукцией низких производственных переделов. Наибольшую долю в объеме произведенной продукции химического комплекса России составляют низкотехнологичные сегменты, в частности сегменты минеральных удобрений, базовых полимеров, соды и прочих основных химических веществ.

Согласно материалам Минпромторга России, для российского химического комплекса характерно снижение рентабельности при росте глубины переработки сырья, что связано с олигополизацией сырьевых рынков, высокой долей импорта как базовых, так и специальных компонентов, неадаптированной системой таможенных пошлин, высокими тарифами на электроэнергию и транспортировку продукции.

Несмотря на наличие фундаментальных факторов для обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке, таких как доступ к сырью, крупный внутренний рынок, задел для развития отраслевой

науки и кадрового состава, потенциал развития химического комплекса России не может быть реализован в полной мере ввиду наличия системных барьеров для развития отрасли.

В период 1980–2000-х гг. резко возросла экспортная ориентация энергосырьевого сектора – доля поставляемой на экспорт продукции увеличилась с 14% в 1980 г. до 79% в 2000 г. (в основном за счет расширения экспорта минерального топлива и металлов и роста мировых цен на них). Из количества добытого в России сырья за рубеж вывозят: нефти и нефтепродуктов – 57%; газа – 40%; меди – 90%; никеля – 90%; алюминия – 99%.

Наиболее высокая экспортная составляющая в производстве минеральных удобрений: по причине низкой покупательной способности отечественного сельского хозяйства на мировой рынок поступает от 70 до 90% объема их производства.

На текущий момент Россия активно вовлечена в международную торговлю и, как следствие, зависима от спроса на российскую продукцию низких производственных переделов (в первую очередь минеральных удобрений) на зарубежных рынках, а также от импорта продукции высоких переделов и основных компонентов для ее производства в РФ (базовые и высокотехнологичные полимеры, полимерные смолы, изделия из пластмасс, шины и резинотехнические изделия, лакокрасочные материалы и прочие химические вещества, включая спецхимию).

Этим объясняется позитивная динамика экспорта и импорта продукции химического комплекса. За период 2000–2013 гг. темпы роста экспорта продукции химического комплекса составили около 13%, импорта – 17% ежегодно. С 2009 г. импорт химической и нефтехимической продукции, по данным Росстата, практически сравнялся с экспортом, хотя в предыдущие периоды наблюдался устойчивый профицит торгового баланса. В 2010 г. импорт химической продукции впервые превысил экспорт и составил 1 трлн р., достиг масштабов, влияющих на экономическую безопасность страны.

Таким образом, на фоне растущего спроса на внутреннем рынке наиболее перспективные открывающиеся ниши заполняются импортными товарами. Российские химические и нефтехимические предприятия «останавливаются» на ранних этапах технологического передела, продавая и экспортируя химические полуфабрикаты. Причем, как следует из изложенного выше, не всегда при этом теряют значительную добавленную стоимость.

Президент Российского союза химиков В. П. Иванов отмечает, что в 2013 г. импорт нефтегазохимической продукции достиг масштабов, влияющих на экономическую безопасность страны, особенно если она идет в оборонные отрасли. Сегодня отставание в производстве и потреблении изделий комплекса может привести к неконкурентоспособности создаваемых на их основе продуктов в оборонном комплексе, легкой промышленности, сельском хозяйстве, строительстве. Без развития нефтехимии невозможен дальнейший рост электроники, фармацевтики, косметики. Импорт постоянно растет и составляет более 12 млн долл. США. Большинство этих продуктов можно производить на отечественных предприятиях. Сальдо внешнеторгового оборота химической и нефтехимической продукции отрицательное и составляет более 3,5 млрд долл¹.

С другой стороны, на внешних рынках вводятся ограничения против российских химических и нефтехимических компаний. Введение импортных пошлин на товары из России членами ВТО², демпинг на российском рынке со стороны КНР и другие проявления недобросовестной конкуренции могут серьезно усложнить доступ к рынку для российских производителей.

Для минимизации риска необходимо максимально эффективное использование инструментов ВТО, а именно мониторинг ситуации на международных рынках и выполнения странами-участницами обязательств в отношении российских производителей, поддержка российских производителей в организации разбирательств по условиям торговли, информирование и консультирование предприятий по вопросам правовых основ ВТО.

Низкая конкурентоспособность российских производителей по ряду позиций вызвана тем, что установленное на некоторых предприятиях технологическое оборудование по своим техническим характеристикам существенно уступает зарубежным аналогам. Сроки эксплуатации значительной его части составляют 20 лет и более.

Химическая отрасль характеризуется высокой ресурсо- и энергоемкостью. Это также подтверждает необходимость технического перевооружения с внедрением передовых технологий и современного оборудования.

¹ Федеральный справочник. Топливо-энергетический комплекс России. М.: ЦСП. Т. 14. С. 257–262.

² ВТО – Всемирная торговая организация – международная организация, созданная в 1995 г. с целью либерализации международной торговли и регулирования торгово-политических отношений государств-членов (Россия вступила в ВТО 22.08.2012 г.).

При реализации на внутреннем рынке продуктов более глубокой переработки нефти (пластмасс, каучуков, химических волокон) их стоимость в 1,5 раза превышает стоимость экспорта эквивалентного объема нефти. Углубление переработки нефти, в свою очередь, позволит решить такие важные задачи, как увеличение загрузки мощностей и повышение занятости населения.

Поэтому на современном этапе необходимо создать условия, стимулирующие потребление углеводородного сырья на внутреннем рынке, что будет способствовать развитию химической и нефтехимической промышленности. Повышение степени использования углеводородного сырья в химической и нефтехимической промышленности способствует увеличению объемов ВВП страны и занятости населения за счет увеличения числа технологических переделов на территории России.

Выше было указано, что результатом проведения мероприятий по прогнозированию, а затем и перспективному планированию является разработка стратегии развития конкретной отрасли или сферы экономики. В 2014 г. в соответствии с поручением Правительства РФ от 03.07.2013 г. № ДМ-П9-47пр (п. 2) была разработана «Стратегия развития химического и нефтехимического комплекса России на период до 2030 года» и утверждена приказом Минпромторга России и Минэнерго России от 08.04.2014 г. № 651/172. В настоящем учебнике будут рассмотрены некоторые аспекты из откорректированной редакции Стратегии, согласно приказу Министерства промышленности и торговли РФ и Министерства энергетики РФ от 14.01.2016 г. № 33/11.

При выборе вариантов развития химического комплекса рассмотрены три сценария развития: *консервативный, реалистичный и инновационный*.

1. Консервативный сценарий: самостоятельное развитие химического комплекса без реализации мер государственной поддержки. Производство химической продукции растет согласно подтвержденным проектам по строительству мощностей, потребление – согласно консервативному прогнозу роста потребляющих отраслей (прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. от 05.11.2013 г.).

2. Инновационный сценарий: реализация мер государственной поддержки с привлечением необходимого объема финансирования в химическом и нефтехимическом комплексе.

В инновационном сценарии ожидается активное развитие производства продукции химического комплекса, а также сокращение нетто-импорта в натуральном выражении. Увеличение выпуска в инновационном сценарии будет обеспечено в основном за счет развития нефтехимических производств и роста сегмента продукции глубокой переработки.

Следует отметить, что в первом варианте стратегии (2014) прогнозные расчеты развития отрасли проведены по двум сценариям: *консервативному* и *инновационному*. Появление реалистичного сценария (в 2016 г.) было обусловлено ухудшением макроэкономической ситуации на фоне нестабильной внешнеполитической обстановки. Эти обстоятельства привели к изменению положения отрасли: большая часть игроков как химического, так и нефтехимического комплекса пересмотрели свои инвестиционные программы либо находятся в процессе их пересмотра, что выражается в переносе сроков реализации инвестиционных проектов на один-два года.

3. Реалистичный сценарий: развитие химического комплекса согласно заявленным крупнейшими производителями продукции планам развития (с учетом перспективных проектов). Производство растет согласно подтвержденным проектам по строительству мощностей (с коррекциями на вероятность успешной реализации заявленных проектов), рост потребления соответствует инновационному сценарию.

Здесь следует также отметить, что в «Стратегии развития химической и нефтехимической промышленности Российской Федерации на период до 2015 года» в редакции 2008 г. в качестве вариантов развития химического комплекса были рассмотрены два сценария развития: *инерционный (пассивный)* и *инновационный (активный)*. В первом варианте указанной выше Стратегии (2006) прогнозные расчеты развития отрасли были проведены по трем сценариям: *пессимистическому*, *реалистическому* и *оптимистическому*. За базовый вариант развития тогда был принят реалистический сценарий, увязанный по ресурсам и срокам исполнения.

Далее в учебнике будут более подробно рассмотрены некоторые моменты (отраженные в «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...»), связанные с возможными путями развития конкретных химических производств.

Следует отметить, что в нынешних условиях темпы восстановления производства всецело зависят от политики двух основных корпоративных структур российского ХК – производителей минеральных

удобрений (40% стоимости продукции химического комплекса страны) и нефтехимиков (32%).

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», странами с развитой и развивающейся экономикой эффективно используются меры государственной поддержки развития химической и нефтехимической промышленности.

Основными инструментами государственной поддержки развития химической и нефтехимической промышленности являются:

- механизмы кластерного развития;
- государственно-частное партнерство при строительстве и модернизации инфраструктуры;
- финансовое и налоговое стимулирование инвестиций в химическую и нефтехимическую промышленность.

В «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...» указано, что для повышения инвестиционной активности в регионе развивающиеся страны создают особые экономические зоны (ОЭЗ) на базе химических и нефтехимических кластеров, привлекая туда резидентов из числа международных компаний. В развитых странах экономическая поддержка направлена на повышение экологичности и энергетической эффективности производств.

Согласно приказу Минэнерго России от 01.03.2012 г. № 79, был утвержден основополагающий документ государственной политики в нефтегазохимической отрасли – «План развития газо- и нефтехимии России на период до 2030 года». В данном документе с учетом мировых тенденций и особенностей отечественной нефтегазохимии предполагается решить насущные проблемы отрасли за счет создания промышленных кластеров.

План развития нефтегазохимии предусматривает создание крупных производственных конгломератов – *нефтегазохимических кластеров*. В основе каждого из кластеров лежат пиролизные¹ мощности, вокруг которых создаются производства пластиков и каучуков, а также производства по изготовлению конечных изделий из продуктов нефтегазохимии. Исходя из расположения существующих мощностей, источников сырья и планов компаний по развитию действующих и строительству новых производств, в плане выделены 6 кластеров по географическому признаку: Западно-Сибирский, Поволжский, Кас-

¹ *Пиролиз* (от греч. *pyr* – огонь, жар и *lysis* – разложение, распад) – процесс термического пиролиза углеводородного сырья; является основным способом получения низших олефинов (этилена и пропилена).

пийский, Восточно-Сибирский, Северо-Западный и Дальневосточный. Для каждого из шести нефтехимических кластеров сформирован перечень ключевых инвестиционных проектов для развития нефтегазохимии, включающий крупные пиролизные проекты и проекты по переработке продуктов пиролиза в нефтегазохимическую продукцию («концевые проекты»).

В качестве примера мировых хабов в «Плане развития газо- и нефтехимии...» приводятся нефтегазохимические кластеры на о. Джуронг (Сингапур), а также в городах Эль-Джубаил и Янбу (Саудовская Аравия), Ассалуйэ (Иран) и Джамнагар (Индия).

В документе представлен план развития нефтегазохимии по ключевым инвестиционным проектам, актуализированная программа размещения мощностей по шести кластерам, включающая трубопроводные проекты и проекты по модернизации действующих и строительству новых мощностей по первичной (пиролиз) и дальнейшей переработке сырья, а также мероприятия по научному и образовательному сопровождению развития отрасли.

План развития нефтегазохимии также включает анализ текущего и перспективного спроса на нефтегазохимическую продукцию на российском и зарубежном рынках, уточненные прогнозные показатели сырьевой базы российской нефтегазохимии. В документе содержатся предложения по механизмам формирования и функционирования отраслевых кластеров в рамках эффективного взаимодействия бизнеса и государства.

Генеральный директор Научно-исследовательского и проектного института нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности ОАО «ВНИПНефть», член-корреспондент РАЕН В. М. Капустин отмечает, что в настоящее время эти современные нефтегазохимические кластеры создаются в центрах размещения нефтегазовых производств при активной поддержке государства с участием нефтегазовых компаний. Они включают полную цепочку создания продукции от переработки нефтегазохимического сырья до производства конечных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Как ожидает Минэнерго, реализация плана позволит максимально эффективно использовать легкое углеводородное сырье в России. План предусматривает рост внутреннего спроса на нефтегазохимическую продукцию, повышение конкурентоспособности отечественной нефтегазохимической продукции глубоких переделов и эффективное использование увеличивающихся объемов сырья.

Следует отметить, что Минэнерго России по мере надобности вносит корректировки в «План развития газо- и нефтехимии...». Например, в декабре 2016 г. были откорректированы данные по ключевым инвестиционным проектам на период до 2030 г. (реалистичский вариант) из приложения 2 (Паспорт «Плана развития газо- и нефтехимии...») и аналитические показатели).

В настоящее время ключевой проблемой отрасли является дефицит мощностей для производства мономеров при наличии большой ресурсной базы и в условиях растущего спроса на конечную продукцию нефтегазохимии.

Благодаря вводу новых современных мощностей, предусмотренному плану, Россия более чем в два раза увеличит свою долю в мировом производстве мономеров (с 2,4 до 5,6%). В абсолютных цифрах суммарное производство этилена в России может возрасти с 2,4 млн т в 2010 г. до 14,2 млн т к 2030 г.

Ожидается также существенный рост экспорта полимеров из России, который к 2030 г. будет составлять ориентировочно 5 млн т /год.

По оценкам Минэнерго России, уточненный социально-экономический эффект от реализации всех заявленных в плане инвестиционных проектов суммарно по кластерам с учетом развития смежных отраслей значителен. Ежегодный вклад в ВВП может составить 895 млрд р., среднегодовой объем налоговых поступлений – более 69 млрд р. (без учета налоговых каникул), будет создано 80 тыс. новых рабочих мест.

Таким образом, в Плане рассмотрены перспективы развития нефтехимии в России. Показано, что основными задачами, стоящими перед нефтехимической промышленностью, являются максимально эффективное использование легкого углеводородного сырья, развитие существующих и создание новых нефтехимических региональных кластеров, развитие инфраструктуры для обеспечения сырьем нефтехимических предприятий. Также показано, что для инновационного развития нефтепереработки и нефтехимии в России необходимо ускорить дальнейшее развитие и внедрение в промышленность конкурентоспособных отечественных технологий и катализаторов.

7.3. Общемировые тенденции и прогнозы в области тематики НИОКР и перспектив их внедрения

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», химический комплекс является одной из наиболее наукоемких отраслей, для него характерны высокие удельные затра-

ты на инновации. Удельные инвестиции в инновации в химическом комплексе превышают аналогичные показатели в машиностроении, автомобилестроении и сфере телекоммуникационных услуг, уступая только фармацевтическому производству.

Международный венчурный бизнес, развивавшийся в производственном секторе, со временем распространился и в сферу научных исследований, трансформировался в венчурно-инновационное сотрудничество.

Практически все крупные западные компании создали зарубежные научно-исследовательские центры и подразделения, расходуя за пределами собственных стран значительную долю средств, выделяемых на НИОКР. Тематика исследований преимущественно носит прикладной характер и непосредственно связана с планами развития и модернизации национального производства. Эффективность создания таких внешних научно-исследовательских центров, так же как в реальном секторе, объясняется тем, что они позволяют сокращать предельные издержки на исследования прежде всего за счет привлечения хорошо подготовленных, но сравнительно низкооплачиваемых национальных исследовательских кадров. Так, средняя зарплата научного сотрудника в развивающихся странах в 10 раз ниже, чем в Западной Европе, где оплата интеллектуального труда – основная статья расходов на исследования.

Однако следует отметить, что по мере укрепления позиций на внутренних и мировых рынках развивающиеся регионы начинают стремиться к технологическому суверенитету: готовят научные и технические кадры, успешно формируют собственные инновационные системы в дополнение, а порой и в противовес заимствованиям. Лидер в этом процессе – Китай, где расходы на НИОКР растут на 20% ежегодно.

Следует также отметить, что, закладывая основы нового технологического уклада, химические компании развитых стран также существенно увеличили расходы на НИОКР. В течение 2008 г. их совокупные затраты на научные исследования и разработки, несмотря на кризис, возросли на 3,5% и составили 28,3 млрд долл. США. Наиболее востребованные проекты, оказавшиеся в числе первых и быстро развивающихся, связаны с так называемыми «белыми технологиями» – переработкой альтернативных видов сырья и энергоресурсов, манипуляциями на молекулярном и субмолекулярном уровне, экологически безопасными продуктами и производствами.

В частности, в Финляндии ни одна самая совершенная технология не покупается в чистом виде, все технологии обязательно включают элементы собственного инжиниринга.

Таким образом, если исходная технология покупается финнами как совместная с другими фирмами, то последующая, улучшенная, внедряется без участия иностранных компаний. Именно поэтому в Финляндии неуклонно возникают новые высокооплачиваемые рабочие места.

Например, финская компания «Neste Jacobs» участвовала в пуске и освоении нового процесса алкилирования изобутана бутенами на твердых катализаторах. Здесь финны выступают в качестве разработчиков оборудования и организаторов пуска и отработки режимов на демонстрационной установке на НПЗ в г. Порвoo по технологии CBI и катализаторе американской корпорации «Albemarle». В случае успеха данного процесса и реализации его в других странах компания «Neste Jacobs» будет соавтором лицензии на данный процесс. Для сравнения, в России в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН (ИНХС РАН) разработана собственная технология процесса твердокислотного алкилирования, которая нуждается в доведении до стадии промышленной реализации. Внедрение любого вновь разработанного процесса в многотоннажную практику лишь на базе результатов, полученных в лаборатории (или на основе моделирования), очень рискованно. Этот риск может быть снижен путем пилотирования на мини-заводе или в полупромышленном производстве с аутентичными потоками веществ.

В нефтяном секторе частные американские инжиниринговые компании имеют крупные пилотные установки. Они продают не изделия, а технологии и пакеты документов, которыми пользуются сотни нефтеперерабатывающих компаний по всему миру. Институт нефти во Франции с эффективной инфраструктурой, созданной за счет государства, контролирует около 20% мирового рынка технологий нефтепереработки.

В ведущих научных институтах Российской академии наук, отраслевых научно-исследовательских институтах и высших учебных заведениях страны создаются новые инновационные технологии глубокой переработки углеводородов. Однако они не доводятся до промышленного уровня в связи с отсутствием крупномасштабных испытаний на опытных (пилотных) установках мощностью в десятки тысяч тонн перерабатываемого сырья в год каждая.

Положительным примером развития отечественной науки является созданный на базе ООО «Газпром нефтехим Салават» научно-технический центр (ООО «НТЦ Салаватнефтеоргсинтез»), в состав которого входят пять специализированных лабораторий: нефтепереработка, нефтехимия, полимеры, проблемные исследования и сточные воды. Площадка опытного производства включает пилотные и лабораторные установки, а также установки для производства малотоннажной продукции. В центре работают более 100 сотрудников – доктор наук, 17 кандидатов наук, магистры Французской школы нефти. Стратегическая цель НТЦ – создание высокоэффективной компании со сбалансированной научно-производственной деятельностью. В задачи компании входят: совершенствование существующих производств, разработка инновационных технологий, малотоннажное производство высокотехнологичных продуктов. ООО «НТЦ Салаватнефтеоргсинтез» активно сотрудничает с ведущими научными институтами РАН и с Французским институтом нефти (IFP)¹.

Проблема повышения эффективности использования научных разработок – важный аспект государственной политики всех индустриальных стран. Для России она имеет особое значение, поскольку наиболее слабым звеном является взаимодействие фундаментальной науки со сферой прикладных исследований и разработок, а также внедрение их результатов в производство.

Другой общемировой тенденцией является стремление руководства крупных химических западных компаний продвигаться и утвердиться в наиболее высокотехнологичных и прибыльных отраслевых блоках. Это находит отражение и в структуре расходов на научные исследования и в производственных показателях компаний. На разработку новой продукции и технологии ее производства такие гиганты, как «BASF» (Германия), «Dow Chemical Co.» (США), «DuPont» (США), определяющие характер и динамику модернизации отрасли в целом, направляют до 80% расходов на НИОКР, прибыль от реализации продукции, разработанной в течение предшествующих пяти лет, дает этим компаниям 35–40% общей годовой прибыли. На долю продукции двух высокотехнологичных блоков в этих компаниях приходится 60–65% стоимости отгрузок и более 60% инвестиций.

Финансирование научных исследований и продвижение их результатов на рынок практически полностью берут на себя крупные

¹ IFP – Institut Français du Pétrole = Французский институт нефти.

компании. Исходя из специализации и корпоративных планов, они самостоятельно определяют тематику, объем и структуру НИОКР. Государством спонсируются фундаментальные исследования только в тех случаях, когда речь идет о национально значимых проектах. Например, из бюджета ЕС выделяются средства на разработку альтернативных источников энергии (высокотемпературная конверсия природного газа, конверсия метана, газификация угля, энергосистемы на основе водорода).

Особенность инновационного подхода западных компаний – отдаленный горизонт планирования (20–25 лет). Ориентиром служат форсайт-прогнозы (см. главу 1), составляемые национальными и международными профессиональными объединениями, такими как Американский союз химиков, Европейский совет химиков, Ассоциация химической промышленности Японии, Международный совет химических ассоциаций и т. д. К разработке прогнозов привлекаются специалисты различных областей знаний и всех сфер экономики, которые оценивают наиболее вероятные общие тенденции научно-технического прогресса, эволюции спроса и актуальность отраслевых научных исследований.

Задача государства – создавать основополагающие политические, социальные и юридические правила, образующие базис для производства, стимулировать, поощрять и направлять усилия бизнеса. Для этой цели разработаны и постоянно совершенствуются инструменты рыночного регулирования, в первую очередь гибкая и диверсифицированная система налоговых льгот, и формы частно-государственного партнерства. В отдельных случаях государство прибегает к прямому финансированию или целевому законодательству. Законодательное вмешательство в рыночной экономике применяется весьма ограниченно, как исключительная мера, когда необходимо побудить бизнес к малоодоходному инвестированию или сформировать определенный общественный спрос и целенаправленный научный поиск.

Налоговое стимулирование модернизации и инновационного обновления в химической промышленности проводилось и проводится в рамках общей государственной инновационной политики. Цель налоговой политики по отношению к исследовательским компаниям – снизить предельные издержки на НИОКР и таким образом активизировать их деятельность. Не только в экономически развитых странах, но и в странах, сравнительно недавно приступивших к формированию собственной инновационной системы, налоговое законодательство

предусматривает возможность частичного или даже полного вычета из задолженности фирмы по налогам затрат на НИОКР или определенного процента дополнительно затраченных на эти цели средств (например, по сравнению с предыдущим годом). Кроме того, предоставляются разного рода льготы в виде снижения налоговой ставки, изменения сроков исполнения налоговых обязательств, включения затрат на НИОКР в себестоимость продукции, списания научного оборудования по ускоренным нормам амортизации. Важная форма поддержки – предоставление на льготных условиях земли для организации инновационных подразделений и создания научной инфраструктуры.

Принцип западной системы стимулирования инновационного спроса – предоставление налоговых льгот предприятиям и инвесторам за осуществленную инновацию. В этом случае наиболее распространенный налоговый механизм – исключение затрат на инновацию из облагаемого налогом дохода. Для регулирования и направления инновационных процессов скидка может колебаться в пределах 50–90% налога на прибыль.

При решении задач особой значимости и ресурсоемкости на первый план выходит частно-государственное партнерство, реализуемое через целевые национальные программы. Например, в химической промышленности эта форма поддержки бизнеса широко применяется для коммерческого продвижения нанотехнологий. Национальные программы сотрудничества и софинансирования нанотехнологических исследовательских и производственных проектов уже приняли более 30 стран, в числе которых, помимо США, Японии, ЕС, Израиля, Китая, такие страны, как Нидерланды, Бразилия, Аргентина, Южная Корея, Сингапур и др. Общий бюджет национальных программ этих стран оценивался в 2008 г. в 7–9 млрд долл. США (в зависимости от используемой отраслевой классификации). Большинство из них, в том числе Германия, Япония, Китай, предвидя чрезвычайно высокие расходы, ставят перед собой задачу добиться прочных позиций в определенной сфере – фармацевтике, агрохимии, композитных наноматериалах.

Исключением являются США, где ведутся работы практически по всем направлениям. С 2005 г. там началась реализация второго этапа специальной программы «Национальная нанотехнологическая инициатива» (The National Nanotechnology Initiative). В особых случаях США прибегают к системе госзаказов и прямому государственному финансированию. В 2008 г. из оборонного бюджета страны по решению Конгресса Пентагону было выделено 110 млн долл. на НИОКР, ре-

зультаты которых могут иметь военное применение. Тематика исследований включает разработку компьютерных устройств на основе нанотрубок и интегрированных наносенсоров для применения в космосе (17 млн долл.), наноструктурированного титана (8 млн долл.), работы по броневой защите на основе углеродных нанотрубок (1,6 млн долл.), созданию прозрачной наноструктурированной брони (900 млн долл.). Одновременно Конгресс разрешил министерству обороны предоставить гранты «Институту по нанонаукам и нанотехнологиям» (2,4 млн долл.) и «Альянсу по наноздоровью» (4 млн долл.).

В нашей стране непрерывное развитие и совершенствование производства могут быть достигнуты только при проведении активной инвестиционной политики. При этом должны решаться такие важные проблемы научно-технического развития, как:

- внедрение ресурсосберегающих технологий;
- улучшение использования основных производственных фондов;
- улучшение использования отходов производства;
- повышение качества продукции.

Следует иметь в виду, что НТП в различных отраслях промышленности имеет свои особенности, обусловленные характером используемого сырья, спецификой применяемых технологических процессов и используемого оборудования и т. п. Все это обуславливает наличие в каждой отрасли своих характерных проблем, которые и определяют направление НТП.

К числу важнейших направлений НТП в химической и нефтехимической промышленности следует отнести: облагораживание исходного сырья, совершенствование технологических процессов, совершенствование оборудования, автоматизацию и механизацию процессов, повышение качества продукции и выпуск новых видов продукции, совершенствование форм организации производства.

К сожалению, в настоящее время наблюдается падение уровня научно-технических разработок и их внедрения в промышленность. По данным РАН, вклад России в мировую науку составил только 2%, при этом вклад ученых США в мировую науку в 2009 г. оценивается в 35%. При этом наши институты имеют целый ряд конкурентоспособных проектов технологических процессов для переработки нефти и нефтехимии, не уступающих лучшим мировым аналогам.

Материально-техническая база большинства научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций разрушена, произошла значительная утечка научных кадров.

По заявлению генерального директора Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков В. А. Рябова, за последние 20 лет страну покинуло около 2 млн высококвалифицированных специалистов технического профиля, из них 200–350 тыс. – с учеными степенями. Сейчас только в США на постоянной основе трудится 1 млн ученых и специалистов из России, которые действительно создают более четверти американских технологических новинок.

В результате деятельность научных и проектно-конструкторских организаций не оказывает существенного влияния на состояние нефтегазохимического комплекса. Продолжает увеличиваться разрыв между объективными потребностями промышленных предприятий в современных научно-исследовательских разработках и предложениями научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций.

По данным Минпромторга России, объем выполненных НИОКР в 2002 г. составил 2,5 млрд р., в 2006 г. – 5,3 млрд р., что явно недостаточно для решения проблемы конкурентоспособности химической продукции. Именно это направление требует прежде всего государственной поддержки, в том числе прямого финансирования из федерального бюджета.

Кроме того, существует связь между уменьшением доли передовых технологических укладов в России и тем фактом, что по доле затрат на НИОКР от объема продукции на данный момент лидируют традиционные (нефтегазовое, целлюлозно-бумажное и т. д.), а не высокотехнологичные направления.

Для анализа эффективности и конкурентоспособности России в международном научно-техническом пространстве часто используются понятия «наукоемкость» и «наукоотдача». По таким составляющим этих показателей, как «численность исследователей на 10 тыс. человек населения» (69 человек), «абсолютная численность исследователей» (500 тыс. человек), Россия традиционно занимает одно из первых мест (по данным Комитета Совета Федерации по науке, культуре, образованию, здравоохранению и экологии). При расчете конкурентоспособности по методике Всемирного экономического форума Россия оказывается уже на 59-м месте, уступая Индии, с которой она находится на одном уровне (3,1%) по доле высокотехнологичного экспорта в общем товарном экспорте. Часто с горечью можно слышать утверждение, что мы находимся на первом месте в мире по числу научных открытий, не доведенных до технологии и не востребованных бизнесом в собственной стране. Именно поэтому нужны госу-

дарственные приоритеты развития инновационной инфраструктуры в экономической и социальной сферах.

Проблема повышения эффективности работы научно-технических организаций может разрешиться путем совершенствования механизма выработки и реализации единой научно-технической политики в стране, отраслях и сферах экономики и регионах на основе социально-экономического и научно-технического прогнозирования.

В современных условиях экономически развитые страны всемерно способствуют приоритетному развитию научных исследований в области нанотехнологий, их активному внедрению в производство. Дальнейшее промедление продолжит инерционное сползание России на обочину научно-технического прогресса. Для развития инновационно-инвестиционной деятельности необходимо использовать разные формы государственной поддержки, среди которых – как целевое финансирование проектов развития, так и предоставление налоговых преференций.

В нашей стране базовым нормативным документом, определяющим цель и основные задачи научно-технологического развития РФ, является «Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации» (Стратегия НТР), утвержденная Указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642. Со стороны Правительства Российской Федерации за подготовку документа отвечало Министерство образования и науки РФ, аналитическое обеспечение осуществлялось Центром стратегических разработок. Стратегией НТР устанавливаются принципы, приоритеты, основные направления и меры реализации государственной политики в этой области, а также ожидаемые результаты реализации настоящей Стратегии НТР, обеспечивающие устойчивое, динамичное и сбалансированное развитие Российской Федерации на долгосрочный период.

Согласно Стратегии НТР, научно-технологическое развитие РФ может осуществляться по двум альтернативным сценариям:

а) импорт технологий и фрагментарное развитие исследований и разработок, интегрированных в мировую науку, но занимающих в ней подчиненные позиции;

б) лидерство по избранным направлениям научно-технологического развития в рамках как традиционных, так и новых рынков технологий, продуктов и услуг и построение целостной национальной инновационной системы.

Устойчивое развитие России, обеспечение структурных изменений экономики страны и вхождение в группу стран с высокими тем-

пами прироста валового внутреннего продукта возможны только в рамках второго сценария, который является целевым.

Распоряжением Правительства РФ от 08.12.2011 г. № 2227-р утверждена «Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года», в которой предусмотрена задача восстановления лидирующих позиций российской фундаментальной науки на мировой арене, а также формирование сбалансированного и устойчиво развивающегося сектора исследований и разработок. Постановлением Правительства Российской Федерации от 21.05.2013 г. № 426 утверждена федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Кроме того, в 2012, 2014 и в 2017 гг., согласно соответствующим постановлениям Правительства РФ, были утверждены различные редакции государственной программы «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 гг., целью которой является формирование конкурентоспособного и эффективно функционирующего сектора фундаментальных, поисковых, прикладных исследований и экспериментальных разработок.

Стратегической целью государственной политики в области развития науки и технологий является обеспечение к 2020 г. мирового уровня исследований и разработок и глобальной конкурентоспособности РФ на направлениях, определенных национальными научно-технологическими приоритетами.

Одним из основных документов системы стратегического планирования развития Российской Федерации является разработанный Минобрнауки России «Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (утвержден Правительством РФ 03.01.2014 г. № ДМ-П8-5). Долгосрочный прогноз сформирован в разрезе приоритетных направлений развития науки, технологий и техники по следующим направлениям:

- информационно-коммуникационные технологии;
- науки о жизни (биотехнологии; медицина и здравоохранение);
- новые материалы и нанотехнологии;
- рациональное природопользование;
- транспортные и космические системы;
- энергоэффективность и энергосбережение.

Для каждого приоритетного направления с учетом мировых тенденций выделены вызовы и окна возможностей, определяющие перспективы его развития (включая угрозы для России в каждом направ-

лении); проведено ранжирование по степени их влияния на Россию. Далее определены инновационные рынки и перспективные группы продуктов и услуг, появление которых возможно в средне- и долгосрочной перспективе под действием мировых тенденций. Затем определены детальные приоритеты перспективных научных исследований, необходимые для создания выделенных продуктов и услуг и ответов на вызовы и окна возможностей.

Впервые прогноз научно-технологического развития РФ на долгосрочную перспективу был одобрен на заседании Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям в январе 2009 г. Для составления последующих вариантов прогноза Минобрнауки России выпустило приказ от 13.11.2015 г. № 1335 «Об утверждении методических рекомендаций по подготовке исходных данных для разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации, а также по формированию его сценарных условий». Приказ выпущен в соответствии с п. 2 постановления Правительства РФ от 13.07.2015 г. № 699 «Об утверждении Правил разработки и корректировки прогноза научно-технологического развития Российской Федерации».

По информации официального сайта Министерства энергетики РФ, «Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года», утвержденный министром энергетики РФ 14.10.2016 г. [34], станет частью следующего общестранового прогноза научно-технологического развития Российской Федерации.

Согласно предложению Минпромторга России, государство, разделяя риски с бизнесом, должно сосредоточиться на развитии таких направлений, которые обладают наукоемкими технологиями, дают возможность сохранить накопленный научно-технический и производственный потенциал. К ним относятся такие направления, как малотоннажная химия, химические волокна и нити, катализаторы и каталитические технологии, химические реактивы и особо чистые вещества, ингибиторы, модификаторы и другие, без которых невозможно функционирование как самого химического комплекса, так и всех других секторов экономики.

В настоящее время необходимо наладить проведение научно-исследовательских и экспериментальных работ по приоритетным направлениям: по созданию новых перспективных материалов для микро- и нанoeлектроники, полимеров и компонентов на их основе,

материалов со специальными свойствами, сверхтвердых материалов, биосовместимых материалов, катализаторов, мембран, а также осуществить проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по новым технологическим решениям в отраслях экономики на базе химических технологий будущих поколений, лазерных, мембранных технологий, технологий обеспечения безопасности продукции, производств и объектов, технологий реабилитации окружающей среды, модульных технологий производства массовой продукции, гибких технологических систем.

Реализация «прорывных» инновационных проектов в химической и нефтехимической промышленности позволит снять структурные ограничения развития отрасли и выйти на производство совершенно новых (по потребительским свойствам) видов продукции. Существует мнение (в частности, так считает ответственный секретарь российского химического журнала доктор химических наук Г. В. Эрлих), что в настоящее время химия миновала стадию «науки» и перешла в НТП. Возможно, прошло время революционных идей, мы наблюдаем логичную, последовательную эволюцию в рамках сложившихся концепций. Это развитие во многих направлениях весьма успешно – мы расширяем и углубляем наши знания о природе, но все это происходит на одном уровне. «Прорывы» в химии выглядят таковыми только в глазах журналистов.

Однако при оптимистическом взгляде на эту проблему следует заметить, что собственно отличие революции от эволюции в том, что революция непредсказуема; она может произойти неожиданно. По мнению Г. В. Эрлиха, возрождение российской науки после 20 лет развала пойдет не по пути внедрения западного научного менеджмента, а путем воскрешения особого «русского стиля» организации науки и научного общения.

Эффективность новых химических технологий существенно зависит от НТП в ряде смежных с ней областей. В России еще есть потенциал для фундаментальных исследований, с чем, в отличие от комплексных инженерных проектов, не вполне эффективно справляются западные исследовательские компании и научные центры. На данный момент в России есть все необходимые условия – финансовые, технологические и иные – для эффективного включения в процесс разработки и внедрения новых химических технологий.

В настоящее время в России предстоит применить новый механизм взаимодействия различно ориентированных структур (органи-

заций) – так называемые *технологические платформы*. Аналогичный механизм уже функционирует в ряде европейских государств. Эта структура с функциями планирования и координации. Такая схема взаимодействия позволит решить целый ряд проблем, существующих сегодня в России как при разработке новых технологий и доведения их до промышленной реализации, так и при попытке привязать некоторые зарубежные технологии к российскому производству, а именно: не желание бизнеса финансировать научные исследования, а, наоборот, стремление получить готовые разработки, дублирование НИОКР в нефтяных компаниях и дублирование проектов, финансируемых за счет госсредств, отсутствие инжиниринга, невозможность расставить приоритеты при распределении финансирования и многое другое.

В рамках такого механизма взаимодействия, как технологические платформы, группой организаций: научно-исследовательских институтов, вузов при поддержке Минэнерго, Российской академии наук и ряда крупных нефтегазовых и машиностроительных компаний, была создана и предложена Министерству экономического развития РФ (Минэкономразвития России) Технологическая платформа «Глубокая переработка углеводородных ресурсов», основной целью которой является обеспечение перехода от сырьевой экономики к инновационному развитию нефтеперерабатывающей, газо- и нефтехимической промышленности. В рамках платформы уже сформулированы в приоритетном порядке те направления, которые необходимо развивать в первую очередь и которые уже имеют определенный технологический задел:

- процессы получения водорода и синтез-газа;
- технологии создания и производства каталитических систем нового поколения;
- процессы переработки тяжелых нефтей и нефтяных фракций;
- производство эффективных и экологически чистых моторных топлив и сырья для нефтехимии;
- процессы переработки попутного и природного газов;
- процессы производства полимерных материалов, в том числе для экстремальных условий и производства композиционных материалов;
- энергосберегающие технологии;
- технологии нефтехимического основного и тонкого органического синтеза.

Функционирование платформы предполагается в рамках механизма частно-государственного партнерства, через создание управ-

ляющих компаний укрупненного типа – на несколько проектов или локальных – для одного небольшого.

Для науки, академического и вузовского сообщества такой механизм интересен, например, возможностью привлечения бизнеса к партнерству с научными организациями, демонстрационного эффекта для бизнеса, расширения спроса бизнеса на НИОКР и расширения компетенций, представляющих интерес для бизнеса (обучение, инжиниринг, дизайн и долгосрочное прогнозирование).

В заключение следует отметить, что если говорить о науке об исследовании законов и способов прогнозирования – *прогностике*, то нет сомнений в том, что именно ей принадлежит решающая роль в эффективном управлении ходом современных мировых процессов в различных направлениях. Только наука способна обеспечить прогнозирование последствий управленческих и технологических решений, сформулировать ответы на вызовы времени, предложить способы предсказания и борьбы с рисками различного типа катастроф.

Контрольные вопросы

1. Каковы отличия классификации структуры производства в российской и зарубежной практике (на примере химической промышленности)?

2. Назовите количественные показатели по добыче (включая коэффициент извлечения), переработке (включая глубину переработки) и экспорту углеводородов в Российской Федерации.

3. Какие задачи модернизации нефтепереработки и нефтехимии России относятся на данный момент к наиболее важным?

4. Перечислите основные общемировые тенденции развития химической промышленности.

5. В каких странах и регионах производство химической продукции развивается наиболее динамично?

6. Какова товарная номенклатура экспорта химического комплекса России?

7. В каких странах реализуется российская химическая и нефтехимическая продукция?

8. Какова товарная номенклатура импорта российского химического комплекса?

9. Перечислите страны, являющиеся основными поставщиками химической и нефтехимической продукции на российский рынок.

10. Назовите и охарактеризуйте сценарии развития химического комплекса, рассмотренные в «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса России на период до 2030 года».

11. Перечислите положительные и отрицательные моменты, возникающие при создании крупными западными компаниями внешних научно-исследовательских центров.

12. Какие мероприятия должны в обязательном порядке предшествовать внедрению любого вновь разработанного процесса в многотоннажную практику?

13. Как в мировой практике распределяется влияние на НИОКР со стороны промышленных компаний и государства?

14. Какие направления научно-технического прогресса в химической и нефтехимической промышленности входят в число наиважнейших?

15. Какие нормативные документы в настоящее время регламентируют обеспечение динамичного и целенаправленного развития Российской Федерации в области науки и инноваций?

16. Перечислите химическую продукцию, при производстве которой планируется разработка «прорывных» инновационных проектов.

Раздел III

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

ГЛАВА 8

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В СФЕРЕ ГЕОЛОГИИ, ПОИСКА И РАЗВЕДКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

8.1. Общие перспективы развития геологической отрасли

Геологическая отрасль является базовой составляющей экономики страны, представляющей собой совокупность управленческих структур, производственных и научных организаций всех форм собственности, обеспечивающих потребности государства и общества в сфере геологического изучения территории Российской Федерации, ее континентального шельфа и акваторий внутренних морей, дна Мирового океана, Арктики и Антарктики, воспроизводства минерально-сырьевой базы страны, мониторинга и охраны недр.

В настоящее время для определения основных направлений развития геологической отрасли РФ в условиях интенсификации процессов глобализации, обострения конкуренции на международных рынках минерального сырья и сервисных услуг в области геолого-разведочного производства Министерством природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды России) разработана «Стратегия развития геологической отрасли до 2030 года», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 21.06.2010 г. № 1039-р. Кроме того, постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 322 была утверждена государственная программа Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов», которая также является ключевым документом стратегического планирования геолого-разведочных работ (ГРР).

Таким образом, созданы необходимые условия для реформирования геологической отрасли. Кроме того, вследствие кризиса в конце первого десятилетия XXI в. в нефтяной и газовой промышленности имело место обвальное сокращение финансирования ГРР. Оно проявлялось в уменьшении инвестиционного строительства и вложений в ГРР, которые финансировались преимущественно из прибыли.

В долгосрочной перспективе добыча углеводородов в значительной мере будет определяться состоянием и развитием минерально-сырьевой базы. Современное состояние минерально-сырьевой базы углеводородного сырья характеризуется снижением текущих разведанных запасов нефти и газа и низкими темпами их воспроизводства. Начиная с 1994 г. приросты запасов нефти и газа существенно меньше, чем добыча этих полезных ископаемых. Превышение добычи нефти над приростом ее запасов составило в период 1994–2009 гг. около 1,2 млрд т.

Стратегической целью развития геологической отрасли до 2030 г. является формирование высокоэффективной, инновационно ориентированной системы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы, обеспечивающей решение поставленных задач на современном этапе и в долгосрочном периоде.

Приоритетными направлениями развития геологической отрасли являются:

- совершенствование государственного управления геолого-разведочными работами (оптимизация организационной структуры геологической отрасли, совершенствование программно-целевого планирования);
- повышение инвестиционной привлекательности объектов геологического изучения недр (совершенствование нормативно-правового обеспечения, экономическое стимулирование геолого-разведочных работ);
- совершенствование информационного обеспечения геолого-разведочных работ;
- совершенствование научно-технического обеспечения геолого-разведочных работ;
- инновационное развитие геологической отрасли;
- совершенствование кадрового обеспечения геологической отрасли.

Реализация настоящей Стратегии позволит перевести геологическую отрасль на качественно новый уровень, в результате чего будет достигнуто повышение геологической изученности страны, воспроизводство минерально-сырьевой базы, обеспечение рационального недропользования и снижение ущербов от негативных процессов и явлений. При этом используются следующие целевые показатели:

- увеличение до 70% доли геолого-разведочных работ, выполняемых инновационно активными организациями;
- достижение полной обеспеченности геологических организаций специалистами высшего уровня квалификации;

• обеспечение роста объемов финансирования за счет средств внебюджетных источников вследствие повышения инвестиционной привлекательности геолого-разведочных работ по отношению к достигнутому уровню в 2015 г. на 20%, в 2020 г. – на 40%, в 2030 г. – на 50%;

• обеспечение воспроизводства минерального сырья с учетом текущей и перспективной потребности в разведанных запасах, которое в соответствии с основными документами стратегического планирования социально-экономического развития страны составит соответственно в среднем в год к 2015, 2020 и 2030 гг.:

– по нефти – до 490, до 500 и до 530 млн т;

– по природному газу – до 715 млрд м³, до 780 млрд м³ и до 900 млрд м³;

– по золоту – до 210, до 220 и до 250 т;

– по железной руде – до 180, до 190 и до 200 млн т;

– по меди – до 1100, до 1250 и до 1400 тыс. т;

– по никелю – до 400, до 440 и до 450 тыс. т;

• повышение уровня изученности территории Российской Федерации, ее континентального шельфа и акваторий внутренних морей посредством проведения работ общегеологического и специального назначения составит к 2012 г. до 45%, к 2020-му – до 50% и к 2030-му – до 70%;

• повышение уровня изученности территорий Российской Федерации, подверженных влиянию опасных геологических процессов и явлений, составит к 2015 г. до 55%, к 2020-му – до 60% и к 2030-му – до 80%.

Необходимым условием эффективной реализации настоящей Стратегии является минимизация возможных рисков (определяемых, в частности, вероятностным характером геолого-разведочного процесса), анализ промежуточных результатов ее выполнения и принятие оперативных мер по корректировке приоритетных направлений развития геологической отрасли.

При общем положительном эффекте от реализации настоящей Стратегии нельзя забывать и о текущем состоянии минерально-сырьевой базы России. В частности, на парламентских слушаниях в Совете Федерации Федерального собрания РФ, предшествовавших принятию Стратегии, вице-президент РАЕН Е. А. Козловский высказал мнение, что даже при стопроцентной реализации долгосрочной программы к 2020 г. минерально-сырьевая база будет компенсирована не более чем на 70% от ее использованной части.

По мнению другого эксперта – директора энергетического центра «Сколково» Г. В. Выгона, заниматься стратегическим планированием

нужно на более длительный срок, как это делается в западных компаниях, а если не начать смотреть на 30–40 лет вперед, то сложно поставить правильные стратегические цели. Кроме того, имеются расхождения между реальным положением вещей и информацией, приведенной в геологической стратегии. Геологической разведкой в нефтедобывающих регионах мира занимаются совсем не так, как указано в нашей Стратегии. Есть риск, что генеральная схема также будет оторвана от реальности. Отчасти, по мнению Г. В. Выгона, это связано с тем, что размыты полномочия по разным министерствам и стратегические документы в недостаточной степени подкрепляются практическими мероприятиями и изменением законодательства.

Согласно данным исследовательской компании «Research.Techart» (г. Москва), в ближайшей перспективе наибольший рост – 10–15% в год – ожидает сегмент разведочного бурения. Оптимистичные прогнозы связаны с запланированным увеличением крупнейшими ВИНК вложений в геологоразведку.

8.1.1. Новые требования к оценке разведанной и прогнозной сырьевой базы

В соответствии с Законом РФ от 21.02.1992 г. № 2395-1 «О недрах» была подготовлена Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов, утвержденная приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 01.11.2013 г. № 477, которая вступила в силу с 01.01.2016 г. Классификация разработана в соответствии с решением комиссии ТЭК при Президенте РФ от 13.02.2013 г.

Новая классификация устанавливает единые для России принципы подсчета и государственного учета запасов и ресурсов нефти, горючих газов – свободного газа, газа газовых шапок, газа, растворенного в нефти, и газового конденсата. При этом к ресурсам отнесены оцененные количества нефти, наличие которых в недрах предполагается. Основанием для такого предположения могут являться общие геологические представления, теоретические предпосылки, а также результаты геологических, геофизических и геохимических исследований.

Основная цель введения новой классификации запасов – обеспечить переход от административного регулирования недропользования к механизму, основанному на геолого- и технико-экономической оценке возможности разработки запасов полезных ископаемых.

По мнению экспертов из Всероссийского нефтяного исследовательского геолого-разведочного института (ВНИГРИ), предыдущая

классификация запасов и ресурсов нефти и газа и система их учета не позволяли получить четкое представление об их промышленной значимости. Тем самым утрачивались ориентиры реальных возможностей нефтегазового комплекса в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Для того чтобы государственные органы управления фондами недр имели четкие представления о реальной промышленной значимости углеводородного сырьевого потенциала страны, нужно продолжить работу по переоценке прогнозных ресурсов нефти и газа с учетом их технологической доступности и экономической значимости.

Переход страны от плановой экономики к рыночной выдвинул новые требования к оценке как разведанной, так и прогнозной сырьевой базы. Понятие ресурсов углеводородного (УВ) сырья приобрело экономическое содержание. Суть его заключается в том, что к ресурсам должны относиться только такие скопления минерального сырья, которые можно извлечь из недр при существующих технических и экономических условиях. Та часть минерального сырья, для разработки которой не существует технических средств или рентабельность его разработки не очевидна, к ресурсам не относится. Аналогичный подход применяется за рубежом в странах с рыночной экономикой к оценке всех видов минерального сырья, включая нефть и газ.

В условиях рыночной экономики и платного недропользования нельзя ограничиваться прогнозными оценками скоплений углеводородов в недрах. Такие оценки не являются надежной основой для принятия управленческих решений, а представляют собой всего лишь информацию о скоплениях углеводородов в недрах. Обоснование направлений геолого-разведочных работ, выбор перспективных участков для поиска и разведки месторождений должны основываться на представлениях о наличии технологически и экономически извлекаемых ресурсов.

При проведении экономической оценки прогнозных ресурсов УВ можно выделить несколько этапов:

- 1) прогнозирование общей величины скоплений нефти и газа в регионе;
- 2) распределение ресурсов по локальным объектам оценки;
- 3) выбор объектов, технологически доступных для проведения геолого-разведочных работ и дальнейшего освоения;

4) экономическая оценка ресурсов и дифференцирование их по рентабельности освоения.

На экономическую значимость ресурсов оказывают определяющее влияние следующие факторы:

- прогнозируемая величина будущих открытий;
- глубина залегания продуктивных горизонтов;
- начальные дебиты скважин.

Поскольку геолого-промысловые характеристики не выявленных нефтегазовых объектов не поддаются точному прогнозу, необходимо применение вероятностных методов с тем, чтобы определить возможные диапазоны их изменения. Для предотвращения грубых просчетов в оценке величины ресурсов необходимо отказаться от детерминированных оценок. Величину ресурсов следует определять как минимум в трех вариантах – минимальном, максимальном и оптимальном. Такой подход позволит более точно оценить инвестиционные риски, связанные с затратами на поиск новых месторождений.

Большое практическое значение имеет выделение группы технологически извлекаемых ресурсов. К этой группе следует относить ту часть прогнозируемых скоплений углеводородов, которая может быть выявлена и извлечена из недр всеми известными в настоящее время и проектируемыми способами поисков, разведки и разработки месторождений. Оставшуюся часть УВ скоплений, которую невозможно извлечь из недр ни при современном, ни при обозримом в долгосрочной перспективе уровне техники и технологии, следует считать технологически неизвлекаемыми ресурсами.

В настоящее время к этой группе следует отнести:

- часть ресурсов Арктического шельфа;
- ресурсы УВ в низкопроницаемых коллекторах;
- тяжелые нефти и природные битумы;
- очень мелкие (менее 0,1 млн т условного топлива) месторождения, территориально удаленные от потребителей;
- объекты, истощенные разработкой или с низким коэффициентом извлечения.

Одним из факторов, определяющих экономическую доступность ресурсов, является продажная цена нефти и газа. Резкие изменения цен на УВ, наблюдающиеся в последние годы, радикальным образом влияют на оценку промышленной значимости запасов и ресурсов. Поэтому необходима оценка ресурсов при разных уровнях цен, как это практикуется в США.

8.2. Запасы горючих ископаемых и прогнозные оценки их прироста

8.2.1. Данные зарубежных и российских геологов о запасах нефти и прогнозах их возможного прироста

Запасы нефти в недрах Земли ограничены, затраты на ее добычу и транспортировку постоянно возрастают, и при сохранении современных темпов роста добычи и потребления разведанных запасов нефти хватит примерно на 50 лет.

Как сообщает «BP Statistical Review of World Energy» (по данным на июнь 2016 г.), оценка доказанных запасов этого вида сырья составляет 1383,2 млрд баррелей, или 188,8 млрд т (табл. 13).

По мнению эксперта – заместителя директора центра изучения мировых энергетических рынков Института энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН) В. В. Кулагина, компания «BP», которую и раньше критиковали за некорректность данных по России, не может объективно оценивать запасы нефти в нашей стране, поскольку эти данные засекречены и представляют государственную тайну.

По данным итальянской энергетической компании «Eni» на 31.12.2015 г., доказанные запасы нефти составляют 1667,9 млрд баррелей, а The World Top 10 (2015) выглядит следующим образом (табл. 14).

Таблица 13

Страны с крупнейшими запасами нефти по данным «BP»

Страна	Доказанные запасы нефти		Доля в мире, %	Обеспеченность, лет (запасы / добыча)
	млрд баррелей	млрд т		
Весь мир	1697,6	239,4	100,0	51
Члены ОПЕК	1211,6	169,9	71,4	87
Венесуэла	300,9	47,0	17,7	314
Саудовская Аравия	266,6	36,6	15,7	61
Канада	172,2	27,8	10,1	108
Иран	157,8	21,7	9,3	110
Ирак	143,1	19,3	8,4	97
Россия	102,4	14,0	6,0	26
Кувейт	101,5	14,0	6,0	90
ОАЭ	97,8	13,0	5,8	69
США	55,0	6,6	3,2	12
Ливия	48,4	6,3	2,8	307

Источник: BP Statistical Review of World Energy. June 2016.

Таблица 14

Страны с крупнейшими запасами нефти по данным «Епi»

Страна	Доказанные запасы нефти, млрд баррелей	Доля в мире, %	Обеспеченность, лет (запасы / добыча)
Весь мир	1667,9	100,0	50
Члены ОПЕК	1208,2	72,4	87
Венесуэла	300,9	18,0	316
Саудовская Аравия	266,5	16,0	60
Канада	170,9	10,2	107
Иран	158,4	9,5	121
Ирак	142,5	8,5	96
Кувейт	101,5	6,1	90
ОАЭ	97,8	5,9	72
Россия	80,0	4,8	20
Ливия	48,4	2,9	303
США	43,6	2,6	9

Источник: Eni. World Oil and Gas Review. 2016.

Таким образом, по сравнению с данными «ВР» Россия по запасам нефти занимает уже не шестое, а восьмое место.

По данным Минэнерго России, по состоянию на 01.01.2014 г. объем учтенных запасов АВС₁ нефти достиг 18,2 млрд т [34].

Проведенный специалистами ВНИГРИ анализ показал, что в стране скопилось свыше 13 млрд т невостребованных запасов нефти различных категорий разведанности, которые длительное время не вводятся в разработку. Из них 2,9 млрд т находятся в нераспределенном фонде недр, а 10,1 млрд т – в распределенном фонде недр¹. Причем 8,0 млрд т сосредоточено в неразрабатываемых и законсервированных залежах. Потенциал добычи этих запасов может достигать 100 млн т в год и более. Однако их длительная невостребованность означает, что в существующих экономических условиях они не обладают достаточной инвестиционной привлекательностью и отнесение их к извлекаемым требует подтверждения.

¹ Государственный фонд недр состоит из распределенного и нераспределенного фонда недр. Распределенный фонд составляют участки недр, на которые выданы в установленном порядке разрешительные документы на право пользования недрами. Нераспределенный фонд составляют участки недр, на которых предусматривается проведение работ по геологическому изучению недр, освоению объектов недропользования, но разрешительные документы еще не выданы.

Кроме того, по некоторым странам приведенные в табл. 13 и 14 данные могут быть и завышены. Все дело в том, что начавшаяся после резкого снижения цен на нефть в начале 80-х гг. прошлого века «война квот» в рамках ОПЕК привела к тому, что каждая из этих стран старалась завышать показатели своих запасов, поскольку эти показатели являлись основой для установления квот на добычу. Например, довольно странными обстоятельствами являются сокращение с 2009 г. добычи нефти в Саудовской Аравии (по сравнению с 2008 г. на 50,6 млн т) и заявление ее короля, что он вообще намерен приостановить разработку новых месторождений, для того чтобы *«сохранить нефть для будущих поколений»*.

На этом основании, по данным швейцарской консалтинговой фирмы «Petroconsultants», объем доказанных мировых запасов нефти составляет всего 821 млрд баррелей (84,4 млрд т).

Кроме того, в ИНЭИ РАН считают, что если темпы прироста мирового потребления нефти, наблюдавшиеся в последнее десятилетие, сохранятся, то запасы этого вида сырья, доказанные на сегодня, к 2020–2030-м гг. окажутся исчерпанными примерно на 80%.

Отсюда возникает проблема прироста запасов. Известно, что основные крупные месторождения нефти мира были открыты еще в 50–80-х гг. прошлого века. За последние 40 лет крупнейшим открытием в этом плане стал бассейн Северного моря с запасами в 60 млрд баррелей (8,16 млрд т), что чуть больше суммарного мирового потребления нефти в течение трех последних лет. Как считают в этой связи американские геологи, то, что еще может быть открыто, по запасам будет заведомо меньше нефтеносной провинции Северного моря. По прогнозам Департамента геологии США (USGS), объем геолого-разведочных работ, произведенных в последние 10–15 лет прошлого века, позволяет предположить, что к 2020 г. прирост доказанных мировых запасов нефти составит примерно 260 млрд баррелей (около 35 млрд т).

Согласно прогнозным оценкам, опубликованным в 2009 г. Минэнерго России в «Энергетической стратегии-2030», к 2030 г. за счет геолого-разведочных работ в РФ может быть обеспечен совокупный прирост запасов нефти в объеме около 12 млрд т (при успешной реализации мероприятий по повышению коэффициента извлечения нефти прирост запасов может составить 14 млрд т).

Конечно, все приведенные оценки весьма условны. Они, например, совершенно не учитывают ресурсы углеводородов Восточной

Сибири, которая в геологическом плане почти не изучена. Поэтому в действительности очень трудно сказать, на сколько лет миру еще хватит нефти.

Таким образом, резкие различия в прогнозируемых оценках ресурсов нефти связаны с высокой неопределенностью будущего прироста запасов. Также существует точка зрения, согласно которой лет через 40–50 проблема прироста нефтяных запасов вообще потеряет актуальность, так как нефть вытеснят нетрадиционные виды энергоносителей, например водород, солнечная энергия и энергия ветра (см. пп. 6.1.2). Согласно прогнозам транснационального концерна «Royal Dutch Shell», к середине текущего века на первый план выйдут возобновляемые виды энергии, а доля нефти в мировом энергобалансе сократится примерно до 25%. Однако пока мировое потребление нефти растет.

8.2.2. Запасы природного газа и прогнозные оценки их прироста

Согласно многочисленным прогнозам российских и западных аналитиков, в ближайшие 10–20 лет существенно возрастет спрос на газ. В основе этого процесса лежат факторы природного, экономического и политического свойства, которые в комплексе предопределяют неизбежность изменения структуры мирового энергобаланса в пользу роста в нем доли газа. Правда, в ближайшие 10–20 лет происходить этот процесс будет в основном в промышленно развитой части мира, в то время как в развивающихся странах основным энергоносителем останется нефть.

На российских тепловых электростанциях (ТЭС) сжигается значительное количество природного газа – наиболее экологически чистого топлива (до 60–62%), и это положение в структуре топливного баланса будет сохраняться в ближайшее время.

Некогда не вызывавшее сомнений абсолютное лидерство России по доказанным запасам природного газа последние несколько лет опровергнуто данными компании «BP» (табл. 15).

По данным итальянской энергетической компании «Eni» на 31.12.2015 г., Россия уверенно занимает первое место в мире по доказанным запасам природного газа (табл. 16).

Прогнозные оценки показывают, что к 2025 г. прирост запасов природного газа в мире составит 147,2 трлн м³, в том числе в России более 27 трлн м³.

Таблица 15

**Ведущие страны мира по доказанным запасам природного газа
(данные компании «BP»)**

Страна	Доказанные запасы, трлн м ³	Доля в мировых запасах, %	Обеспеченность, лет (запасы / добыча)
Весь мир	186,9	100,0	53
Иран	34,0	18,2	177
Россия	32,3	17,3	56
Катар	24,5	13,1	135
Туркменистан	17,5	9,4	241
США	10,4	5,6	14
Саудовская Аравия	8,3	4,5	78
ОАЭ	6,1	3,3	109
Венесуэла	5,6	3,0	173
Нигерия	5,1	2,7	102
Алжир	4,5	2,4	54

Источник: BP Statistical Review of World Energy. June 2016.

По мнению экспертов из ВНИГРИ, уже в настоящее время в России объем неразрабатываемых запасов газа составляет 47,5 трлн м³.

Согласно данным, опубликованным в «Энергетической стратегии России...», в Российской Федерации общие прогнозные ресурсы газа оцениваются в 164,2 трлн м³, в том числе на континентальном шельфе 63,8 трлн м³.

Таблица 16

**Ведущие страны мира по доказанным запасам природного газа
(данные компании «Eni»)**

Страна	Доказанные запасы, трлн м ³	Доля в мировых запасах, %	Обеспеченность, лет (запасы / добыча)
Весь мир	198,3	100,0	56
Россия	50,5	25,5	81
Иран	33,5	16,9	181
Катар	24,3	12,3	140
Туркменистан	9,9	5,0	122
США	8,6	4,4	11
Саудовская Аравия	8,6	4,3	102
ОАЭ	6,1	3,1	107
Венесуэла	5,7	2,9	221
Нигерия	5,3	2,7	124
Алжир	4,5	2,3	54

Источник: Eni. World Oil and Gas Review. 2016.

8.2.3. Запасы ресурсов твердого топлива

Переориентация энергетики на жидкое и газообразное топливо сократила долю использования угля, и с 70-х гг. XX в. до настоящего времени она колеблется в пределах около 30%.

Доказанные мировые извлекаемые запасы угля (с учетом развития горнодобывающей техники и рентабельности по экономическим соображениям для разработки) оцениваются в 861 млрд т. При сохранении объема ежегодной добычи общемировых извлекаемых запасов угля может хватить на 118 лет, по другим данным, извлекаемых запасов угля может хватить на срок от 218 до 520 лет.

Угленосные бассейны размещены по территории земного шара неравномерно. Их основная часть расположена на территориях стран бывшего СССР, США и Китая. Крупными запасами обладают также Австралия, Германия, Польша и ряд других стран (табл. 17).

В 2000-е гг. в условиях увеличения цен на нефть страны-импортеры нефти, экономика которых была ориентирована на нефть как источник энергии, были вынуждены перестраивать структуру топливно-энергетического баланса, например путем увеличения доли угля в энергопотреблении. Очевидными преимуществами являются дешевизна угля по сравнению со стоимостью прямых заменителей, стабильность и прогнозируемость цен на уголь, что обеспечивает для потребителей удобство планирования затрат.

В то же время единица теплотворной способности топлива при использовании угля обходится потребителю в среднем в 1,5 раза дешевле, чем при применении мазута. В настоящее время многие строящиеся и действующие мазутные ТЭС переводятся на более дешевое твердое топливо. При этом активно используется достигнутый высокий прогресс в технологии и экологии использования угля. Благодаря внедрению в энергетику достижений НТП уголь в настоящее время с точки зрения экологии и технологии практически равноценен мазуту.

Согласно прогнозам, относительная доля потребления угля как энергоносителя уменьшится, однако на фоне общего увеличения энергопотребления роль угольных электростанций будет возрастать.

Кроме угля, в качестве источников энергии можно также использовать другие твердые горючие ископаемые, например торф и горючие сланцы.

На территории РФ сосредоточено около четверти имеющихся в мире ресурсов древесины и около 45% мировых запасов торфа.

Таблица 17

Угольные ресурсы по странам мира

Страна	Доказанные запасы, млн т	Доля в мировых запасах, %	Обеспеченность, лет (запасы / добыча)
Весь мир	891 531	100,0	114
США	237 295	26,6	292
Россия	157 010	17,6	422
Китай	114 500	12,8	31
Австралия	76 400	8,6	158
Индия	60 600	6,8	89
Германия	40 548	4,5	220
Украина	33 873	3,8	—
Казахстан	33 600	3,8	316
ЮАР	30 156	3,4	120
Индонезия	28 017	3,1	71
Сербия	13 411	1,5	352
Турция	8702	1,0	192
Колумбия	6746	0,8	79
Бразилия	6630	0,7	—
Канада	6582	0,7	108

Источник: BP Statistical Review of World Energy. June 2016.

По существующим оценкам, ежегодный прирост торфа в нашей стране оценивается в 260–280 млн т, и только 1,1–1,2% от этого количества добывается и используется. Ресурсы торфа в России превышают суммарные запасы нефти и газа и уступают только запасам каменного угля.

Недостатком торфа, кроме экологических факторов, являются сезонность добычи, плохая транспортабельность и сохранность и др. Сланцы при использовании в качестве топлива также обладают рядом недостатков, прежде всего высокой зольностью. Данные виды топлив вместе с дровами являются второсортными топливами местного значения. Достоинствами торфа и дров является тот факт, что их запасы могут возобновляться. Следует отметить, что брикетирование торфа позволяет существенно увеличить его калорийность, а также плотность получаемого топлива, и таким образом увеличивается экономически оправданная дальность перевозки.

8.3. Нетрадиционные ресурсы углеводородов

Интерес к нетрадиционным углеводородным ресурсам начал расти в связи с ростом цен на углеводороды.

В частности, в настоящее время мировая нефтедобыча постепенно смещается в область высоковязких нефтей и природных битумов.

К запасам нетрадиционного природного газа, которые имеются в различных регионах мира, относятся:

- метан угольных пластов;
- сланцевый газ;
- газ плотных песчаников;
- газ в гидратах.

Запасы газа очень большие, но его добыча требует технических решений, зависящих от регулирующих органов, экологических и финансовых условий.

Развитие нетрадиционных источников добычи газа носит пока локальный характер и сосредоточено в основном в США. Так, в первом десятилетии XXI в. в США развитие технологий бурения и гидрорыва пласта привело к настоящему буму добычи из нетрадиционных источников природного газа (таких как сланцы, плотные песчаники и угольные пласты). В настоящее время на долю нетрадиционного газа приходится почти 50% от совокупной добычи в США. Снижение спроса, вызванного спадом экономики, вместе с технологическим прорывом в добыче способствовало образованию значительного навеса предложения на рынке, что привело к обвалу цен на газ на американском рынке и значительному сокращению импорта природного газа в США.

8.3.1. Битуминозные пески

В настоящее время много надежд возлагается на разработку битуминозных песков и производство синтетической нефти. Запасы нетрадиционной нефти огромные; по данным «BP», в одной только Канаде извлекаемые запасы оцениваются в 143 млрд баррелей (23,3 млрд т); по данным канадских геологов, доступные резервы страны составляют около 179 млрд баррелей.

С открытием месторождения в окрестностях г. Ледюк (провинция Альберта, Канада) в 1947 г. канадская промышленность сконцентрировалась на добыче нефти с помощью буровых вышек и скважин. А после роста мирового спроса и повышения цен на нефть до 40–50 долл. США за баррель стало выгодно добывать и нефтеносный песок на севере провинции. В настоящее время для таких разработок уже получили соответствующие лицензии канадские компании «Syncrude Canada», «Suncor Energy», «Petro-Canada», а также «Royal Dutch Shell» (Нидер-

ланды, Великобритания), «ExxonMobil Corp.» (США), «Техасо» (США) и «Statoil» (Норвегия).

Канада ежедневно добывает около 2,5 млн баррелей нефти: 1,3 млн из традиционных источников, а 1,2 млн из нефтеносного песка. Согласно прогнозам Союза канадских нефтепроизводителей (CAPP)¹, к 2020 г. суммарное производство нефти может достичь 3,3–4 млн баррелей в сутки. Национальный совет по энергетике (National Energy Board, NEB) полагает, что к 2015 г. инвестиции в нефтяную промышленность составят около 94 млрд канадских долл.

При всех радужных перспективах имеется и множество затруднений. Основная проблема состоит в том, что нефть содержится в нефтеносных песках и их добыча стоит довольно дорого и к тому же не проходит бесследно для окружающей среды. Тяжелый черный песок добывается либо открытым карьерным способом, либо из него нефть «выгоняют» потоками горячего пара (см. п. 10.3). Оба метода добычи требуют дальнейшей физической и химической переработки (например, при помощи экстракции), после которой нефть поступает на рынок.

Однако, по мнению Всемирного фонда дикой природы (WWF)², в процессе разработки битуминозных песков потребляется в три раза больше энергии и выделяется почти в три раза больше углекислого газа, чем при традиционной добыче. Кроме того, чтобы достать нефть из песков, необходимо сжечь большое количество природного газа, что также не устраивает экспертов в области климата.

В частности, в мае 2010 г. активисты «Greenpeace» выгрузили 8 т дробленого черного гранита у главного офиса компании «Statoil» в Копенгагене (Дания) в знак протеста против добычи нефти из битуминозных песков в провинции Альберта.

Несмотря на критику, правительство Канады делает ставку на нефтеносные пески. Наряду с США нефть из Канады очень интересует Китай и Южную Корею.

Сейчас специалисты активно обсуждают возможность добычи нефти из песков в Альберте с помощью атомной энергии.

¹ CAPP – The Canadian Association of Petroleum Producers = Канадская ассоциация нефтепроизводителей.

² WWF – World Wildlife Fund = Всемирный фонд дикой природы – в настоящее время официально называется Всемирный фонд природы (англ. World Wide Fund for Nature), только в США и Канаде сохранено старое название – международная общественная организация, работающая в сферах, касающихся сохранения, исследования и восстановления окружающей среды.

Представители нефтяной отрасли Канады провели ряд исследований и обосновали, что расходы на добычу одного барреля синтетической нефти из песков выросли до 35–50 долл. США, и надеются, что эти результаты заблокируют инициативу политиков по увеличению пошлин на добычу нефти.

Но, несмотря на такие огромные запасы и высокие цены, делающие разработку битуминозных песков экономически рентабельным делом, производство нефти из песков незначительно. Так, в 2008 г. всего в мире производство составило всего 1,8 млн баррелей в сутки (около 100 млн т/год), и по прогнозу Международного энергетического агентства к 2030 г. производство нефти из битуминозных песков по самым оптимистичным прогнозам увеличится всего до 5,9 (около 350 млн т/год). Конечно, это внесет свой вклад, но все же роль битуминозных песков в будущих поставках нефти будет незначительной. Существенно и резко увеличить производство нефти из песков невозможно по технологическим причинам, масштабируемость производства синтетической нефти из песков оказывается очень низкой.

8.3.2. Нетрадиционная нефть

Если проследить мировые тенденции изменения добычи различных видов нефтей за период 1970–2030-х гг., то заметен переход от разработки существующих месторождений сначала к освоению имеющихся запасов, посредством повышения нефтеотдачи, затем к освоению новых месторождений и увеличению доли добычи нетрадиционной нефти.

В 1987 г. на XII Мировом нефтяном конгрессе в г. Хьюстоне была принята общая схема классификации нефтей и природных битумов с плотностью:

- легкие нефти – менее $870,3 \text{ кг/м}^3$;
- средние нефти – $870,3\text{--}920,0 \text{ кг/м}^3$;
- тяжелые нефти (ТН) – $920,0\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$;
- сверхтяжелые нефти (СТН) – более 1000 кг/м^3 при вязкости менее $10\,000 \text{ мПа} \cdot \text{с}$;
- природные битумы (ПБ) – более 1000 кг/м^3 при вязкости свыше $10\,000 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.

Однако в настоящее время можно встретить и другие классификации, например Американский нефтяной институт классифицирует нефти по следующим значениям плотностей: ТН – $934\text{--}972 \text{ кг/м}^3$; СТН – $972\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$; ПБ – более 1000 кг/м^3 .

В Российской Федерации классификация нефтей осуществляется по плотности, а при поставке на экспорт – дополнительно по выходу фракций и массовой доле парафина. Таким образом, в нашей стране, согласно ГОСТ Р 51858-2002, нефть по плотности подразделяют на пять типов:

- 0 – особо легкая – не более $830,0 \text{ кг/м}^3$ ($834,5 \text{ кг/м}^3$)¹;
- 1 – легкая $830,1\text{--}850,0 \text{ кг/м}^3$ ($834,6\text{--}854,4 \text{ кг/м}^3$);
- 2 – средняя $850,1\text{--}870,0 \text{ кг/м}^3$ ($854,5\text{--}874,4 \text{ кг/м}^3$);
- 3 – тяжелая – $870,1\text{--}895,0 \text{ кг/м}^3$ ($874,5\text{--}899,3 \text{ кг/м}^3$);
- 4 – битуминозная – более $895,0 \text{ кг/м}^3$ (более $899,3 \text{ кг/м}^3$).

Кроме повышенной плотности, нетрадиционные нефти также обладают высокой вязкостью, поэтому в некоторых классификациях их называют «*высоковязкие нефти*» (ВВН). Следует отметить, что ВВН, кроме углеводородов, как правило, содержат такие ценные соединения, как нафтеновые кислоты, сульфокислоты, простые и сложные эфиры, редкие цветные металлы в кондиционных концентрациях.

Природные битумы – это окисленные высоковязкие, плотные нефти жидкой, полужидкой и твердой консистенции с высоким содержанием серы, масел, смол и асфальтенов. Отличаются большим содержанием ванадия, никеля, молибдена и значительно меньшим (до 25%) содержанием бензиновых и дизельных фракций.

В нефтяной отрасли России уже довольно давно сложилась неблагоприятная геолого-технологическая структура запасов нефти, в которой доля традиционных (технологически освоенных) запасов составляет лишь 35%, остальные запасы приходится на долю трудноизвлекаемых запасов нефти (низкопроницаемые пласты, остаточные запасы, глубокопогруженные горизонты, высоковязкие нефти, подгазовые зоны).

Тяжелая нефть. По данным экспертов, мировые запасы тяжелых нефтей составляют более 810 млрд т. Геологические запасы высоковязкой и тяжелой нефти в России, по различным данным, оцениваются в пределах 5–20 млрд т.

Для Российской Федерации характерно наличие очень большого количества месторождений битумов и высоковязких нефтей. Причем

¹ Без скобок указаны значения плотности при температуре 20°C, в скобках – при 15°C. Согласно ГОСТ Р 51858-2002, определение плотности при 20°C обязательно до 01.01.2004 г., определение плотности при 15°C обязательно с 01.01.2004 г. Это связано с тем, что в СССР стандартной была принята температура нефтепродукта 20°C, а в США, Англии и некоторых других странах стандартная температура составляет 15,6°C (60°F).

по их числу, условиям залегания и составу флюидов у нас нет равных. Условия залегания продуктивных пластов весьма разнообразны – глубина от 300 до 1100 м, динамическая вязкость – до 30 Па · с. К подобным месторождениям относятся залежи битуминозных нефтей в Татарии, высоковязкие нефти Усинска, Ухты, Павловой горы Краснодарского края и т. д. Однако разработка подобных месторождений – дело весьма энергоемкое и хлопотное, но логика развития экономики неизбежно приведет к необходимости обеспечения добычи трудноизвлекаемых нефтей. Наибольшие сложности представляет собой переработка высоковязкой нефти, поскольку в стране отсутствуют необходимые технологии и мощности, а основные экспортные потребители не рассчитаны под переработку такой нефти.

За рубежом, помимо битуминозных песков Канады, интерес представляет «сверхтяжелая» нефть Венесуэлы (нефть Ориноко). По оценкам геологов компании «Petróleos de Venezuela, Sociedad Anonima» («PDVSA»), потенциальные запасы такой нефти составляют 190 млрд т, извлекаемые – 42–43 млрд т. В октябре 2009 г. Американская геологическая служба (USGS) оценила извлекаемые запасы сверхтяжелых нефтей Венесуэлы в объеме 513 млрд баррелей (около 80 млрд т).

В стране действуют несколько проектов освоения месторождений «Пояса Ориноко», в частности проекты Синкор (совместный проект «PDVSA» с «Total» (Франция) и норвежскими компаниями «Statoil» и «Norsk Hydro»); Петросуата (проект американской компании «ConocoPhillips»); Амака (совместный проект «BP», Великобритания и «Chevron Corp.», США); Сьерра-Негро (совместный проект «ExxonMobil Corp.», США и «Aral», Германия). По предварительной оценке, добыча нефти может составить 28,8 млн т.

Таким образом, мировая нефтедобыча смещается в область битумных и тяжелых нефтей. Это кардинально меняет геостратегическую картину запасов нефти в мире.

Керогеновая нефть. Из горючих сланцев (например, эстонских сланцев-кукерситов, см. также пп. 8.2.3 и 8.3.4) в результате пиролиза, гидрирования или термического растворения можно получить керогеновую нефть (сланцевую нефть, сланцевое масло). В результате перечисленных выше процессов твердые остатки органической материи из горной породы (сланцев, богатых керогеном¹) преобразуются

¹ Кероген (от греч. keros – воск, genes – рождающий, рожденный) – органическое вещество, например, входящее в состав горючих сланцев, нерастворимое в органических растворителях.

в синтетические углеводороды (синтетическую нефть и газ). Получаемая нефть может использоваться непосредственно в качестве топлива либо подвергаться переработке на НПЗ. Продукты переработки керогеновой нефти могут использоваться в тех же целях, что и продукты, получаемые переработкой традиционной сырой нефти.

Сланцевая нефть. Термин «сланцевая нефть» («shale oil») также часто используется, особенно в США, для обозначения традиционной легкой нефти, добытой из сланцевых пластов или из прилегающих к ним других плотных (низкопроницаемых) коллекторов (см. также материалы о сланцевом газе – пп. 8.3.4). Чтобы отличать ее от керогеновой нефти нефтематеринских сланцев, МЭА рекомендует использовать термин «light tight oil» (LTO, легкая нефть низкопроницаемых коллекторов). При этом следует отметить, что «нефтяные сланцы» являются только частью всего множества низкопроницаемых нефтесодержащих пород (tight oil), куда входят песчаники, карбонаты, силициты и др.

По оценкам многих экспертов, Россия является лидером по ресурсам сланцевой нефти. Так, по данным Управления энергетической информации США (EIA), Россия стоит на первом месте по величине технически извлекаемых ресурсов легкой нефти низкопроницаемых коллекторов, которые составляют 75 млрд баррелей (9,7–9,9 млрд т), на втором месте США с ресурсами 58 млрд баррелей, на третьем – Китай, его ресурсы составляют 32 млрд баррелей. Общие мировые запасы сланцевой нефти, согласно этому прогнозу, составляют 345 млрд баррелей¹. Таким образом, почти половина ресурсов сосредоточена в трех указанных выше странах.

Наибольшие перспективы в России связывают с баженовской свитой Западной Сибири, распространенной на площади в сотни тысяч квадратных километров и залегающей глубже основных продуктивных горизонтов, разрабатываемых в настоящее время. Некоторые геологи считают ее аналогом формации Баккен (Bakken) в США, в которой была открыта сланцевая нефть еще в XIX в. и только в конце XX в. с появлением технологии гидроразрыва пласта (ГРП)² начала разворачиваться масштабная добыча. Кроме того, исследователи из НИИ и предприятий Республики Татарстан установили, что геологи-

¹ Недропользование XXI век. 2015. № 1 (51). С. 34–45.

² *Гидроразрыв пласта* (гидравлический разрыв пласта, англ. hydraulic fracturing или сленговое сокращение «fracking») – формирование трещин в массивах газо-, нефте-, водонасыщенных и других горных породах под действием подаваемой в них под давлением жидкости.

ческие особенности доманиковых отложений на территории Татарстана в целом являются аналогом сланцевой формации Игл Форд (Eagle Ford) в США.

В первое время в США себестоимость горизонтального бурения и последующее применение многостадийных ГРП, необходимых для добычи нефти низкопроницаемых коллекторов, стоило очень дорого. Но технологии развивались и совершенствовались очень быстро из-за высокой конкуренции на внутреннем рынке. На американском рынке этим бизнесом заняты сотни небольших компаний, и потому стимулы к усовершенствованию технологий и их удешевлению очень высоки. Ключевой фактор сланцевой революции – это создание и постоянное развитие технологии. В результате себестоимость добычи сланцевой нефти в США, обеспечивающая минимальную рентабельность, очень быстро снижалась с 89 долл. в 2006 г. до 48 долл. в 2011 г. и 44 долл. в 2014 г.¹

К началу 2010-х гг. сланцевые плеи Баккен и Игл Форд суммарно обеспечивали почти 2/3 добычи нефти из низкопроницаемых коллекторов в США. В настоящее время на этих месторождениях в США нефтедобыча снижается. По оценкам Управления энергетической информации США (EIA), добыча на Баккен к концу 2015 г. сократилась на 12% по сравнению с пиковым значением в конце 2014 г., а на Игл Форд – на 25% с пика в марте 2015 г.

В настоящее время, в условиях ухудшения в РФ ресурсной базы традиционных углеводородов, вовлечение в разработку запасов сланцевой нефти является чрезвычайно важной и актуальной задачей дальнейшего развития нефтегазодобывающего комплекса страны. При этом, по мнению некоторых экспертов, нефтяной кризис 2014–2015 гг. может стимулировать создание новых технологий добычи сланцевой нефти.

Матричная нефть. Следует также отметить открытие одного из крупнейших в мире месторождений матричной нефти в Оренбургской области. *Матричная нефть* – это минерально-биогенная углеводородная система, генетически и структурно связанная с матрицей резервуара, формирование и эволюция которой проходили в пределах единого очага. Она состоит из углеводородных и неуглеводородных соединений, содержит значительное количество сингенетических высокомолекулярных компонентов (асфальтенов, смол, парафинов, ма-

¹ Недропользование XXI век. 2015. № 1 (51). С. 26–33.

сел), аномально высокие концентрации уникального комплекса микроэлементов и металлов и включает гигантские количества сорбированного метана, этана, пропана и конденсата. Матричная нефть имеет большой запас свободной энергии и высокий генерационный потенциал¹.

Матричную нефть нельзя добыть традиционными методами. К настоящему времени разработана новая технология извлечения матричной нефти, основанная на растворении породы особыми химическими составами (специальными растворителями). Это более затратный метод, но эта нефть в связанном виде содержит значительное количество химических элементов, в том числе цветных, драгоценных, редких и редкоземельных металлов. При растворении освобождаются также газ и конденсат.

По мнению директора Института проблем нефти и газа РАН, академика РАН А. Н. Дмитриевского, разработка месторождения матричной нефти в Оренбургской области создает перспективы производства и поставки на мировой рынок уникальной продукции. Это редкие и редкоземельные металлы, а также наносорбенты, нанотрубки, углеводородное волокно, новое поколение катализаторов и композитные материалы. Стоимость этой продукции в десятки и сотни раз превышает стоимость нефтегазового сырья.

* * *

По мнению многих экспертов, именно ввод в промышленную разработку и потребление битумных нефтей Канады и США, а также интенсификация добычи легкой нефти низкопроницаемых коллекторов (сланцевой нефти) позволила США отказаться от части поставок нефти из стран Ближнего Востока и других регионов, что послужило одной из причин снижения мировых цен на нефть в 2014–2015 гг.

Директор Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков России В. А. Рябов еще в 2011 г. предложил рассмотреть этот вопрос в Минэнерго России. По мнению В. А. Рябова, возможно повторение ситуаций, имевших место в 1998 и 2008 гг. Так, в 1998 г. мировые цены на нефть упали примерно в 3 раза и составили 9–10 долл. США за баррель, что привело к экономическому кризису в стране, при этом оптовые цены на нефтепродукты снизились на 20%, а розничные – не

¹ Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 5. С. 9–11.

более чем на 5%. Аналогичную картину мы видели в 2008 г., во время экономического кризиса, когда цены на нефть упали также примерно в 3 раза, а цены моторных топлив на АЗС снизились на 10–20%.

Согласно [34], одним из приоритетов в добыче нефти в долгосрочной перспективе может стать добыча тяжелой и вязкой нефти, ресурсы которой в стране огромны. Россия занимает третье место в мире после Канады и Венесуэлы. Причем эти ресурсы находятся в районах с развитой инфраструктурой, созданной для добычи традиционной нефти (в европейской части страны, Западной Сибири и на Сахалине). В принципе, разработка таких месторождений является экономически более привлекательной и решаемой в сравнительно короткие сроки задачей, чем создание технологий безопасной добычи нефти на шельфе арктических морей в условиях сложной ледовой обстановки или автоматизированных комплексов подводной (подледной) добычи с конкурентными экономическими показателями. Решение проблемы переработки высоковязкой нефти позволит, среди прочего, высвободить дополнительные объемы легкой нефти на экспорт.

Кроме того, следует отметить, что отработка технологий геологического изучения низкопроницаемых коллекторов и добычи из них нефти и эффект масштаба работ приводят к снижению затрат и повышению конкурентоспособности добычи углеводородов из сланцевых пород. Решению этих задач будет способствовать создание полигона «Баженовский», где проходит ускоренная отработка отечественных технологий добычи трудноизвлекаемых углеводородов. Соответствующее соглашение подписали глава Минприроды России С. Е. Донской и губернатор Ханты-Мансийского автономного округа – Югры Н. В. Комарова.

8.3.3. Метан угольных пластов

Угольный метан обычно добывается из угольных пластов, которые либо залегают слишком глубоко, либо имеют слишком низкое качество для их коммерческой разработки. Часть газа добывается до начала добычи угля.

Мировые запасы метана угольных пластов, по данным Международного энергетического агентства (МЭА), оцениваются в 260 трлн м³ и превышают запасы природного газа, составляющие, по данным «BP», 186,9 трлн м³ (табл. 15), «Eni» – 198,3 трлн м³ (табл. 16). Однако, в отличие от обычного голубого топлива, практически все они являются трудноизвлекаемыми, поскольку содержатся в плотных пла-

стах угля, причем содержание газа возрастает до величин, экономически оправдывающих добычу, только на достаточно большой глубине залегания угольного пласта. Поэтому и добыча, и подготовка к использованию требуют значительных капиталовложений.

Прежде всего должны выполняться условия, способные обеспечить успешную разработку.

1. Удельное содержание газа в угле должно составлять от 15 до 30 м³/т.

2. Проницаемость пласта должна находиться в диапазоне 30–50 миллидарси.

3. Глубина разработки в идеале не должна превышать 1200 м, поскольку на больших глубинах давление возрастает до величин, препятствующих извлечению газа, растут расходы на бурение.

Промышленная добыча метана угольных пластов началась в США в начале 80-х гг. XX в. В настоящее время там создана целая отрасль промышленности по добыче такого газа. За последние 10 лет добыча метана из специальных скважин возросла до 70 млрд м³/год. В этой отрасли в США работают более 200 компаний. Себестоимость добычи составляет от 115 до 305 долл. на тыс. м³. По данным ПАО «Газпром», на долю угольного метана приходится около 10% добытого в США газа.

В России суммарные ресурсы метана угольных пластов, по данным экспертов, оцениваются в пределах 50–83 трлн м³ (ресурсы традиционного газа в стране, по данным «ВР», – 44,8 трлн м³). Большая их часть расположена в Сибири и на Дальнем Востоке. Однако в стране, являющейся мировым экспортером природного газа, нетрадиционные источники углеводородов обречены на второстепенные роли. Тем более что стоимость их добычи здесь обходится значительно выше стоимости добычи газа из традиционных коллекторов.

Проекты по разработке метана угольных пластов, наверное, имели бы в РФ совсем немного шансов на развитие, если бы не необходимость снизить аварийность при эксплуатации угольных шахт.

Дегазация угольных пластов – часть методологии шахтной добычи угля. Традиционно дегазация осуществляется с помощью принудительной вентиляции забоев, но этот метод не слишком надежен для обеспечения безопасности работ и, кроме того, дальнейшее использование нецелесообразно с экономической точки зрения, поскольку в такой воздушной смеси процент метана невелик. Поэтому выведенная из шахты смесь газов обычно просто выбрасывается в атмосферу.

Еще один способ дегазации – бурение скважин за 3–5 лет до начала разработки пластов. На стадии строительства новых шахт технологии бурения горизонтальных, вертикально-горизонтальных, наклонно-горизонтальных, многоствольных скважин могут быть весьма эффективны, особенно если будут наблюдаться тенденции увеличения скорости бурения при снижении затрат. Эту задачу может решить, например, колтюбинговое бурение (см. п. 9.4).

Таким образом, известны два основных способа добычи шахтного метана. Первый – добыча из нетронутых угольных пластов. И второй – его извлечение на полях уже действующих шахт. В настоящее время повсеместная практика добычи метана угольных пластов состоит из бурения скважин с последующим гидроразрывом угольного пласта для увеличения газоотдачи (см. также пп. 8.3.4).

Обычно добыча метана ведется пробуренными по пласту неглубокими горизонтальными скважинами протяженностью до 1500 м, затем газ поступает на очистительную фабрику, где в соответствии с техническими требованиями обезвоживается, фильтруется, сжимается и далее по газопроводу высокого давления подается потребителям.

Разработанные технологии извлечения метана из угольных пластов могут быть также востребованы для добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов из низкопроницаемых коллекторов и для извлечения остаточных запасов газа на традиционных месторождениях в условиях низкого пластового давления и обводненности фонда скважин.

Газ угольных пластов лучше природного, содержание метана в нем может достигать 98% (см. главу 14).

Имеющаяся в России ресурсная база позволяет развернуть добычу метана из угольных пластов в промышленном масштабе. В России насчитывается несколько крупных угольных бассейнов. Ресурсы газа угольных пластов Тунгусского бассейна оцениваются в 20 трлн м³, суммарные ресурсы Ленского и Таймырского бассейнов – в 11 трлн м³, Печорского – в 1,942 трлн м³, Южно-Якутского – в 0,920 трлн м³. Однако при экономической оценке добычи угольного метана в данных бассейнах необходимо учитывать удаленность от конечного потребителя и неразвитую инфраструктуру регионов.

В последние годы начаты интенсивные работы по извлечению метана в Австралии, Китае, Канаде, Польше, Германии и Великобритании.

В Китае ресурсы метана угольных пластов составляют 28–35 трлн м³ (ресурсы традиционного газа в стране – 2,8 трлн м³). Интерес к из-

влечению метана из угольных пластов стал здесь проявляться в начале 90-х гг. XX в. За прошедшие 10 лет китайскими и иностранными специалистами пробурено более 100 опытных скважин на территории угольных бассейнов в восточной части страны. В 2009 г. началось строительство более 3600 буровых скважин для его добычи. Тем не менее в результате добычи угля в Китае выбросы метана в атмосферу составляют 6–19 млрд м³ в год.

В Канаде начались экспериментальные работы по извлечению метана на участке Паллисер в провинции Альберта. Канадский газовый комитет прогнозирует, что метан угольных пластов, ресурсы которого составляют около 8 трлн м³ (тогда как ресурсы традиционного газа в стране – 1,7 трлн м³), в будущем станет основным видом добываемого газа в ряде районов Канады.

В Великобритании известная компания «Coalgas» ведет добычу метана из двух заброшенных шахт – Макхрам, расположенной недалеко от города Мансфилд, и Ститлейв. Компания разработала альтернативный метод извлечения метана посредством его откачки через вентиляционные стволы шахт, куда он поступает из неотработанных угольных пластов.

Проблема дегазации угля и утилизации метана весьма актуальна, в частности, в Кузбассе. Здесь проекты по добыче метана угольных пластов не только помогут обезопасить труд шахтеров, но и значительно изменят структуру топливного баланса региона, поскольку уровень газификации Кемеровской области ныне составляет всего 1,8%, тогда как в среднем по России этот показатель равен 63,1%. В 2009 г. на первом опытном промысловом участке на Талдинском месторождении была начата пробная эксплуатация семи разведочных скважин. В феврале 2010 г. на Талдинском месторождении Газпром запустил первый в России промысел по добыче угольного газа. В 2010 г. состоялась церемония пуска первого метанугольного промысла в России. Газпром уже добыл на этом промысле в режиме пробной эксплуатации 4,9 млн м³ угольного метана.

В настоящее время продолжается пробная добыча метана из разведывательных скважин и его подача на газопоршневую электростанцию (ГПЭС) и автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС). Таким образом, добытый метан используется для выработки электроэнергии и применяется в качестве моторного топлива. Ресурсы газа на Нарыкско-Осташкинской площади достигают 918 млрд м³, а запасы, по предварительным оценкам, могут составить 35 млрд м³. В це-

лом в соответствии с бизнес-планом будут построены 1650 скважин, а стабильный уровень добычи метана достигнет 4 млрд м³/год.

В долгосрочной перспективе планируется довести объемы до 18–21 млрд м³/год, что позволит удовлетворить потребности в газе не только Кемеровской области, но и других регионов юга Западной Сибири.

Проект добычи метана из угольных пластов является инновационным и имеет общегосударственное значение. Он направлен на создание в России новой газовой подотрасли, которая станет важной составной частью добычного комплекса. Проект ставит своими целями:

- повышение безопасности подземной добычи угля;
- создание энергетической базы в регионе страны и инфраструктуры для дальнейшего социально-экономического развития;
- создание дополнительных рабочих мест;
- улучшение экологической обстановки в угледобывающих регионах.

8.3.4. Сланцевый газ

Сланцевый газ представляет собой метан, находящийся в сильно глинизированных плотных породах: алевролитах, аргиллитах и сланцах. Может содержаться либо в порах подобных пород, либо в составе органических материалов в этих породах. Месторождения сланцевого газа занимают большие площади, но отличаются высокой рассеянностью и крайне низкой проницаемостью, которая в тысячи раз меньше, чем у обычных газовых пластов.

Термином «сланцевый газ» также называют газ, полученный путем газификации горючих сланцев (см. пп. 8.2.3) в специальных генераторах при доступе воздуха (см. также материалы о сланцевой нефти – пп. 8.3.2). Так, в Ленинграде с 07.11.1948 г. (со дня сдачи в эксплуатацию магистрального газопровода Кохтла-Ярве–Ленинград) до начала 60-х гг. XX в. такой искусственный сланцевый газ играл весомую роль в топливно-энергетическом балансе. Подробно о газификации твердых топлив см. в п. 15.2.

Ресурсы сланцевого газа (содержащегося в плотных низкопроницаемых коллекторах) в мире, по разным данным, колеблются в интервале 200–460 трлн м³, но только малая часть является извлекаемыми запасами. Себестоимость добычи в точке производства – от 80 до 400 долл. США за тыс. м³.

По данным Управления энергетической информации США (EIA), объем добычи сланцевого газа в США в 2009 г. составлял 36,6 млрд м³, в 2010 г. – 151,0 млрд м³, к 2013 г. вырос до 323,2 млрд м³, однако по

итогам 2014 г. остался практически на уровне предыдущего года и составил 333,4 млрд м³.

Первая скважина, давшая приток в пластах сланцевого газа, была пробурена в США еще в 1821 г. Промышленная добыча осуществляется уже 40 лет, однако быстрое увеличение объемов было достигнуто лишь в последние четыре года в силу развития технологий, роста цен на газ в 2007 г. – первой половине 2008 г., а также благодаря комплексу экономических стимулов для добывающих компаний.

За пределами США геолого-разведочные работы на сланцевый газ в основном находятся в начальной стадии. Технологически извлекаемые и коммерчески эффективные запасы сланцевого газа в мире могут составлять около 12 трлн м³.

Основные месторождения сланцевого газа находятся в Соединенных Штатах, Китае, а также на Ближнем Востоке. Россия по запасам нетрадиционного газа занимает четвертое место, Европа – пятое.

По данным Агентства по национальной безопасности США, к 2020 г. в этом регионе потребление традиционного природного газа сократится в результате освоения новых технологий освоения газа сланцевого, а также альтернативных (возобновляемых) источников энергии.

При оценке реальных перспектив сланцевого газа необходимо учитывать следующие факторы.

1. При добыче традиционного газа применяются менее сложные и дорогостоящие технологии, чем при извлечении сланцевого газа и других видов нетрадиционного газа.

2. В случае со сланцевым газом извлекаемые ресурсы на порядок меньше, чем на традиционных месторождениях. Низкая проницаемость сланцев приводит и к быстрому падению добычи из скважины. Поэтому применяется горизонтальное бурение и технология многостадийного гидроразрыва пласта (фрекинг).

3. Стоимость бурения в итоге вырастает в три-четыре раза по сравнению с обычной скважиной.

4. Кроме экономических факторов, серьезным ограничением для развития этого сектора являются технологические составляющие. Технологии фрекинга экологически небезопасны. Мало того, что гидроразрыв пласта требует значительных объемов расхода воды (на одно месторождение используется несколько млн т в год), эта вода содержит большое количество вредных химических примесей (причем их состав является коммерческой тайной).

По мнению российских экспертов, сланцевый газ является сильно рассеянным полезным ископаемым. Его добыча отличается наиболее мощным воздействием на окружающую среду, а затраты на освоение заметно превышают уровень инвестиций в другие газовые ресурсы. Потому трудноизвлекаемые ресурсы, к которым относится сланцевый газ, – это дополнение, но не альтернатива крупным залежам природного газа.

Следует отметить, что в связи с возможным ущербом для окружающей среды применение технологии гидравлического разрыва геологических пластов запрещено или приостановлено в таких странах, как Франция, Болгария, Германия, Нидерланды и ряде штатов США.

Таким образом, имевший место в период 2007–2013 гг. сланцевый бум сменился падением его производства на существующих проектах и, по мнению некоторых аналитиков, оно может быть обвальным, что, в конечном счете, приведет к резкому увеличению стоимости газа в структуре относительных энергетических цен.

Проведенный анализ показал, что для Российской Федерации изучение сланцевых газов крайне актуально для мониторинга мировых перспектив его использования в качестве альтернативы российскому газу. Однако для собственной добычи этот вид нетрадиционных газовых скоплений интереса пока не представляет по сравнению с угольным метаном и природными газогидратными залежами (см. пп. 8.3.7).

8.3.5. Газ плотных песчаников

Газ, содержащийся в плотных песчаниках, представляет собой запасы природного газа, находящиеся в коллекторах с очень низкой проницаемостью и расположенные на разных глубинах при различных температурах и давлении в разнообразных геологических формациях. В ряде стран добыча и запасы включаются в запасы традиционного газа.

Таким образом, кроме добычи сланцевого газа, еще одним фактором, влияющим на конъюнктуру основных мировых газовых рынков, является динамика темпов роста объемов добычи газа, содержащегося в плотных песчаниках. Его ресурсы в мире, согласно МЭА, оцениваются примерно в 210 трлн м³.

Примерно 70% мировой добычи такого газа приходится на США и свыше 20% – на Канаду. Добыча газа из плотных песчаников в США начала активно расти с середины 90-х гг. XX в., увеличившись с 55 млрд м³ в 1990 г. до приблизительно 190 млрд м³ в 2009 г.

Подобные запасы газа расположены в очень низкопроницаемых породах (проницаемость – менее 0,1 миллидарси), и их разработка путем бурения традиционных вертикальных скважин неэффективна с экономической точки зрения. При разработке активно используются бурение горизонтальных скважин и многократные гидроразрывы.

Текущие прогнозы динамики добычи газа, содержащегося в плотных песчаниках, в США достаточно консервативны. Международное энергетическое агентство (МЭА) не ожидает значительного роста этого вида запасов газа и предполагает, что уровень добычи уже близок к пиковому. При этом агентство отмечает, что в настоящее время в США наблюдается тенденция снижения объемов запасов газа, содержащегося в плотных песчаниках, на одну пробуренную скважину, что говорит о том, что лучшие участки уже разработаны.

8.3.6. Газовые гидраты

Газовые гидраты (газогидраты) – кристаллические соединения, по виду напоминающие спрессованный снег, которые образуются при определенных термобарических условиях из воды и газа.

В общем виде состав газовых гидратов описывается формулой $M \cdot nH_2O$, где M – молекула газа-гидратообразователя, n – число молекул воды, приходящихся на одну включенную молекулу газа, причем n – переменное число, зависящее от типа гидратообразователя, давления и температуры. На сегодняшний день выявлены три типа газовых гидратов (I, II и III). Газовые гидраты I типа наиболее распространены; они представлены преимущественно молекулами биогенного метана. Газовые гидраты II и III типов могут содержать более крупные молекулы, составляющие термогенный газ.

Открытие крупных скоплений газовых гидратов (ГГ) главным образом под морским дном вдоль внешних континентальных окраин Мирового океана, а также в регионах вечной мерзлоты в Арктике пробудило в мире интерес к ГГ как возможным ресурсам энергетического сырья. По текущим оценкам, количество природного газа в ГГ мира почти на два порядка больше, чем остающиеся извлекаемые ресурсы традиционного природного газа.

Установлено, что образование и распространение ГГ контролируются соответствующими термобарическими условиями, наличием достаточного количества газа и воды, химическим составом газов, соленостью поровой воды, наличием эффективных миграционных путей для газа и воды, присутствием коллекторов и покрышек. Газовые гид-

раты могут встречаться в природе в различной форме: в виде цемента, пластин и прожилков. Результаты проведенных исследований показали, что мощность большинства осадочных разрезов, содержащих ГГ, варьирует от десятков сантиметров до десятков метров. Мощность пластов чистых ГГ, как правило, измеряется в миллиметрах или сантиметрах. При извлечении на поверхность ГГ легко распадаются на воду и газ, причем из 1 м³ ГГ может выделиться до 180 м³ природного газа.

Газовые гидраты выявлены почти на 50 площадях мира. По некоторым оценкам, 98% ресурсов газогидратного газа присутствует на морских континентальных окраинах и 2% – в районах вечной мерзлоты на суше. Данные исследований арктических ГГ показывают, что в регионах вечной мерзлоты они могут существовать на глубинах от 130 до 2000 м от поверхности. Примерно 10% площади Мирового океана являются потенциально газогидратоносными. Присутствие ГГ на морских континентальных окраинах было установлено по аномальным сейсмическим отражающим горизонтам, отождествляемым с подошвой гидратоносных отложений на глубинах от 100 до 1100 м от морского дна. Глубоководным бурением ГГ были вскрыты юго-восточнее и западнее США, вблизи Канады, Перу, Коста-Рики, Гватемалы и Мексики, у берегов Японии, в Мексиканском заливе. Они обнаружены также в Средиземном, Черном, Каспийском, Южно-Китайском морях, у берегов Калифорнии, Южной Кореи, Индии и в других местах.

По оценкам, выполненным разными учеными в разное время, общее количество природного газа в газогидратных скоплениях громадное. Однако эти оценки варьируют в широких пределах: от 14 до 34 000 трлн м³ в зонах вечной мерзлоты на суше и от 3100 до 7 600 000 трлн м³ на акваториях.

По текущим оценкам, количество метана в газогидратных скоплениях мира составляет порядка 20 000 трлн м³. Если эти оценки достоверны, то это означает, что количество метана в газовых гидратах мира почти на два порядка больше, чем остающиеся извлекаемые ресурсы традиционного природного газа (см. табл. 15 и 16). По оценкам Газового исследовательского института США (2003), геологические ресурсы газа в газогидратных скоплениях США составляют 9056 трлн м³ и, если удастся извлечь хотя бы 1% газа из этих скоплений, потребности США в газе будут удовлетворяться на протяжении 100 лет. По материалам Минэнерго России (2016), имеющиеся предварительные оценки мировых ресурсов газа в гидратах всего 2800 трлн м³, что

превышает на 35% оценки всех других запасов газа в совокупности (или в 15 раз текущие оценки запасов сланцевого газа).

Однако даже при подтверждении наличия громадных объемов газа в газовых гидратах потребуются решить значительные технические и экономические проблемы, чтобы рассматривать ГГ как жизнеспособный источник энергетического сырья. Хотя обширные площади мировых континентальных окраин подстилаются ГГ, концентрация их в большинстве морских скоплений очень низкая, что создает проблемы в отношении технологии добычи газа из широко разбросанных скоплений.

Среди основных направлений физико-химических исследований газовых гидратов изучение кинетики разложения гидратов представляется одной из наиболее важных и сложных задач. С практической точки зрения результаты кинетических исследований необходимы для моделирования процессов выделения газа из гидратных залежей.

В 60–70-х гг. XX в. советские исследования в области разработки газогидратных месторождений были одними из первых в мире, сегодня 10–30-летний опыт в этом накопили такие страны, как Япония, США, Канада, Индия, и в последние годы уже появились первые практические результаты.

Предлагаемые способы извлечения газа из ГГ связаны с переводом газа из твердого состояния в свободное непосредственно в пласте. Это может быть осуществлено в результате нагревания коллектора выше температуры образования гидратов, снижения пластового давления ниже давления равновесия гидратов, закачки в коллектор ингибиторов (метанол, гликоли и др.) для понижения стабильности гидратов.

Наиболее экономически выгодным представляется метод снижения давления. Так, при испытании скважины при понижении давления на газогидратном скоплении Маллик в дельте реки Маккензи (Канада) в 2002 г. были получены притоки газа дебитом более 280 тыс. м³/сут.

По мнению многих экспертов, именно газовые гидраты считаются самым перспективным нетрадиционным источником углеводородного сырья и энергии в XXI в.

В последние годы Япония, Индия и США приступили к выполнению амбициозных национальных программ по дальнейшему изучению потенциала газовых гидратов, которые, как полагают специалисты, помогут ответить на ключевые вопросы относительно техно-

логии и стоимости добычи газа. Китай планирует в следующем десятилетии направить 100 млн долл. на газогидратные исследования. Южная Корея планирует разработать технологию добычи газа из газовых гидратов к 2015 г.

По прогнозам зарубежных ученых, в последующие 30–50 лет значительной добычи газа из газовых гидратов, очевидно, не будет. Однако в некоторых развитых странах, обладающих небольшими традиционными энергетическими ресурсами (Япония), а также в странах с уникальными местными экономическими условиями, например расположенностью газогидратных скоплений вблизи скоплений традиционных энергетических ресурсов (США, северный склон Аляски), газовые гидраты могут стать источником природного газа уже в следующие 5–10 лет. Появление на мировом рынке гидратного газа может значительно изменить общую ситуацию с газовыми потоками в мире.

Следует также отметить, что, хотя по консервативным оценкам промышленная эксплуатация газовых гидратов может стать важным фактором в мировой энергетике только через 30–50 лет, не исключен и сценарий форсированного, прорывного развития этих технологий.

8.3.7. Перспективы возможного использования нетрадиционных углеводородов

Согласно исследованиям профессора О. М. Прищепы (директора Всероссийского нефтяного исследовательского геолого-разведочного института (ВНИГРИ)), следует более точно классифицировать понятия нетрадиционных углеводородов (НУВ). Он предлагает разделить их на три эшелона.

1. Оцененные, технически доступные, но не востребуемые УВ, освоение которых в современных условиях возможно, но нерентабельно или экологически опасно.

2. Имеющие мировой опыт оценки и выборочного освоения с разработанными технологиями извлечения и транспорта, но существенными экологическими и экономическими ограничениями.

3. Не имеющие мирового опыта промышленной оценки и технологий освоения (по сути гипотетических при современном уровне развития технологий добычи).

Шаги по вовлечению в хозяйственный оборот НУВ первого эшелона понятны и обусловлены мировыми ценами, востребованностью на рынках сбыта, обеспеченностью запасами компаний и проводимой госполитикой.

Шаги по вовлечению в хозяйственный оборот НУВ второго эшелона не очень ясны и связаны исключительно с конъюнктурой, чаще диктуются не экономическими, а политическими условиями, а также необходимостью обеспечения безопасности при попутном освоении и отработкой технологий для возможного вовлечения в весьма отдаленной перспективе.

Шаги по вовлечению в хозяйственный оборот НУВ третьего эшелона абсолютно не ясны и являются предметом научных дискуссий и предметом разработки подходов по возможным технологиям.

Нетрадиционные запасы и ресурсы УВ, в общем соответствующие приведенным выше эшелонам (в частности, для России), можно разделить на следующие группы:

- подготовленные для промышленного или опытно-промышленного освоения (невостребованные запасы нефти и газа, природные битумы, газы и нефти плотных коллекторов);
- требующие изучения, оценки, постановки на баланс и разработки технологий с вовлечением в освоение в средне- и долгосрочной перспективе (угольный газ, сланцевый газ и нефть);
- проблемные и гипотетические объекты освоения (газогидраты, водорастворенные газы).

По мнению О. М. Прищепы, с позиций вовлечения в хозяйственный оборот нетрадиционных углеводородов для России наиболее приемлемыми являются следующие положения:

- в самом ближайшем будущем наступит время активного освоения НУВ первого эшелона;
- проблема освоения НУВ второго эшелона подогревается интересом ученых и практиков к познанию, а также тем, что россияне не хотят себя видеть отсталыми от остального цивилизованного мира;
- время для освоения НУВ третьего эшелона еще не наступило, поскольку традиционных запасов и нетрадиционных углеводородов первого эшелона еще хватит надолго.

8.4. Освоение морских ресурсов нефти и газа

Арктический шельф и его побережье рассматриваются в ЭС-2030 как одно из приоритетных направлений развития нефтедобычи. Для координации освоения шельфа Министерство природных ресурсов РФ в 2006 г. разработало проект государственной «Стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа РФ до 2020 года».

По существующим оценкам, геологические ресурсы нефти акваторий морей России составляют 43,5 млрд т, из них к извлекаемым относятся 13,8 млрд т. В частности, в российской Арктике на шельфе и побережье Печорского и Карского морей разведано 19 месторождений тяжелых и битуминозных видов нефти. Из общих извлекаемых запасов нефти в регионе (1,7 млрд т) запасы тяжелой нефти составляют 1,1 млрд т.

Однако проведенный во ВНИГРИ анализ показал, что при современном уровне развития морских технических средств и технологий из общих ресурсов акваторий морей технически доступны для освоения лишь 8 млрд т нефти. Из них рентабельными при существующих экономических условиях можно считать от 3,3 до 5,0 млрд т, в том числе запасов около 1 млрд т, т. е. не более трети от извлекаемого нефтяного ресурсного потенциала акваторий. Следует также иметь в виду слабую обоснованность величины ресурсов жидких углеводородов акваторий, значение которой также требует уточнения.

В мировой практике оценка ресурсов проводится по проверенной временем методике прогнозирования. Например, в 2006 г. Департамент управления минеральными ресурсами при Министерстве внутренних дел США провел оценку неоткрытых ресурсов нефти и газа континентального шельфа США. Эта оценка базировалась на всестороннем анализе перспектив нефтегазоносности шельфа. Информация, полученная в ходе геолого-разведочных работ на нефть и газ, использовалась в геологических моделях, разработанных группой по оценке углеводородного потенциала шельфа. На основе этих моделей установлены продуктивные зоны нефтегазонакопления, определены их географические границы и обработаны данные по основным геологическим и технико-технологическим параметрам продуктивных пластов.

Результаты моделирования использованы в расчетах суммарных объемов извлекаемых ресурсов каждой перспективной зоны нефтегазонакопления. Они представлены двумя категориями:

- неоткрытыми технически извлекаемыми ресурсами нефти и газа;
- неоткрытыми экономически извлекаемыми ресурсами нефти и газа.

При определении объема неоткрытых технически извлекаемых ресурсов нефти и газа шельфа Аляски, Атлантического океана, Мексиканского залива и Тихого океана использованы последние геологические, технологические и географические данные и применен вероятностный подход. Расчеты технически извлекаемых ресурсов представлены в виде диапазона значений, соответствующих различной степени

вероятности подтверждения их объемов. Для продуктивных зон, где было мало данных (большая часть зон шельфа Аляски, Атлантического и Тихого океанов), разработаны аналоги с использованием экспертных оценок. Для зон Мексиканского залива и южной Калифорнии применен метод, основанный на статистических данных открытых залежей.

Представляет интерес сравнение технически и экономически извлекаемых ресурсов нефти и газа на шельфе России (приводится по расчетам ВНИГРИ) и США (табл. 18).

По объему технически извлекаемых морских ресурсов нефти Россия несколько уступает США, но по ресурсам газа превосходит почти в 3,5 раза. При этом по экономически извлекаемым ресурсам нефти (при цене 61 долл. за баррель) североамериканский шельф имеет значительное преимущество (8,2 млрд т извлекаемых ресурсов против 3,2 млрд т на российском шельфе). Это преимущество сохраняется и в арктической зоне шельфа. По ресурсам газа российский шельф намного богаче американского за счет прогнозирования крупнейших месторождений в его пределах.

Необходимо отметить некоторую условность сравнения объемов морских экономически извлекаемых ресурсов России и США, имеющих определенные различия в системе налогообложения и оплаты труда. Тем не менее даже при указанных погрешностях приведенные цифры позволяют иметь представление о резервных возможностях нефтегазовой промышленности этих стран.

Несмотря на возникшие различия в системе хозяйствования и в уровнях цен на нефть и газ, результаты оценок показывают, что экономически эффективные ресурсы во всех случаях значительно меньше, чем официально утвержденные извлекаемые геологические ресурсы.

Таблица 18

Сравнение технически и экономически извлекаемых морских ресурсов нефти и газа России и США

Ресурсы нефти и газа	Нефть, млрд т		Газ, трлн м ³		Итого, млрд тнэ	
	Россия	США	Россия	США	Россия	США
Технически извлекаемые ресурсы шельфа	9,6	11,8	40,6	11,8	50,2	22,0
В том числе арктический шельф	5,1	3,6	29,5	3,7	34,6	6,9
Экономически извлекаемые ресурсы	3,2	8,2	23,8	6,0	27,0	14,2
В том числе арктический шельф	1,4	2,3	20,0	1,8	21,4	4,1

Источники: Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5, № 3. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/3/35_2010.pdf (дата обращения 19.01.2017).

Самая низкая доля рентабельных ресурсов нефти характерна для акваторий, что вполне объяснимо, поскольку их освоение в сложных природно-климатических условиях, особенно арктического шельфа, требует гигантских инвестиций. В то же время доля рентабельных прогнозных ресурсов газа на акваториях достаточно высока, что объясняется прогнозированием крупных и уникальных газовых месторождений на арктическом шельфе.

Контрольные вопросы

1. Перечислите приоритетные направления развития геологической отрасли Российской Федерации.
2. Какие виды минерального сырья указаны в целевых показателях «Стратегии развития геологической отрасли до 2030 года»?
3. Какие этапы обычно выделяют при проведении экономической оценки прогнозных ресурсов углеводородов?
4. Назовите факторы, оказывающие определяющее влияние на экономическую значимость природных ресурсов.
5. Что следует относить к группе технологически извлекаемых ресурсов углеводородов?
6. Перечислите страны с крупнейшими запасами нефти.
7. Какой смысл вкладывается в понятие «прирост доказанных запасов горючих ископаемых»?
8. Перечислите ведущие страны мира по доказанным запасам природного газа.
9. Каково распределение угольных ресурсов по странам мира?
10. Расшифруйте понятие «обеспеченность страны природным ресурсом».
11. Перечислите и охарактеризуйте основные виды нетрадиционных запасов углеводородов.
12. Каковы перспективы возможного использования нетрадиционных углеводородов?
13. Каким образом осуществляется в мировой практике оценка морских ресурсов нефти и газа?
14. Проведите количественное и качественное сравнение ресурсов нефти и газа на арктических шельфах России и США.

ГЛАВА 9

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОВЕДЕНИЯ БУРОВЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Темпы роста добычи нефти и газа во многом зависят от успехов бурения. Бурение скважин – это капиталоемкое и материалоемкое производство, которое занимает центральное место в развитии нефтегазовой отрасли. Именно буровые предприятия создают новые нефтегазодобывающие мощности. Важнейшей частью их экономической стратегии является повышение экономической эффективности производства буровых работ.

Нефтегазовый комплекс России в своем развитии последовательно проходил ряд стадий, обусловленных различными причинами объективного характера. Каждая из них требовала своих стратегий и тактических решений. С 1981 г. объемы разведочного и эксплуатационного бурения неизменно увеличивались. Но после развала СССР сложившаяся система материально-технического обеспечения дала сбой, резко сократилось бюджетное финансирование, выросли цены на буровое оборудование, химические реагенты и материалы, что, в свою очередь, обусловило резкое сокращение объемов разведочного (на 30%) и эксплуатационного бурения.

В 90-е гг. XX в. спрос на услуги и оборудование стали формировать частные нефтяные и газовые компании. В тот период спрос был крайне незначительным, что объяснялось низкими ценами на нефть, общей неблагоприятной инвестиционной ситуацией в стране, а также популярностью методов повышения нефтеотдачи пластов (ПНП). Методы ПНП, как и бурение новых эксплуатационных скважин, являются способом повышения объема добычи нефтепродуктов. Зачастую их противопоставляют друг другу: ПНП на действующем фонде скважин при сравнительно небольших затратах позволяет добиться сиюминутных хороших результатов; разведочное и эксплуатационное бурение, обустройство новых скважин стоят дорого и являются долгосрочными инвестициями.

В 90-е гг. XX в. среди вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК) популярностью стала пользоваться относящаяся к методам ПНП услуга гидроразрыва пласта (ГРП). Технология ГРП

подразумевает закачку в скважину геля, содержащего пропант¹, который разрушает нефтяной пласт.

Эффект повышения дебита достигается за счет создания канала (трещины) через поврежденную призабойную зону пласта вокруг скважины и ее дальнейшего распространения на глубину к ранее недостижимым нефтеносным пластам. ГРП для резкого увеличения объема добычи активно применяли многие российские компании, что впоследствии (к 2005–2006 гг.) привело к резкому сокращению дебита месторождений. Попутно происходил передел собственности, и новые владельцы компаний «Роснефть» и «Газпром нефть» для поддержки уровня добычи нефти были вынужденыкратно увеличивать объемы разведочного и эксплуатационного бурения на вновь приобретенных площадках.

Негативная рыночная конъюнктура в 90-е гг. XX в. привела к деградации буровой отрасли. Если рекордная проходка в бурении в 1985 г. составила 35,6 млн м, то в 1995 г. российские компании пробурили всего 11 млн м, а в кризисном 1998 г. проходка сократилась до минимума – 5,1 млн м.

Резкое сокращение объемов буровых работ потребовало сокращения и консервации значительного объема парка буровых установок (БУ), а также привело практически к полной остановке производств БУ в стране: вместо 250 БУ в год в советские времена российские заводы суммарно производили не более 20.

Устойчивый рост наметился только после 2004 г., когда были осуществлены основные слияния и поглощения в нефтегазовой отрасли.

Затем в период 2006–2008 гг. последовала вторая волна модернизации БУ. Однако российские производители, несмотря на огромный опыт производства советского периода, после почти десятилетия простоя не смогли оперативно отреагировать на растущий спрос.

Недостаток отечественных мощностей и несовершенство их продукции вынудили российских заказчиков обратиться к иностранным производителям. Если в начале века иностранные буровые установки в Россию практически не поставлялись и приобретались исключительно иностранными же сервисными компаниями (например, круп-

¹ Пропант (или проппант) (от англ. propping agent – расклинивающий агент) – гранулообразный материал, который используется в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности отдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта (ГРП).

нейшим международным буровым подрядчиком «КСА Deutag»), то начиная с 2006 г. импортная продукция постепенно закрепилась на рынке. Прежде всего приоритет отдавался европейским и американским заводам («Bentec», «Drillmec», «National OilWell Varco» и др.).

Заметное положение на рынке начали занимать китайские производители, имеющие возможности осуществить поставку оборудования в кратчайшие сроки и по минимальной цене. Если в 2006 г. предметом импорта были сравнительно дешевые мобильные буровые установки небольшой грузоподъемности, то с каждым годом китайские производители все увереннее занимали сегмент «тяжелых» станков.

Анализ показывает, что стоимость российского импорта по позиции, включающей самоходные и несамоходные буровые установки, выросла за 2000–2007 гг. втрое, до 350 млн долл. США.

В период сокращения спроса некоторые отечественных производителей вывели на рынок свои новые разработки: «Екатерина» от ЗАО «УРБО» (в 2010 г. вошел в состав ООО «Уралмаш НГО Холдинг»), «Сталинград» от ООО «ВЗБТ» (в 2016 г. завод признан банкротом), «Ермак» от ООО «Буровая компания “Евразия”» и ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». Кризис снизил экономический и маркетинговый эффект их появления на рынке, однако благодаря им доля продаж российских буровых установок выросла в 2009–2010 гг. почти до 30%, а продажи китайских буровых установок сократились на треть.

В настоящее время, по данным исследовательской компании «Research.Techart» (г. Москва), российский парк буровых установок всех классов грузоподъемности для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения с условной глубиной бурения более 1250 м оценивается в 1860 штук.

Таким образом, одним из путей решения задач, которые стоят перед нефтегазовой отраслью в ближайшей перспективе, является дальнейшее техническое переоснащение парка буровых установок новыми, более совершенными установками.

При этом в последние годы наиболее активно росли вложения в эксплуатационное бурение. Гораздо в меньших объемах финансируются разведочное бурение и капвложения непроизводственного назначения.

В докризисный период проходка в бурении в метражном выражении ежегодно росла, достигнув в 2008 г. рекордных результатов в

15,5 млн м. Основной объем работ традиционно приходился на эксплуатационное бурение (более 90% проходки).

В последнее время эксперты отмечали, что с каждым годом растет сложность выполняемых проектов бурения. Скважины становятся более глубокими, возрастает объем бурения наклонных и горизонтальных скважин (до 90% заказов), бурение осуществляется в труднодоступных местах. Определенное влияние оказало и отмеченное смещение спроса на буровые услуги в сторону Восточной Сибири, где стоимость работ в ряде случаев превышает значения для других регионов в 5 раз. В результате средняя стоимость выполняемых работ за последние годы увеличилась более чем в два раза.

В дальнейшем наибольший рост – 10–15% в год, по мнению аналитиков «Research.Techart», ожидает сегмент разведочного бурения. Оптимистичные прогнозы связаны с запланированным увеличением крупнейшими ВИНК вложений в геологоразведку.

Прирост в сегменте эксплуатационного бурения будет достаточно сдержанным. По мнению ряда экспертов, к 2010 г. рынок уже достиг определенного насыщения, что подтверждалось замедлением темпов его роста в последние годы.

С технологической и экономической точек зрения буровые работы являются основными в мировой добыче углеводородов. Именно на них приходятся основные затраты. Так, в США в 2007 г. из общей суммы инвестиций в нефтегазодобычу в 151,6 млрд долл. доля расходов на бурение эксплуатационных скважин (field wells) составила 71,7% (108,7 млрд долл.), на бурение разведочных скважин (exploratory wells) и на геофизические исследования приходилось 10,8% (16,3 млрд долл.), затраты на создание прочей инфраструктуры для добычи углеводородов составили 15,7% (23,8 млрд долл.) и на оплату лицензий (бонусов) государственному агентству «The Minerals Management Services» за право разрабатывать месторождения было направлено 1,8% (2,8 млрд долл.). В частности, расходы на развитие новых скважин, добывающих платформ и прочей инфраструктуры в 2011 г. были более чем на 10% выше показателя 2010 г. Отчасти этот рост отражает увеличение издержек на разведку и добычу нефти на более труднодоступных месторождениях, в том числе значительные суммы будут выделены на проекты морских нефтедобывающих платформ.

По приведенным выше цифрам видно, что бурение эксплуатационных скважин определяет общую динамику инвестиций в добычу углеводородов. Причем структура этих инвестиций, если судить на

примере США, продолжает меняться в пользу бурения: за период 1982–2007 гг. его доля выросла на целых 16 процентных пунктов – до 77% (с учетом разведочного бурения). Главным объяснением такой тенденции является сохранение относительно высокой стоимости буровых работ при снижении стоимости работ по разведке и созданию прочей инфраструктуры промыслов. Доля разведки снизилась прежде всего за счет удешевления геофизических исследований с помощью продвинутых сейсмических технологий.

Дальнейшее развитие сырьевой базы нефтегазовой промышленности предполагает развитие и новых технологий бурения. Это связано с необходимостью бурения в новых районах, а также бурения для добычи нетрадиционных запасов углеводородов. Перспективы разработки новых месторождений связаны с увеличением глубин бурения, наличием вечной мерзлоты и соляных пропластков. Все это будет происходить в местах с низкоразвитой инфраструктурой и суровыми климатическими условиями.

Эксплуатационная надежность элементов бурильной колонны во многом определяет условия безаварийной проводки скважины и минимизации затрат времени и средств на ее бурение. Это особенно актуально в сегодняшних условиях, когда возросли глубины и объемы бурения, резко увеличился процент наклонно направленных и горизонтальных скважин большой напряженности, на смену турбинному пришли роторные и комбинированный способ бурения.

Согласно [34], доля направленного и горизонтального бурения и гидроразрыва пласта в российской нефтедобыче за период 2013–2016 гг. выросла в 2 раза. Сегодня уже треть общероссийского объема проходки приходится на горизонтальное бурение, а на месторождениях со сложной структурой запасов эта величина достигает 50%.

9.1. Тенденции развития российского рынка бурового оборудования

Для современного рынка бурового оборудования и прочей машиностроительной продукции характерно усиление присутствия компаний, которые оказывают разного рода услуги, связанные с эксплуатацией и арендой оборудования. Состав всех этих компаний, их взаимоотношения в технологической вертикали в значительной степени определяются процессами специализации, в ходе которой производственные операции все больше переходят к специализированным сервисным и подрядным фирмам.

В настоящее время мировыми лидерами в развитии техники и технологии нефтегазового сервиса являются США, Россия и Китай. В этих странах разрабатывается и производится наиболее полный спектр нефтегазового оборудования, аппаратуры, технологий и имеется крупнейший сервисный и интеллектуальный потенциал для выполнения комплекса работ от поиска и разведки месторождений до ликвидации промыслов.

К лидерам рынка бурения в нефтегазовой отрасли относятся крупные независимые компании и структурные подразделения ВИНК (наиболее значимые участники – сервисные подразделения ОАО «Сургутнефтегаз», ООО «Буровая компания “Евразия”», АО «Сибирская сервисная компания», ООО «РН-Бурение», ООО «Газпром-нефть-Нефтесервис»).

Крупнейшей западной компанией, работающей в сервисной области, является франко-американская корпорация «Schlumberger». Она относится к признанным мировым лидерам в области передовых технологий для нефтегазовой промышленности. Деятельность компании сосредоточена на технологических услугах в разведке и добыче углеводородов и распространяется более чем на 80 стран. Сопоставимыми масштабами и областью деятельности обладает американская сервисная корпорация «Halliburton». Она была основана в 1919 г. в штате Техас и специализировалась с самого начала на бурении нефтяных скважин. В 1998 г. приобрела ведущую сервисную компанию «Dresser Industries» и вышла в мировые лидеры по бурению на углеводороды.

По данным британской консалтинговой компании «DouglasWestwood», которая приводит анализ крупнейших российских нефтегазодобывающих регионов (Тимано-Печора, Волго-Урал, Западная и Восточная Сибирь), прогнозируются высокие темпы роста эксплуатационного бурения и сегментов ремонта скважин и сейсмики. Согласно оценкам экспертов, может также значительно увеличиться сектор производства нефтепромыслового оборудования в России, в особенности строительства буровых установок. Поскольку с 2010 г. и по настоящее время наблюдается возрастание темпов бурения, то произошел рост закупок нефтегазовыми компаниями буровых установок в 2,5 раза за два года. Причем значительная часть действующего парка буровых установок морально и физически устарела и потребность в них на ближайшие 10 лет оценивается примерно в 460–550 единиц.

В настоящее время доля импортного оборудования в парке действующего нефтедобывающего оборудования в России не превышает

20% от общего числа единиц оборудования, но по стоимости она выше примерно вдвое.

Современный российский рынок услуг в нефтедобыче все больше становится полем деятельности иностранных компаний. Это относится и к их доле в общем обороте рынка, и особенно к их лидирующей роли в научно-технической политике, поставках оборудования и организации технологического процесса. Российские фирмы все больше выступают в качестве субподрядчиков и пользуются иностранными технологиями и оборудованием. Для завоевания рынка иностранные сервисные компании используют не только наличие у них уникальных технологий и ноу-хау по использованию современного оборудования – их финансовая мощь позволяет им при необходимости прибегать к демпингу, к отсрочке платежей, даже прямому кредитованию клиентов из числа нефтяных фирм. Ряд крупных российских вертикально-интегрированных нефтяных компаний (ВИНК) вступили в стратегическое партнерство с западными сервисными лидерами, связав себя долгосрочными крупными кредитами.

В настоящий момент емкость российского рынка нефтегазового оборудования в стоимостном выражении оценивается примерно в 70 млрд р. Несмотря на увеличение добычи нефти, за последние четыре года рынок соответствующего оборудования рос замедленными темпами. Причем экономический кризис 2009 г. повлиял на развитие рынка в негативном ключе: емкость сектора нефтегазового оборудования сократилась на 14%. Эксперты прогнозируют рост этого рынка в среднесрочной перспективе с темпами более 15%, что обусловлено следующими объективными причинами:

- резервы роста за счет работы со старым фондом скважин в России уже исчерпаны, что приводит к увеличению объемов бурения и соответственно закупок нового бурового оборудования;
- парк буровых установок, работающих на территории России, физически устарел: лишь около 30% имеют возраст менее 10 лет, а 50% – старше 20 лет и требуют замены;
- специфические горно-геологические и климатические условия требуют специализированных буровых установок, ограничивая применение их традиционных конструкций;
- применение новых технологий бурения, в частности горизонтального, требует оснащения буровой установки более совершенными и эффективными системами контроля, управления, очистки и пр.;

- оживились геологоразведка, бурение, эксплуатация новых месторождений на шельфе северных морей, на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири.

В современных российских условиях совершенствование технологии бурения, а также рациональная организация сервисных работ в добыче углеводородов являются тем звеном, с помощью которого возможно внедрить высокие технологии и решительно повысить эффективность работы этого критически важного сектора нашей экономики. Это та область, где может быть получен значительный экономический эффект за счет вложений национального капитала и внедрения передовых отечественных и зарубежных технических достижений.

9.2. Новые конструкции отечественных и зарубежных буровых долот, их особенности и области применения

Для формирования ствола скважины путем разрушения горной породы используют породоразрушающий инструмент. Основным породоразрушающим инструментом при бурении являются буровые долота, которые в зависимости от своего конструктивного исполнения можно разделить на следующие четыре группы [17]:

- лопастные;
- шарошечные;
- матричные;
- комбинированные.

В настоящее время для буровых долот выделяются два самостоятельных товарных рынка:

- долота для нефтегазовой промышленности;
- долота для горнорудной и других отраслей промышленности.

Отличия в устройстве долот для нефтегазовой и горнорудной отраслей вызваны различными требованиями, которые к ним выдвигают потребители. Интенсивность буровых работ в нефтегазовом секторе ведет к принципиальной важности высокой продуктивности и надежности инструмента, что находит свое выражение в конструкции долот.

Нефтегазовая промышленность использует наиболее сложные и высокотехнологичные буровые долота. Глубина буровых работ достигает 6000 м, используются наиболее сложные буровые технологии (включая шельфовое бурение и бурение в взрывчатых условиях). Размер долота варьируется в зависимости от условий бурения, в большинстве случаев превышая 150 мм в диаметре. В нефтегазовой

отрасли используются все типы долот. В нашей стране свыше 90% объема глубокого бурения приходится на долю шарошечных долот.

По материалу вооружения¹ породоразрушающий инструмент делится на четыре группы:

- со стальным вооружением;
- с твердосплавным вооружением (например, из карбид-вольфрамового твердого сплава);
- с алмазным вооружением;
- с алмазно-твердосплавным вооружением.

В последние годы при проведении буровых работ в нашей стране и за рубежом активно применяются новые конструкции буровых долот [17]. Рассмотрим некоторые из них.

Комбинированные (гибридные) долота совмещают в себе особенности долот различных групп. Например, производимое ООО НПП «Буринтех» (г. Уфа) буровое долото имеет особенности лопастных и секторных долот. При бурении в мягких породах лопасти работают как резцы, осуществляя резание и скалывание. В перемежающихся по твердости и породах средней твердости работают зерна алмазов, разрушая породу микрорезанием.

Долота оптимальной конструкции, разработанные с применением новейших компьютерных автоматизированных технологий, со сбалансированным высококачественным вооружением PDC², подходят для большинства условий бурения скважин (в роторном бурении или с забойными двигателями) с высокими показателями проходки на долото, механических скоростей, малыми затратами времени на бурение.

В отличие от шарошечных и долот с мелкими алмазами, PDC резцы самозатачиваются во время работы. Твердосплавная подкладка изнашивается быстрее алмазного слоя, формируя острую кромку. PDC резцы срезают слой породы. Установлено, что породы обычно легче разрушаются при боковой нагрузке, следовательно, при работе PDC долот происходит более экономичное (по сравнению с шарошечными и матричными долотами) расходование энергии.

Одним из направлений совершенствования инструмента карьерных буровых станков является создание комбинированных режущешарошечных долот, имеющих в качестве породоразрушающих эле-

¹ Вооружение – совокупность элементов (зубьев, штырей и т. п.), непосредственно разрушающих породу.

² PDC – Polycrystalline Diamond Compact ≈ поликристаллическая алмазная вставка. Поликристаллические алмазы обладают изотропией свойств.

ментов шарошки и режущие лопасти или резцы. Степень эффективности таких долот в значительной мере зависит от их компоновки, т. е. расположения шарошек и режущих органов на корпусе долота.

На значительной части вскрышных пород рационален переход на комбинированный буровой инструмент, который позволит бурить мягкие породы наиболее производительным режущим рабочим органом, а крепкие прослойки – шарошечным.

Изготавливаемые АО «Волгабурмаш» и ОАО «Уралбурмаш» на зарубежном оборудовании долота PDC с матричным корпусом (линия FDM) объединяют в себе технологическую эффективность и значительный ресурс, а также все преимущества долот с матричным корпусом.

Серия FDM разработана для бурения скважин в осложненных горно-геологических условиях, а также для бурения протяженных интервалов, где проходка за один рейс является ключевой задачей для заказчика.

Конструкция, разработанная для конкретных условий бурения, позволяет использовать их с различными компоновками низа бурильной колонны, для бурения вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных участков скважин.

Изготавливаемые АО «НПП “Бурсервис”» (г. Уфа) бицентричные долота, оснащенные сверхтвердыми композиционными материалами (алмазные резцы PDC), предназначены для бурения с одновременным расширением ствола скважины в мягких, средних и твердых горных породах с промывкой водой или буровым раствором в вертикальных, наклонно направленных и горизонтальных нефтяных и газовых скважинах.

Корпус долот производится из высококачественной легированной стали и армирован износостойким покрытием, режущие элементы вооружения имеют высокую износостойкость, благодаря чему инструмент обладает повышенной долговечностью и высокой скоростью проходки. Это позволяет снижать затраты заказчика при ремонте и бурении скважин, ведет к уменьшению расхода долот и времени механического бурения скважины.

Российско-японская группа компаний «Энерпром-Микуни» изготавливает разработанные в Японии буровые долота со вставными зубцами, предназначенные для нефтегазовой отрасли.

Зубцы, расположенные друг от друга с большими промежутками и неравномерно, имеют максимальную вершину головки среди всех

других видов долот и самые большие и широкие зубцы, которые характеризуются высокой степенью проходки.

* * *

По данным Федеральной антимонопольной службы (ФАС России), проводившей в 2007 г. анализ и оценку состояния рынков буровых долот, доля импортных породоразрушающих инструментов на российском рынке долот для нефтегазовой промышленности составляет порядка 12% и горнорудных долот – 14%.

Кроме указанных выше отечественных производителей долот, на российском рынке активно работают иностранные производители, например американские компании «Hughes Christensen» и «Varel Int.».

В частности, компания «Varel Int.» активно развивается и растет в последние годы. Она владеет четырьмя собственными заводами, два находятся в США, один – в Мексике и один – во Франции. «Varel Int.» владеет собственной научной и конструкторской базой и ежегодно инвестирует как в улучшение существующей линейки продукта, так и в создание новых долот.

Зарубежные производители поставляют на российский рынок фактически весь спектр буровых долот, покрывая полностью потребности нефтегазовой отрасли по типоразмерам и эксплуатационным характеристикам. Примечательно, что зарубежные буровые долота не превосходят отечественные по качеству, однако существенно выше по цене (от 30% до 3 раз). Широкое присутствие зарубежных производителей буровых долот на российском рынке связано с их активной маркетинговой политикой.

Например, российская фирма «НьюТек Сервисез» и американская компания «Varel Int.» объявили о создании совместного предприятия (на условиях «50–50»), специализирующегося на производстве, сборке и ремонте буровых долот с поликристаллическим алмазным вооружением (долота PDC) для рынков России, СНГ и дальнего зарубежья. Планируется построить новый завод в г. Кургане, где будет производиться продукция под маркой «Varel». Это будет первый и единственный завод в России по производству современных западных долот. В частности, одним из условий контракта будут ежегодные отчисления из прибыли на НИОКР «Varel Int.».

Топ-менеджеры иностранных фирм-производителей породоразрушающего инструмента считают российский рынок одним из самых

перспективных и выделяют его в приоритетное направление экспансии. Зарубежные компании проводят агрессивную конкурентную политику, направленную на создание региональных сервисных центров и привлечение высококвалифицированных специалистов из отечественных компаний путем обеспечения более выгодных условий труда.

9.3. Инновационные технические решения при бурении в зонах с осложнениями

В период 2000–2015 гг., называемый периодом остаточных запасов «легкой» нефти, разработка нефтяных месторождений в России в основном основывалась на заводнении и уплотнении сетки вертикальных скважин. Данное обстоятельство серьезно затормозило развитие новых технологий разработки месторождений и соответствующих им технологий бурения и обустройства скважин современной, более сложной конструкции.

При переходе российских компаний к разработке сложных по геологии нетрадиционных запасов нефти и газа сформировавшийся разрыв между отечественными и зарубежными технологиями оказался настолько существенным, что для его ликвидации необходимы дополнительные ресурсы.

Бурение в зонах с осложнениями увеличивает стоимость строительства скважины в среднем на 10–20%, что обуславливает необходимость поиска и совершенствования технических решений по снижению степени риска в процессе бурения.

Исторически к решению проблемы осложнений в процессе бурения применялся традиционный подход в виде закачек цемента. К числу других стандартных решений также относятся установка цементных мостов и забуривание бокового ствола из скважины.

Вместе с тем в настоящее время все большее распространение получают экономически эффективные и надежные инженерно-технические решения:

- бурение обсадными трубами (бурение на обсадной колонне);
- контроль давления в процессе бурения;
- бурение с использованием расширяемых систем.

Бурение обсадными трубами. У швейцарской компании «Weatherford International» (до февраля 2009 г. принадлежавшей США) и американской компании «Tesco Corp.» имеется практический опыт бурения обсадными трубами (бурения на обсадной колонне).

Технологии бурения обсадными трубами устраняют необходимость выполнения спускоподъемных операций (СПО) и упрощают конструкцию скважины, уменьшая диаметр кондуктора, а также сокращая потребность в использовании обсадной колонны или хвостовика.

Как известно, СПО бурильных труб вызывают перепады давления и эффект свабирования (поршневания) в стволе скважины. Перепады давления могут привести к потере циркуляции из-за разрыва проницаемых или трещиноватых пластов. Снижаемое с помощью свабирования давление в стволе скважины может затянуть пластовые жидкости в ствол скважины и вызвать неустойчивость ствола. Обе эти проблемы могут потребовать значительных затрат времени и финансовых средств.

Новая концепция бурения обсадными трубами (технология DwC¹) компании «Weatherford Int.» предполагает использование бурового башмака (DrillShoe, специального долота или буровой головки), который устанавливается прямо на обсадную трубу. В этом способе бурения вместо бурильной колонны используется обсадная колонна, которая при помощи специального устройства крепится к верхнему силовому приводу (ВСП). После разбуривания до проектной глубины колонна не извлекается. Затем производится циркуляция и осуществляется крепление скважины методом прямого цементирования. Буровой башмак (т. е. долото для бурения на обсадной колонне) не может быть заменен и после окончания бурения интервала остается на забое, а при переходе на меньший диаметр – разбуривается. Существуют также буровые башмаки, имеющие форму лепестка и способные раскрываться под давлением.

В дополнение к системе бурения обсадными трубами DwC «Weatherford Int.» также предлагает сопутствующий ряд инструментов и услуг, например систему бурения хвостовиком DwL², которая обеспечивает высокую степень надежности при бурении в проблемных зонах. Бурение хвостовиком DwL – очень эффективный способ прохождения проблемных интервалов, включающих в себя зоны с повышенной кавернозностью, набуханием или подвижностью пород.

У компании «Tesco Corp.» под понятием и торговой маркой Casing Drilling скрываются две существенно различающиеся технологии.

¹ DwC – Drilling with Casing = бурение обсадной трубой.

² DwL – Drilling with Liner = бурение хвостовиком.

• Level II – бурение неизвлекаемым разбуриваемым долотом, жестко крепящимся на обсадной колонне, применяется для проходки интервалов под верхние вертикальные или с небольшой кривизной секции с большими диаметрами: кондуктор и техническая (промежуточная) обсадная колонна (обычно до 1500 м). Данный способ бурения похож на технологию фирмы «Weatherford Int.» (т. е. башмак-долото прикрепляется к колонне, бурится интервал, затем разбуривается долото и далее проводится бурение меньшим диаметром).

• Level III – бурение извлекаемой компоновкой применяется для проходки наклонно направленных, включая горизонтальные, участков под эксплуатационную колонну, вплоть до проектного забоя скважины. Такая компоновка может оснащаться забойным двигателем, забойными телеметрическими системами и др.

В частности, в Омане по технологии Level III была пробурена наклонно направленная скважина глубиной по стволу 4000 м. Срок строительства скважины оказался на 26 сут меньше проектного и на 52 сут меньше, чем у соседней скважины аналогичной конструкции, пробуренной по традиционной технологии.

В России пока применяется только Level II. В частности, технология компании «Weatherford Int.» применялась в Новом Уренгое на Самбургском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ). Компания «Tesco Corp.» также работает в России.

Применение бурения данного типа может снизить риск, возникающий во время подъема бурильной колонны из ствола скважины с прохождением проблемного участка перед спуском обсадной колонны. Очень часто на этом этапе происходят значительные потери и прихват колонны труб, что приводит к удорожанию всего процесса бурения.

Технология бурения обсадной колонной применяется в интервалах, где участки, находящиеся под давлением, залегают над более пористыми структурами и плотность жидкости превосходит пластовые давления до уровня разрыва породы.

Контроль давления в процессе бурения. Управление давлением в процессе бурения – усовершенствованная форма первичного управления скважиной, созданная для предотвращения простоев и затрат непродуктивного времени, присущих традиционным способам бурения.

При традиционном бурении давление на забое определяется исключительно суммой плотности бурового раствора, гидростатического давления и динамического компонента трения. В данном случае

единственный метод воздействия на давление на забое без остановки буровых работ и изменения базовой плотности раствора – это включение или отключение буровых насосов.

Компания «Weatherford Int.» ввела в оборот термин «бурение с управляемым давлением» (MPD)¹ для описания ситуаций, когда приток из скважины специально не провоцируется во время бурения, но профиль давления в скважине точно регулируется при помощи закрытой и находящейся под высоким давлением системы рециркуляции бурового раствора. Не полагаясь на одну лишь массу бурового раствора, системы бурения с управляемым давлением регулируют давление в скважине с помощью вращающейся головки превентора² с системой наземного контроля давления бурового раствора, возвращающегося из затрубного пространства.

Значительное количество проблем, связанных с бурением (а соответственно и со временем работы без углубления забоя), с которыми сегодня сталкивается отрасль морского бурения, может быть в той или иной степени решено посредством выстраивания более точной технологии управления давлением в стволе скважины. Таким образом, основным преимуществом данной технологии является фактически полное отсутствие длительных прерываний буровых работ.

Бурение при контроле давления получило распространение в программах наземного бурения США начиная с середины 60-х гг. XX в. Относительно недавно компания «Weatherford Int.» разработала модификацию этой технологии для бурения скважин на море.

Бурение с использованием расширяемых систем. Расширяемые бурильные трубы используются на протяжении многих лет. Существует несколько вариантов расширяемых систем, а также ряд вариантов применения каждой из них.

Первый патент на несложную расширяемую систему был оформлен еще в 1865 г. Затем в 1934 г. Б. Э. Прайс (Price) предложил использование расширяемой системы непосредственно для снижения риска при бурении. В этой системе использовалась профильная труба, т. е. обсадная труба с профилем в форме звезды, что дает возможность как бурения на ней, так и последующего расширения для

¹ MPD – Managed Pressure Drilling = бурение с управляемым давлением.

² *Превентор* (от лат. *praevēnio* – предупреждаю) – устройство для герметизации устья буримой скважины; служит для предотвращения открытого фонтанирования нефти или газа.

укрепления и изоляции стенки скважины. В 1993 г. компания «Royal Dutch Shell» оформила патент, который является основой для большинства современных расширяемых систем.

В настоящее время мировым лидером и наиболее опытным поставщиком расширяющегося оборудования для заканчивания скважин с использованием прочных щелевых и раздвижных изделий является компания «Weatherford Int.». Данной компанией разработаны расширители под общим названием MetalSkin (металлическая оболочка, пластырь).

Системы расширяемых труб предлагаются в разных классификациях, и выбор какой-либо из них зависит от индивидуальных особенностей каждой конкретной скважины.

Устройства MetalSkin могут быть различных модификаций, например:

- для обсадных колонн с целью сохранения диаметра ствола скважины при ремонте повреждений обсадной колонны;
- с системой перекрывателя (для отсечения водопритоков или поддержки неустойчивого ствола скважины) для открытого ствола скважины с возможностью дальнейшего наращивания длины колонны с незначительной потерей диаметра или совсем без потери диаметра (используются в качестве буровых, а не эксплуатационных пластырей).

При анализе проблем буровиков, сталкивающихся с осложнениями при бурении, были выявлены две потребности: необходимость системы для расширения, позволяющей им наращивать обсадную колонну без потерь в диаметре ствола скважины, и желание исключить использование цемента.

Компания «Weatherford Int.» разработала систему для расширения непосредственно в контакте со стенкой скважины с использованием эластомеров. Расширяя обсадную колонну, эластомеры прижимаются к породе, тем самым создавая уплотнение. В качестве альтернативы эта система может цементироваться.

Расширяемые бурильные трубы MetalSkin для открытых стволов подтвердили свою высокую эффективность, обеспечивая возможность бурения скважин, которые ранее считались неподдающимися бурению. Их можно использовать для наращивания нестандартной или расширяемой обсадной колонны в тех случаях, когда возникает необходимость в зарезке бокового ствола или опасность полной потери скважины.

При возникновении осложнений в процессе бурения можно применять трубы MetalSkin для открытых стволов с целью замедления или сведения к минимуму быстрого сужения или отклонения скважины. Использование данного оборудования позволяет оператору заканчивать строительство скважины, не меняя ее диаметр, что, в свою очередь, способствует экономически успешной эксплуатации скважины.

Таким образом, существует множество вариантов для снижения степени риска в процессе бурения: использование растворов и добавок, стандартных хвостовиков, бурение обсадными трубами, контроль давления в процессе бурения и применение расширяемых бурильных труб.

9.4. Колтюбинговые технологии. Бурение на депрессии

Развитие колтюбинговых¹ технологий находит все большее применение в промышленности. В практике нефте- и газодобычи эти технологии применяются для выполнения различных операций в процессе разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, в том числе для бурения.

Технологии гибких труб с начала 60-х гг. XX в. успешно применяются в нефтегазовом секторе ведущих мировых нефте- и газодобывающих компаний, т. е. востребованы на рынке сервисных услуг, развиваясь с темпом роста до 20% в год.

Вполне естественно, что сначала в бывшем СССР, а затем и в России данные технологии, как наиболее перспективные и потенциально эффективные, завоевали свое место в отечественной нефтегазовой отрасли. Так, на газовых месторождениях, расположенных на севере Тюменской области, ремонтные работы с помощью гибких труб (ГТ) уже составляют до 40% от общего числа ремонтных работ на скважинах. В нефтедобывающем секторе Западной Сибири, например в ОАО «Сургутнефтегаз», с начала применения технологий ГТ в 1994 г. уже выполнено более 18 тысяч ремонтов. Здесь освоено более 26 видов ремонтов и операций, из которых наиболее востребованными являются (в порядке убывания):

- обработка призабойной зоны пласта;
- исследование скважин;
- восстановление циркуляции;

¹ Колтюбинговые технологии (от англ. coiled tubing (coil tubing) – труба, намотанная на катушку) – использование в буровом деле длинномерных гибких безмуфтовых труб.

- ловильные работы;
- ремонтно-изоляционные работы;
- геофизические исследования на ГТ с кабелем.

Небольшой, но устойчивый объем ремонтов связан с переходом на другие горизонты и пласты, с переводом скважин в систему поддержания пластового давления (ППД), с внедрением пакеров¹, с ремонтом эксплуатационных колонн. Прогрессирует направление, связанное с бурением, а также с резкой и строительством боковых стволов из действующих или законсервированных скважин. Востребованы гибкие трубы также при ликвидации скважин. Несмотря на определенный количественный спад за последнее время по основным видам капитального ремонта скважин (КРС), здесь накоплен большой фонд действующих горизонтальных скважин, который «стареет» и где технологии ГТ просто необходимы.

По мнению члена-корреспондента РАЕН Г. П. Зозули, сегодня необходимым и востребованным является развитие направления работ, связанных с бурением боковых горизонтальных стволов с помощью «гибридных установок» ГТ, с ремонтно-буровыми работами и ремонтно-изоляционными работами в стволе действующих горизонтальных и горизонтально-разветвленных скважин. Сегодня большинство технологий ремонтных работ в скважинах становятся комплексными, совмещаются с различными видами обработок и воздействиями на пласт и насыщающие его флюиды, когда возникает необходимость изолировать инструмент и трубы на определенном интервале пласта с помощью пакеров (одного или нескольких), пласты и стволы «отсекать» с помощью мостовых пробок и т. д.

При разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений колтюбинговые технологии позволяют производить ремонт нефтяных и газовых скважин под давлением без нарушения (остановки) их режима эксплуатации (проводить ремонтные и технологические операции без глушения скважин и подъема колонны насосно-компрессорных труб). Помимо этого, применяются колтюбинговые технологические операции в нагнетательных скважинах, при бурильных работах (от бурения гибкими трубами дополнительных горизонтальных стволов из колонны старой скважины до полного технологического цикла построения скважин), при освоении скважин, в сильно

¹ *Пакер* (англ. packer – упаковщик) – устройство для разобщения пластов в скважине при их раздельной эксплуатации.

искривленных и горизонтальных участках ствола скважины и других работах.

При этом проведение работ колтюбинговыми установками уменьшает общие затраты на ремонт, сокращает простой скважин, дает возможность проводить многие технологические операции, недоступные традиционными методами, и, в конечном итоге, увеличивает добычу нефти и газа. Кроме того, применение колтюбинговых установок значительно снижает риск загрязнения окружающей среды в связи с использованием длинномерных безмуфтовых труб.

На современном этапе непрерывная труба, имеющая очень малую жесткость, не позволяет бурить скважины больших диаметров, т. е. применять компоновки со значительными реактивными моментами.

Широкоизвестные преимущества, предоставляемые технологией колтюбинга, приобретают еще большую ценность при бурении микроскважин (диаметром менее 12 см).

Мобильные буровые колтюбинговые установки, оборудованные миниатюрными буровыми инструментами, способны снизить стоимость и увеличить скорость бурения, а также значительно уменьшить негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с обычными роторными установками.

Результаты анализа, проведенного Департаментом энергетики США, показывают, что технология бурения микроскважин дает потенциальную возможность снизить стоимость бурения более чем на 50%.

С точки зрения защиты окружающей среды преимущества колтюбинговых технологий заключаются в малом весе буровых установок и значительном уменьшении объема шлама, получаемого в процессе бурения.

Ежегодно более 800 скважин в США бурится с использованием непрерывных труб, и с развитием технологий колтюбинга эта цифра может увеличиться.

Среди преимуществ использования колтюбинга для бурения микроскважин можно выделить следующие:

- бурение занимает в три раза меньшую площадь и требует в три раза меньше перевозимого оборудования по сравнению с роторным бурением;
- бурение скважин меньшего диаметра уменьшает количество обломков породы и объем необходимого бурового раствора, а также затраты на удаление шлама;

- бурение дешевых скважин дает возможность оптимально располагать выделенные наблюдательные скважины, не нарушая добычу;
- бурение боковых стволов и отводов из существующих скважин помогает расширить контакт с коллектором и увеличить объем добычи.

В настоящее время некоторые нефтегазовые компании России стали уделять пристальное внимание вопросам применения колтюбинговых установок для ремонта и заканчивания скважин. Например, ОАО «Сургутнефтегаз» успешно применяет их в капитальном ремонте скважин. По количеству установок непрерывных труб страны бывшего СССР, по мнению западных экспертов, уступают только Северной Америке. В ближайшие годы в России планируется создание сервисных компаний, которые за короткий срок разработают собственные технологии и технические средства для бурения системами непрерывных труб.

В последние годы практически все нефтяные компании России большое внимание уделяют качеству строительства скважин и вскрытия продуктивных пластов. Для этого широко привлекают новые прогрессивные технологии бурения. Одной из таких технологий является бурение на равновесии или при депрессии на пласты. Вскрытие пластов в условиях депрессии создает предпосылки для сохранения естественного состояния вскрываемых продуктивных пород.

Традиционно бурение осуществляется на репрессии, когда давление бурового раствора (БР) в скважине выше пластового давления [17]. Следствием этого является проникновение БР в пласты и закупоривание пород-коллекторов. Бурение в условиях *депрессии*, когда давление БР меньше пластового, наоборот, вызывает приток пластового флюида в скважину, сохраняя при этом естественные коллекторские свойства пород. Режим бурения на депрессии также является наиболее оптимальным для проведения геолого-геохимических исследований.

Таким образом, если вскрытие пласта произошло на депрессии, т. е. давление столба промывочной жидкости ниже пластового давления, происходит приток пластового флюида в скважину. При этом промывочная жидкость и выбуренная порода в приствольную зону пласта проникать не будут. Возрастает механическая скорость бурения, так как сколотые на забое частицы породы не перемалываются повторно, а выносятся. Кроме того, они не засоряют приствольную зону, так как имеют более крупные размеры и движение жидкости со шламом осуществляется в направлении от стенок ствола к центру

потока. Результат такого бурения – заведомо сохраненные коллекторские свойства пласта, значительно более высокая продуктивность, что в конечном итоге сказывается на дебите отдельных скважин, коэффициенте нефтеотдачи и экономических показателях разработки.

При бурении на депрессии акцент делается на защите пластов от повреждений – особенно в истощенных пластах с низким давлением. При провоцировании притока из пласта во время бурения предотвращается появление скин-эффекта¹ и соответствующее отрицательное воздействие на производительность скважины и отдачу пласта. Пониженное давление в стволе скважины также увеличивает скорость проходки, удлиняет срок службы долота и предотвращает потерю бурового раствора в породу, сводя к минимуму вероятность прихвата под действием перепада давлений. Общим результатом при бурении на депрессии будет увеличение производительности скважины и отдачи пласта.

Стоимость такого вскрытия продуктивных отложений значительно выше, так как требуется специальное оборудование устья скважин, закрытые системы очистки, значительно более высокая культура производства. Однако вскрытие мощных продуктивных отложений, а также горизонтальное бурение (на депрессии) может окупиться уже за счет повышения показателей бурения. Но основной эффект достигается за счет улучшения эксплуатационных характеристик скважин. Например, результаты вскрытия продуктивных отложений на депрессии ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» показывают, что дебиты скважин возрастают в среднем в 3–4 раза.

Одним из наиболее технологичных способов бурения, обеспечивающих вскрытие продуктивных пластов на депрессии, является применение колтюбинга. Колтюбинговый способ бурения, основанный на использовании безмуфтовых ГТ, находит широкое развитие при бурении новых скважин и новых стволов из старых скважин. Высокая техническая и экономическая эффективность достигается при бурении наклонных и горизонтальных боковых стволов из существующих скважин. Особенно эффективным колтюбинг может оказаться на месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки, для реанимирования старого фонда скважин путем зарезки боковых стволов.

¹ *Скин-эффект* (от англ. skin – кожа, оболочка), (поверхностный эффект) – неоднородное распределение флюидов в продуктивном пласте (ухудшение коллекторских свойств).

Преимущество бурения на депрессии с использованием непрерывных труб заключается в том, что процесс углубления происходит непрерывно (без наращиваний бурильной колонны), тогда как при бурении на депрессии с колонной составных труб при наращиваниях происходят существенные изменения давления вплоть до репрессии.

При помощи технологий бурения безмуфтовыми гибкими трубами можно также бурить многоствольные скважины. Первый проект компании «ВР» по колтюбинговому бурению многоствольных горизонтальных боковых отводов, предпринятый на Аляске в 2001 г., обеспечил высокую начальную скорость добычи в 4000 баррелей нефти в сутки при экономии более 2 млн долл. в год. В других проектах, где месторождения нефти разрабатывались четырьмя многоствольными боковыми отводами, себестоимость разработки составила 2 долл. за баррель.

Главной целью проектов «ВР» было получение низкой стоимости доступа к нефти в месторождениях малой глубины на Северном склоне Аляски. Горизонтальные боковые стволы имеют большую продуктивность (важны для получения необходимых темпов добычи), но для непрерывного снижения стоимости бурения необходимы инновационные мышление и технология. Колтюбинговое бурение горизонтальных стволов обеспечило снижение стоимости до 33% по сравнению с роторным бурением.

Более низкая стоимость колтюбингового бурения может в потенциале оказать большое влияние на низкодебитные месторождения вязкой нефти по всему миру, обеспечив жизнеспособность старых, экономически неэффективных месторождений.

При использовании колтюбинговых технологий наблюдается увеличение безопасности персонала и резко снижается загрязнение окружающей среды.

Ниже перечислены ключевые моменты положительных сторон при колтюбинговом бурении:

- уменьшение трудоемкости работы на оборудовании;
- экономия бурового раствора (до 40%);
- экономия энергии;
- сокращение загрязнения окружающей среды.

Таким образом, следует отметить, что колтюбинговое бурение в перспективе будет востребовано для добычи трудноизвлекаемых и остаточных запасов углеводородов, в том числе тяжелых нефтей и природных битумов (см. п. 10.3).

Контрольные вопросы

1. Опишите основные стадии развития буровой отрасли в России.
2. Какие виды работ в мировой добыче углеводородов являются наиболее трудоемкими?
3. Какой смысл вкладывается в понятие сервисных услуг в бурении?
4. Укажите основные тенденции развития российского рынка бурового оборудования.
5. Дайте сравнительную характеристику новых перспективных конструкций буровых долот, укажите области их применения.
6. Перечислите негативные факторы при прохождении в процессе бурения «зон с осложнениями».
7. Назовите основные экономически выгодные технические решения проблем осложнений в процессе бурения.
8. В чем заключаются технологии бурения на обсадной колонне?
9. Каковы перспективы использования при бурении колтюбинговых технологий?
10. Охарактеризуйте основные особенности бурения на депрессии. Для проведения каких работ данный способ является оптимальным?

ГЛАВА 10

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Повышение нефтеотдачи пластов может считаться конечной целью большинства работ, проводимых при разработке и эксплуатации месторождений. С учетом того, что большая часть разрабатываемых на сегодняшний день российских месторождений нефти и газа находится на поздней стадии разработки, актуальность этой тематики с каждым годом лишь возрастает.

Общие перспективы развития добычи нефти в России определяются в основном следующими факторами:

- внутренним и внешним спросом на жидкое топливо;
- уровнем мировых цен на жидкое топливо;
- развитостью транспортной инфраструктуры;
- налоговыми условиями и научно-техническими достижениями в разведке и разработке месторождений;
- состоянием и качеством сырьевой базы.

В начале 2000-х гг. благодаря завершению формирования новых организационно-экономических условий работы отрасли, росту международных цен, массовому внедрению технологий повышения нефтеотдачи пластов при увеличении инвестиций в России происходило быстрое наращивание добычи нефти. Активное применение методов интенсификации добычи (гидроразрыв, горизонтальное бурение), особенно в 2000–2005 гг., в последующем стало приводить к замедлению роста добычи, а затем на ряде месторождений – к ее обвальному падению.

Фундаментальными причинами замедления роста в 2006–2007 гг. и падения в 2008 г. добычи нефти стали:

- истощение сырьевой базы и значительное обводнение на большинстве эксплуатируемых месторождений в традиционных районах нефтедобычи (Западная Сибирь, Волго-Урал, Северный Кавказ);
- недостаточные объемы геолого-разведочных работ и соответственно низкий уровень воспроизводства минерально-сырьевой базы;
- смещение сроков реализации проектов в новых районах добычи;
- отсутствие в последние годы достаточного количества состоявшихся аукционов по предоставлению прав на пользование недрами с

целью разведки и добычи углеводородов, в том числе на участки уже открытых месторождений.

В 2009–2011-х гг. в связи с началом реализации новых нефтегазодобывающих проектов, прежде всего в Восточной Сибири, Тимано-Печоре, на Сахалине, добыча нефти в России несколько увеличилась, при этом в конце 2010 г. суточная добыча нефти впервые за последние 20 лет возросла до 1,4 млн т.

Далее в период 2012–2016-х гг. наблюдался рост нефтедобычи, с небольшим замедлением в 2014 г.

В США около 12% нефти добываются с применением термических технологий, а в России, по мнению директора энергетического центра «Сколково» Г. В. Выгона, ничего подобного в промышленных масштабах не существует. Та добыча, которая есть сейчас, это в основном геолого-технические мероприятия, химическое воздействие на обрабатываемую зону и т. д. Все это не приводит к увеличению коэффициента извлечения нефти. Есть ряд пилотных проектов по разработке вязкой нефти, баженовской свиты и т. д. Но, чтобы эти проекты были успешны в рамках всей страны, чтобы их можно было широко распространить, необходимы определенные меры стимулирования развития технологий со стороны государства.

Еще одной проблемой при управлении отраслью, по мнению экспертов, является крайне низкое качество информации, которой оперируют органы государственной власти. По словам нефтедобытчиков, государство практически не знает о реальном уровне затрат, о запасах и об уровне добычи. Нефтедобывающие компании озабочены тем, что наличие некачественной информации может подтолкнуть государство к принятию неэффективных решений.

Учитывая зависимость социально-экономической ситуации в Российской Федерации от нефти, прогноз добычи нефти в нескольких вариантах присутствует в ЭС-2030, а прогноз цен на нефть является едва ли не ключевым показателем в прогнозах социально-экономического развития России. По мнению экспертов, в ближайшие 10 лет до 80% нефти будут добываться в местах ее традиционной добычи.

Согласно «Прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» от 05.11.2013 г. (разработаному Минэкономразвития России), в рамках *инновационного сценария* добыча нефти к 2020 г. стабилизируется. Выход новых крупных месторождений на проектную мощность на некоторое время приостановит тенденцию стабилизации, и в 2022 г.

возможно увеличение добычи нефти. Однако к 2030 г. добыча нефти немного снизится, что связано с переходом на позднюю стадию эксплуатации основных месторождений, введенных в 2016–2018-х гг.

При *форсированном сценарии* в случае более активного внедрения новых технологий и стимулирующих мер, удешевляющих процесс добычи, возможно повышение эффективности добычи нефти на шельфовых и трудноизвлекаемых месторождениях.

По *сценарию с низкими ценами на нефть* в условиях снижения мировой конъюнктуры добыча нефти будет характеризоваться интенсивным снижением объемов добычи на старых выработанных месторождениях и недостаточным освоением новых месторождений. Объем добычи нефти может существенно сократиться.

По *сценарию с высокими ценами на нефть* добыча нефти будет осуществляться с учетом интенсивного освоения действующих и новых месторождений за счет повышения эффективности их использования. Предполагается ввод в разработку ранее нерентабельных низкодебитных участков недр, наращивание добычи на шельфовых месторождениях и активное освоение залежей баженовской свиты.

10.1. Методы повышения нефте- и газоотдачи

Основными современными проблемами топливно-энергетической отрасли России, как и большинства добывающих стран мира, являются:

- общее снижение запасов углеводородного сырья;
- трудности извлечения запасов из энергетически истощенных и высокообводненных пластов, также из залежей сложного геологического строения с неоднородными коллекторскими свойствами и с высоковязкой нефтью;
- вовлечение в разработку ранее законсервированных месторождений с трудноизвлекаемыми запасами.

Более половины из углеводородных запасов являются трудно добываемыми (запасы энергетически истощенных и высокообводненных залежей, залежей сложного геологического строения с неоднородными коллекторскими свойствами и с высоковязкой нефтью). Высокая неоднородность коллекторских свойств пластов приводит к неравномерному извлечению из них нефти и снижению коэффициента извлечения нефти (КИН).

В настоящее время для повышения нефтеотдачи применяются следующие способы [23]:

- закачка в пласт воды, обработанной поверхностно-активными веществами (ПАВ);

- вытеснение нефти растворами полимеров;
- закачка в пласт уголекислоты;
- нагнетание в пласт теплоносителя;
- внутрипластовое горение;
- вытеснение нефти из пласта растворителями.

Для повышения газоотдачи применяют кислотные обработки скважин, гидроразрыв пласта (ГРП), торпедирование скважин, а также отбор газа из скважин под вакуумом.

Для повышения фильтрационной способности призабойных зон продуктивных пластов применяют механические, химические и физические методы.

К *механическим методам* относятся гидравлический разрыв пласта (производится путем закачки в него под давлением до 60 МПа нефти, пресной или минерализованной воды, нефтепродуктов и других жидкостей), гидropескоструйная перфорация (с целью создания отверстий в стенках эксплуатационной колонны, цементном камне и горной породе для сообщения продуктивного пласта со стволом скважины) и торпедирование скважин (посредством взрыва).

В настоящее время гидроразрыв пласта стал наиболее универсальным и широко распространенным методом интенсификации добычи нефти как из низкопроницаемых коллекторов, так и на традиционных месторождениях.

В последние годы в мире в области ГРП наметился ряд технологических прорывов в области совершенствования сланцевых технологий нефтедобычи, среди которых [34]:

- существенное повышение эффективности гидроразрыва на основе интеграции процессов ускоренной обработки больших массивов геофизической информации (с помощью микросейсмического анализа) и моделирования изменений в пластах в режиме реального времени;

- безводные технологии разрыва пласта, главным образом на базе закачки газов высокого давления.

Технологическое развитие в сфере ГРП связано с повышением производительности скважин путем:

- увеличения горизонтального участка;
- наращивания количества стадий ГРП (в 2014 г. в США был преодолен уровень в 100 стадий ГРП на одну скважину);

- увеличение объема закачки жидкости (технология «супер-ГРП», обеспечивающаякратно больший объем закачки, чем при обычном ГРП).

Однако эксперты отмечают, что практически все перечисленные технологии на текущем этапе являются сравнительно дорогостоящими и могут получить распространение лишь при достаточно высоких ценах на углеводороды.

К *химическим методам* воздействия на призабойную зону относятся обработки кислотами (HCl , HF , CH_3COOH , H_2SO_4 и H_2CO_3), вытеснение нефти растворами ПАВ, растворами полимеров и другими загущающими агентами, пенными системами, щелочными растворами, композициями химических реагентов, а также мицеллярное заводнение и микробиологическое воздействие.

Существующие методы восстановления и повышения фильтрационно-емкостных характеристик призабойных зон продуктивных пластов: гидроразрыв пласта, воздействие на продуктивные пласты химическими реагентами, взрывные технологии, наряду с высокой эффективностью, имеют целый ряд существенных недостатков. Эти недостатки в основном обусловлены сложностью геологического строения и режимами разработки залежей нефти и газа в Российской Федерации и приводят к резкому снижению эффективности добычи в связи с выборочной обводненностью продуктивных пластов, увеличением неоднородности пласта и образованием застойных и слабо дренированных нефтяных зон.

К *физическим методам* воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП) относятся тепловые обработки и волновые (вибрационные, ударно-волновые) воздействия, а также их сочетания (комплексные технологии).

Целью *тепловых обработок* является удаление парафина и асфальтосмолистых веществ. Для этого применяют горячую нефть, горячую воду, пар, электронагреватели, термоакустическое воздействие, а также высокочастотную электромагнитоакустическую обработку.

При *вибровоздействии* (или *ударно-волновом воздействии*) ПЗП пласта подвергается обработке пульсирующим давлением. Благодаря наличию жидкости в порах породы обрабатываемого пласта по нему распространяются как искусственно создаваемые колебания, так и отраженные волны. Путем подбора частоты колебания давления можно добиться резонанса обоих видов волн, в результате чего воз-

никнут нарушения в пористой среде, т. е. увеличится проницаемость пласта (см. п. 10.4).

Методы повышения пластового давления и увеличения проницаемости пласта позволяют главным образом сокращать сроки разработки залежей за счет более интенсивных темпов отбора нефти и газа. Однако необходимо добиваться и наиболее полного извлечения нефти и газа из недр. Это достигается применением методов повышения нефте- и газоотдачи пластов.

Из группы физических методов наиболее широкое применение находят методы создания *многократных депрессий на пласт* (до 13% от всех видов обработки призабойной зоны – ОПЗ), позволяющие восстанавливать и увеличивать продуктивность скважин за счет эффективной очистки ПЗП и улучшения условий фильтрации жидкости.

Таким образом, наибольший практический интерес представляют комплексные технологии, включающие сочетание, например, физико-химических, тепловых и гидродинамических факторов воздействия.

По другим классификациям, в частности согласно терминологии, принятой в АО «ВНИИнефть им. акад. А. П. Крылова», методы дополнительного увеличения КИН по сравнению с заводнением (а для вязких нефтей по сравнению с режимом истощения) называются *третичными*. К ним относятся – тепловые, газовые и химические методы воздействия на ПЗП.

Внимание к проблеме более полного извлечения нефти из разрабатываемых и вновь вводимых месторождений не ослабевает уже несколько десятилетий как у нас в стране, так и за рубежом. Именно поэтому средняя нефтеотдача пластов в развитых нефтедобывающих странах медленно, но неуклонно растет. Так, например, сейчас средняя проектная нефтеотдача в мире составляет около 30%, а по месторождениям США – около 39%. По мнению многих специалистов, в обозримом будущем величина нефтеотдачи вполне реальной может быть в 50–60% и даже 70%.

Согласно исследованиям, повышение КИН на 1% на разрабатываемых месторождениях страны равносильно открытию нового нефтяного месторождения с объемом извлекаемых запасов около 100–150 млн т.

В нашей стране до начала 70-х гг. XX в. основные решения по увеличению нефтеотдачи были связаны с расширением области применения и совершенствованием систем метода заводнения нефтяных пластов. Этот метод, активно внедряющийся на месторождениях

страны с начала 40-х гг. XX в., позволял существенно повысить эффективность нефтеизвлечения по сравнению с естественными режимами разработки пластов.

Однако уже к концу 60-х гг. XX в. происходит некоторая переоценка возможных достигаемых коэффициентов нефтеотдачи (в настоящее время принято называть коэффициент извлечения нефти – КИН) за счет обычного заводнения, особенно в осложненных геологических условиях. Уже к 1970 г. средний проектный коэффициент нефтеотдачи по стране снизился с более чем 50% в начале 60-х гг. до 45%, наблюдалась устойчивая тенденция его дальнейшего снижения. В 2006 г. коэффициент нефтеотдачи был на уровне 37%, в 2009 г. его значение составляло 38%.

В последние годы КИН в России неуклонно снижается. Так, на 01.01.2013 г. по России в целом средний КИН составлял 34%, в том числе 38% для запасов категории ABC_1 и 24,4% для категории C_2 . По Северо-Западному федеральному округу средний КИН составлял 34,8% (соответственно 36,4 и 29,9% для запасов категории ABC_1 и категории C_2)¹.

Достижимые КИН варьируются от 0,09 до 0,75 (9–75%); средний КИН в мире составляет около 0,3–0,35. Лучшие мировые технологии извлечения запасов и полезного использования углеводородов более чем вдвое превышают средние российские аналоги. Так, в Норвегии коэффициент нефтеизвлечения на месторождениях в Северном море приближается к 70%.

В 1976 г. в нашей стране было принято специальное постановление «О мерах по наиболее полному извлечению нефти из недр». Постановление определяло объемы дополнительной добычи нефти за счет применения третичных методов увеличения нефтеотдачи, а также объемы выпуска в стране необходимых для этого материально-технических средств (специальной техники и химреагентов). Было также предусмотрено экономическое стимулирование осуществления нефтедобывающими предприятиями опытно-промышленных работ. Большое значение имела активная координация научно-исследовательских работ среди отраслевых и академических институтов страны на основе федеральных и отраслевых научно-технических программ.

¹ Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 2. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/6/23_2014.pdf (дата обращения 05.04.2017).

По данным на 1991 г., в СССР для добычи нефти использовались следующие методы увеличения нефтеотдачи (МУН): тепловые – 22%; газовые – 10%; химические – 68%.

Используемые в России в последние годы в проектных документах новые технологии относились в основном к гидродинамическим методам воздействия, повышающим эффективность процесса заводнения. Расширение области применения этих методов во многом было связано с относительной простотой технологий их реализации и имеющимся опытом использования. В число гидродинамических методов увеличения нефтеотдачи включаются:

- циклическое заводнение;
- системная технология реализации ОПЗ;
- горизонтальные скважины;
- гидроразрыв пласта в системе скважин.

Эти методы, оказывая преимущественное воздействие на интенсификацию добычи, могут обеспечить дополнительное увеличение нефтеотдачи пластов только в определенных геолого-физических условиях, при следовании соответствующим технологиям. Годовая добыча за счет этих методов оценивается в 50–60 млн т. Широко практикуется разделение пластов, уплотнение сетки скважин, регулирование фильтрационных потоков.

Объемы применения третичных методов увеличения нефтеотдачи хотя и увеличились в последние годы, но остаются пока незначительными. Добыча за счет этих методов оценивается на уровне 1 млн т/год.

Вместе с тем, как показывает отечественный и зарубежный опыт, добиться значительного повышения полноты извлечения нефти из пластов можно на основе известных сейчас третичных методов увеличения нефтеотдачи и неизвестных еще принципиально новых методов нефтеизвлечения. Так, в мире годовая добыча за счет применения третичных методов оценивается в пределах в 120–130 млн т (методами теплового воздействия на пласты – 42%, физико-химическим – 31% и газовым методом – 27%).

В США на начало 2010 г. было 194 проекта по повышению нефтеотдачи. Их число с 1998 г. несколько уменьшилось, но при этом произошло их укрупнение. Общая добыча нефти за счет этих методов составляла 34,4 млн т/год (что меньше, чем в 1998 г., – 39,3 млн т/год). С помощью тепловых методов добыто 44%, газовым воздействием и другими методами – 56%, в том числе химическими – всего 0,03%. Доля добычи нефти за счет третичных методов в общей добыче в США в 2010 г. составляла около 12%.

В последнее время в нашей стране появился ряд обнадеживающих факторов для возможности ускоренного развития рассматриваемой проблемы. Озабоченность состоянием полноты нефтеизвлечения на месторождениях страны высказана руководством страны, Минприроды и Минэнерго России и другими государственными органами, проводятся мероприятия и принимаются решения по проблеме увеличения нефтеотдачи трудноизвлекаемых запасов. Наблюдается и некоторое повышение активности в этой области нефтяных компаний, в первую очередь таких, как ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»», АО «РИТЭК», ПАО «Татнефть», которые подготовили несколько новых проектных работ по применению третичных методов.

Активизация государственных органов и нефтяных компаний по решению данной проблемы положительно отразится и на развитии научных исследований. Оценки свидетельствуют, что при благоприятных условиях к 2020 г. извлекаемые запасы страны за счет промышленного применения методов увеличения нефтеотдачи могут быть приращены на 2–4 млрд т с годовой дополнительной добычей в 30–60 млн т.

В заключение следует остановиться на полимерно-гелевой системе (ПГС) «Темпоскрин», разработанной учеными Института проблем нефти и газа РАН. Она была апробирована на нефтяных месторождениях России, Казахстана и Азербайджана. Эта саморегулирующаяся интеллектуальная система избирательно воздействует на высокопроницаемые обводненные пласты, резко снижая их проницаемость, обеспечивает выравнивание профилей приемистости скважин и пласта, изменяет фильтрационные потоки, увеличивая охват пласта заводнением, что приводит к увеличению добычи нефти и повышению нефтеотдачи.

Особенность ПГС «Темпоскрин» заключается в сочетании двух способов введения гелей: непосредственной закачки гелей в пласт и синтеза гелей в пласте. Благодаря дисперсной структуре геля «Темпоскрин», состоящего из множества частиц размером от 0,2 до 4,0 мм, он обладает высокой подвижностью и проникающей способностью по отношению к трещинам и крупным порам. Однако гель не проникает в тонкопористые, низкопроницаемые и гидрофобные участки пласта вследствие того, что размеры гелевых частиц больше, чем размеры пор таких пород. Этим объясняются селективные свойства геля «Темпоскрин». Кроме того, гелевые частицы обладают высокими вязкоупругими и флокулирующими свойствами.

Модернизированная система «Темпоскрин-Люкс», являющаяся третьим поколением технологии «Темпоскрин», представляет собой инновационную технологию ПГС физико-химического воздействия, предназначенную для получения дополнительной добычи нефти и снижения обводненности добываемой продукции на месторождениях сложного геологического строения с неоднородными песчано-глинистыми коллекторами, эксплуатируемых с применением методов заводнения на поздней стадии разработки с высоким процентом обводненности добываемой продукции (от 40 до 98%).

10.2. Перспективы развития комплексной химизации месторождений углеводородов

В настоящий момент в Российской Федерации более чем 30 компаниями производится от 100 до 150 тыс. т химических реагентов в год. На месторождениях нефти и газа применяется от трех до 15 наименований продукции в зависимости от назначения.

В 2006 г. АО «Опытный завод Нефтехим» совместно с российско-британской нефтяной компанией «ТНК-ВР» (с 2013 г. вошла в состав ПАО «НК «Роснефть»») приступил к реализации проекта комплексной химизации. В 2007 г. состоялось внедрение системы управления химизацией (СУХ) в компании «ТНК-ВР». В 2008–2011 гг. произошло расширение проектов комплексной химизации в компаниях «ТНК-ВР», ПАО «НК «Роснефть»», ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»».

В проектах комплексной химизации месторождений заказчик – нефтяная компания – работает с одним подрядчиком по целому комплексу вопросов, что упрощает управление и экономит время. Подрядчик несет финансовую ответственность за свою деятельность, это мотивирует его на максимальную эффективность своей работы во избежание штрафных санкций. Система управления стимулирует подрядчика на достижение конечного технологического эффекта (снижение аварийности, увеличение наработки и т. п.), а не эффекта от каждой отдельной операции. В отличие от поставки химических реагентов через тендер, в СУХ заказчик имеет возможность варьировать номенклатурой, объемами реагентов и услуг, и высвобождающиеся средства можно использовать для решения дополнительных задач в рамках проекта по улучшению его эффективности в целом. Подрядчик имеет возможность внедрять по ходу проекта более эффективные продукты.

В частности, за счет правильного подбора и применения антикоррозионных реагентов в период 2006–2010 гг. снижение аварийно-

сти трубопроводов в компании «ТНК-ВР» по причине внутренней коррозии составило от 65 до 100%, а снижение аварийности от внутрискважинного оборудования в результате коррозии – 85–95%. Соответственно в два и более раз снизились затраты на замену трубопроводов.

Образование асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в скважинном оборудовании и призабойной зоне продуктивного пласта является одним из факторов, снижающих эффективность эксплуатации скважин на нефтяных месторождениях.

Особую актуальность проблема борьбы с АСПО приобретает сегодня. Это связано с вступлением большинства нефтяных месторождений страны в позднюю стадию разработки, характеризующуюся благоприятными условиями для образования АСПО, в частности высокой обводненностью продукции скважин.

За период 2007–2011 гг. на предприятии разработано и внедрено 12 модификаций реагентов против АСПО. На Тананьжской группе месторождений за счет особого подхода к выбору реагентов удалось запустить скважины высоковязкой нефти, что дало дополнительно до 120 т/сут нефти.

Химические реагенты можно с успехом использовать для защиты от газогидратов, уходя от использования метанола. В результате снижения количества отказов внутрисменные потери нефти на месторождениях компании «ТНК-ВР» снизились до 130 т/мес., а газа – до 260,3 тыс. м³/мес.

Анализ работы холдинга «ТНК-ВР» показал экономическую целесообразность проектов комплексной химизации в сравнении с остальными формами химизации.

10.3. Инновации при добыче высоковязкой нефти

В последние годы еще одной общемировой тенденцией стали новые технологии разработки нетрадиционных углеводородных ресурсов, в первую очередь высоковязких нефтей и природных битумов. Интерес к ним начал расти в соответствии с ростом цен на углеводороды, и даже их обвал, связанный с мировым финансовым кризисом, незначительно повлиял на развитие технологий добычи нетрадиционных углеводородов, поскольку уже были вложены значительные инвестиции в их разработку. При этом наблюдаемая сейчас новая волна роста цен на энергоносители только добавляет привлекательности этим технологиям.

Вместе с тем, согласно прогнозам, ожидается, что пик добычи традиционных легких нефтей будет достигнут уже через 10–15 лет, а в дальнейшем их добыча будет падать. Мировая добыча и переработка тяжелых и битуминозных нефтей станет преобладающей.

Особое значение тяжелые нефти имеют и в России (по разведанным запасам тяжелой нефти Россия занимает третье место в мире после Канады и Венесуэлы), где месторождения легкой нефти выработаны более чем наполовину и одновременно действующие и потенциальные переработчики в большинстве случаев не имеют прямого доступа к ресурсам. Кроме того, извлечение высоковязких нефтей и природных битумов требует использования специальных дорогостоящих технологий.

Немногие российские компании готовы вкладывать значительные средства в разработку месторождений и переработку тяжелой нефти, даже несмотря на значительную государственную поддержку. Так, для увеличения эффективности нефтедобычи с 2006 г. в Российской Федерации на разработку месторождений тяжелой нефти и битумов была введена нулевая ставка налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ).

Основные проблемы нефте- и газодобывающей отрасли России заключаются в экстенсивном способе выработки и добычи углеводородов: из множества месторождений выбираются самые крупные с нефтью, обладающей лучшими свойствами. Месторождения, что залегают на больших глубинах, а также месторождения тяжелых нефтей разрабатываются в последнюю очередь.

В Канаде, по данным «ВР», в 2010 г. было добыто 162,8 млн т нефти, из этого количества тяжелая нефть составляет 60%, в Венесуэле из 126,6 млн т – 80%. Так что в России при нынешнем истощении запасов легкой нефти наступила пора разрабатывать высоковязкие нефти.

В настоящее время правительство США поставило задачу создать 10 млн новых рабочих мест в секторе добычи, транспортировки и переработки битумных нефтей Канады. В общей сложности благодаря началу разработки битуминозных нефтей Северная Америка удваивает число рабочих мест в секторе ТЭК. Здесь следует отметить, что, по данным статистического ведомства Канады, заработная плата в нефтегазовой отрасли почти в два раза превышает заработок сотрудников других отраслей промышленности.

На сегодняшний день добыча тяжелых нефтей – одна из основных задач, стоящих перед российской нефтяной промышленностью,

производителями оборудования и разработчиками технологий. Тяжелая нефть отличается высоким содержанием серы, парафина, смолистых веществ, требует применения особых, более сложных технологий добычи, транспортировки и переработки.

Несмотря на сложности, с течением времени доля тяжелой нефти в структуре российской нефтедобычи будет увеличиваться, так как запасы битумных нефтей в разы превышают запасы обычной нефти.

Тяжелые нефти (высоковязкие нефти – ВВН) близки по составу к природным битумам (ПБ), поэтому как технологические, так и экономические подходы к оценке эффективности их освоения имеют много общего, и рассмотрение их в единой связке вполне корректно. Для промышленного освоения месторождений ВВН и ПБ нужны специальные технологии добычи, транспортировки и переработки, которые не только учитывают их особенности, но и требуют повышенных энергетических и других материальных затрат.

В настоящее время наиболее реальными из многочисленных способов добычи тяжелых нефтей остаются тепловые методы воздействия на пласт: закачка пара (горячей воды) и внутрипластовое горение. Эти способы обеспечивают повышение температуры продуктивного пласта соответственно до 100–120 и 400–500°C, что приводит к резкому снижению вязкости флюида и дает возможность извлекать его.

Очевидно, что преимущественными конструкциями скважин в рассматриваемой ситуации являются горизонтальные. При этом их конфигурация может быть различной: разветвленные, параллельные с самостоятельными устьями, имеющие два устья и т. п.

В настоящее время испытанных высокоэффективных технологий добычи тяжелой нефти, ее транспортировки и переработки в России до сих пор не существует. А всякий переход от экспериментов к промышленным масштабам требует гигантских капиталовложений, компаниям в одиночку их просто не вытянуть. В 80–90-е гг. XX в. в России имелся опыт эксплуатации месторождений сверхвязких нефтей в Татарии, Удмуртии и других регионах. Но 90-е гг. наложили определенный отпечаток, и почти все работы в этом направлении были свернуты. В Канаде продолжали развивать эту область и достигли определенных результатов. В итоге сегодня российские компании многому вынуждены учиться у них.

Операционные затраты по добыче тяжелой нефти и природных битумов в 3–4 раза превосходят затраты на добычу легкой нефти, что связано не только с более высокой плотностью и вязкостью тяжелых

нефтей, но и с недостаточной развитостью технологии ее добычи и переработки в нашей стране. Так, технология разделения основана на смещении тяжелой нефти с легкой нефтью или легкими дистиллятами.

Компания «Татнефть» занимается разработкой битуминозных нефтей с 1970 г., когда было создано специализированное нефтегазодобывающее управление – НГДУ «Татнефтьбитум». В общей сложности за годы существования этого НГДУ было добыто свыше 200 тыс. т битуминозной нефти, которая в основном направлялась на изготовление битумов и изоляционных лаков.

В настоящее время на балансе ПАО «Татнефть» числятся запасы 21 месторождения сверхвязких нефтей, которые разделены на три зоны с равными запасами нефти. Проектные технологии разработки по трем группам предусматривают и включают бурение:

- горизонтальных скважин – 1600 ед.;
- вертикальных скважин – 3540 ед.;
- оценочных скважин – 890 ед.

ПАО «Татнефть» ведет опытно-промышленную разработку двух месторождений с общими запасами 14,1 млн т и продолжает переговоры с зарубежными компаниями, владеющими технологиями внутрипластового горения, которые позволяют улучшить характеристики нефти – осуществить преобразование тяжелых нефтей в легкие. Сегодня к битумным проектам региона проявляют активный интерес ряд ведущих нефтяных компаний мира – «Royal Dutch Shell» (Нидерланды, Великобритания), «ConocoPhillips» (США), «ExxonMobil Corp.» (США), «Chevron Corp.» (США), «Repsol» (Испания).

В частности, в 2006 г. ПАО «Татнефть» была продолжена опытно-промышленная разработка Ашальчинского месторождения битумных нефтей (Татарстан), которое с 1993 г. находилось в законсервированном состоянии из-за отсутствия финансирования. Две основные технологии, которые позволили начать добычу, – это технология парогравитационного воздействия и пароциклическая технология с применением горизонтальных скважин.

Сравнительный анализ геолого-геофизических характеристик месторождений Канады (провинция Альберта) и Республики Татарстан показал, что напрямую использовать канадский опыт нельзя, так как имеются существенные отличия. В Канаде прежде всего это малые глубины залегания, низкие пластовые давления (а на Ашальчинском месторождении – порядка 4 атм), вязкость нефти ниже как минимум на три порядка. Самым главным отличием является то, что плотность

нефти на Ашальчинском месторождении – 980 кг/м^3 (т. е. меньше плотности воды).

Но для того чтобы такая нефть притекла к скважине, необходимо предварительно разогреть пласт. Пласты битумной нефти характеризуются низкими температурами ($8\text{--}12^\circ\text{C}$), а при таких температурах установить гидродинамическую связь между скважинами без нагрева практически невозможно.

В соответствии с принятой технологической схемой опытно-промышленной разработки Ашальчинского месторождения на нем испытываются две технологии. Это технология парогравитационного воздействия, фактически являющаяся модернизированной канадской технологией SAGD¹, и пароциклическая технология с применением горизонтальных скважин (CSS²). При реализации этих методов достигается коэффициент извлечения нефти порядка 60–70%.

В соответствии с первой технологией бурятся две горизонтальные скважины. Верхняя скважина используется как паронагнетательная, нижняя – как добывающая. Бурятся они в одной вертикальной плоскости, расстояние между ними – порядка 5–7 м. В России уже был опыт бурения таких скважин в прошлом веке, однако горизонтальные технологии по тем временам не позволяли обеспечить точность бурения в вертикальной плоскости с заданными интервалами. Сегодня в Татарстане уже есть несколько пар таких уникальных скважин, как с выходом на поверхность, так и без выхода, пробуренные с помощью канадской установки наклонного бурения.

Технология парогравитационного воздействия на пласт применяется при толщинах пласта более 15 м. Закачка пара в верхнюю, паронагнетательную скважину осуществляется постоянно с целью создания паровой камеры. Нефть разжижается за счет разной плотности пара и нефти, стекает в нижнюю, добывающую скважину и поднимается на поверхность.

Данная технология также применялась при разработке Ярегского месторождения (Республика Коми).

При реализации технологии пароциклического воздействия бурится одна скважина. Через нее циклически закачивается пар и отбирается обратно жидкость вместе с нефтью. Данная технология применяется при малых толщинах пласта, когда невозможно пробурить две скважины.

¹ SAGD – Steam Assisted Gravity Drainage = стимулируемый паром самотечный дренаж.

² CSS – Cyclic Steam Simulation = циклическая закачка пара.

Метод включает три последующие фазы, образующие повторяющийся цикл:

- фазу нагнетания, когда пар (при температуре 180°C и давлении до 12 атм) нагнетают в область залегания нефтяного пласта;
- фазу ожидания, в течение которой скважина закрыта, а пар конденсируется, отдавая тепло коллектору и нефти, находящейся в зоне нагнетания;
- фазу извлечения нефти, когда производится отбор нагретых флюидов.

Ожидаемая продолжительность фазы нагнетания составляет 20–30 сут, фазы ожидания – 2–10 сут, фазы извлечения нефти – 10–75 сут. Ожидаемые дебиты скважин в среднем составляют 10–30 т/сут по нефти и 60–150 т/сут по жидкости.

Выход на рентабельную добычу битумной нефти требует решения целого ряда проблем, связанных с выносом песка, отложением солей, высокой температурой в зоне работы установки и многими другими негативными факторами. В первую очередь необходимо разработать недорогое и приемлемое по качеству отечественное оборудование, способное работать при высоких температурах окружающей среды.

Согласно [34], из-за существенных различий физико-химических свойств нефти и вмещающих пород даже в пределах одного месторождения для обеспечения достаточно высокого КИН необходимо дополнительно к технологиям парового воздействия использовать методы стимуляции нефтеотдачи пласта.

Основными путями совершенствования данных добычных технологий являются:

- снижение энергоемкости (применение вакуумной тепловой изоляции паропроводов, производство пара в режиме когенерации и др., что особенно актуально в северных условиях при наличии вечной мерзлоты, которая вызывает большие потери тепла);
- повышение эффективности разделения нефти и воды с повторным производством пара для нагнетания в скважину (высокое потребление воды повышает издержки SAGD).

Средняя вязкость природной нефти Ашальчинского месторождения в пластовых условиях при температуре 8°C составляет примерно $25\,000\text{ мПа}\cdot\text{с}$, а оптимальная температура добычи превышает 120°C . Продуктивный пласт составлен из слабосцементированного песчаника. В основном он сцементирован как раз застывшей сверхвязкой

нефтью. Поэтому при нагреве, когда нефть разжижается и приходит в движение, пласт также начинает осыпаться. При нагреве до 180–190°C вязкость нефти снижается до 10–15 мПа·с. В этом случае ее уже можно добывать обычными электроцентробежными насосами (ЭЦН). Например, компанией «Schlumberger» предложены высокотемпературные ЭЦН как проверенное решение по механизированной добыче тяжелых высоковязких нефтей с использованием методов термического воздействия на пласт.

В Татарстане разведаны большие запасы сверхвязкой нефти, и в настоящее время отрабатывается эффективная технология ее добычи. Вывод добычи сверхвязкой нефти на рентабельный уровень требует, во-первых, разработки отечественного оборудования с приемлемыми ценами и характеристиками. Во-вторых, необходимы системы телеметрии с температурным исполнением погружной части не менее 200°C (производимые в России рассчитаны максимум на 150°C). Кроме того, необходимы насосы, обеспечивающие возможность осуществлять периодическую добычу сверхвязкой нефти и прокачку через них пара без извлечения насоса из скважины.

В настоящее время в Татарстане около половины нефти на месторождениях республики добывается за счет внедрения современных технологий и методов увеличения нефтеотдачи пластов. Значение коэффициента извлечения нефти составляет более 43% при среднероссийском отраслевом показателе – 38%.

Кроме Татарстана, в Российской Федерации добыча высоковязкой нефти проводится на Русском месторождении. Это гигантское месторождение тяжелой нефти, которое находится в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, за Полярным кругом. Его недропользователем до 2013 г. являлась компания «ТНК-ВР» (с 2013 г. вошла в состав ПАО «НК «Роснефть»). По предварительным оценкам, начальные запасы месторождения по российской системе оценки превышают 1 млрд т. Оно было открыто в 1968 г., но почти четыре десятка лет оставалось неразработанным. Его освоение осложнено рядом факторов, связанных с высокой вязкостью нефти, сложным геологическим разрезом, отсутствием инфраструктуры и непростыми условиями разработки в Заполярье. Также среди особенностей Русского месторождения – обширная газовая «шапка» и наличие водоносного горизонта.

После открытия месторождения на нем было пробурено 60 скважин, из них 39 разведочных, 13 поисковых и 8 эксплуатационных.

Планируется бурение скважин с горизонтальным окончанием. На текущий момент на двух пилотных участках месторождения пробурено девять скважин, из них шесть добывающих, одна газовая и две водо-заборные.

Представители компании «ТНК-ВР» изучали канадский опыт добычи тяжелой нефти, также знакомились и с венесуэльскими технологиями. В настоящее время к работе на месторождении привлечено более 15 сервисных организаций, среди которых известная американская компания «Halliburton».

В качестве оптимального способа добычи был выбран один из наиболее известных методов – закачка горячей воды в пласт. Также была разработана технология его применения в конкретных условиях. Этот опыт можно принять к сведению и даже отталкиваться от него в своей работе в данном направлении.

По причине того, что нефть Русского месторождения отличается высокой вязкостью, необходимо строительство систем смешения нефти в трубопроводах. При их отсутствии пик добычи нефти на Русском составит около 10 млн т/год. В случае, если они будут построены, – до 20 млн т/год.

В ближайшее время планируется завершение первой очереди пускового комплекса по приему и отгрузке нефти, проведение исследований по смешиванию нефти и конденсата для создания транспортной модели нефти. Ожидается, что до начала промышленной разработки месторождения будет построена новая установка подготовки нефти мощностью 3 млн т/год.

Для совершенствования методов добычи высоковязких нефтей можно использовать колтюбинговые технологии (см. п. 9.4). Их можно применять вне зависимости от того, каким бы способом ни обеспечивалась проводка скважины.

Основным назначением этих технологий являются выполнение многократных гидроразрывов пласта (ГРП) в горизонтальном участке скважины, кислотная обработка, проведение перфорации. Все эти мероприятия направлены на увеличение протяженности и размеров трещин продуктивного пласта, что обеспечивает ускорение процесса извлечения и повышение коэффициента извлечения нефти. Особенностью добычи высоковязких флюидов является выполнение ГРП между параллельными горизонтальными стволами.

Например, описанный выше способ добычи предусматривает бурение одной или нескольких пар горизонтальных скважин, каждая из

которых включает нагнетательную и добывающую скважины, между которыми создается проницаемая зона. Проницаемая зона создается перед пуском скважин в эксплуатацию, например за счет производства ГРП. Во время эксплуатации в нагнетательную скважину, расположенную на более высоком уровне, подается теплоноситель, и одновременно из добывающей скважины, расположенной на нижнем уровне, осуществляется отбор углеводородов.

Разработка может выполняться с использованием отдельной двухустьевой (У-образной) скважины, отбор из которой осуществляют попеременной закачкой теплоносителя через первое устье скважины с выходом его через второе устье. После прогрева призабойной зоны на горизонтальном участке отбирают продукцию через второе устье, вплоть до снижения температуры ниже оптимальной для данного флюида. Далее цикл повторяют.

Как видно из приведенного анализа способов эксплуатации скважин, продуцирующих высоковязкую нефть или битумы, большинство их предполагает бурение одно- или двухустевых горизонтальных скважин. Эксплуатация скважин подобной конструкции предусматривает, с одной стороны, выполнение работ по воздействию на призабойную зону (проведение ГРП или кислотных обработок), а с другой – исследование скважин – определение интенсивности притока, распределения температур.

Если первая группа работ может быть выполнена, хотя с большими затратами времени и материальных средств, с использованием колонн традиционных конструкций, то для исследования скважин применение колонн гибких труб является безальтернативным вариантом. Это обусловлено, с одной стороны, необходимостью преодолевать значительные силы трения при перемещении оборудования по горизонтальному участку скважины, а с другой – необходимостью промывки скважины горячей водой и перед, и непосредственно при проведении исследований.

Перспективным направлением является также и применение внутрипластового горения. В этом случае может быть применена схема разветвленных горизонтальных скважин, расположенных, как и рассматривалось ранее, в двух уровнях. При этом по скважинам верхнего уровня подается окислитель, а скважины нижнего уровня являются дренажными и обеспечивают отвод прогретого флюида в дренажные отводы. Таким образом обеспечивается кратчайший путь движения нагретой пластовой жидкости. Возможности колтюбинга

позволяют обеспечить подачу окислителя по мере продвижения фронта горения и обеспечения оптимального процесса горения и вытеснения нефти в дренажные отводы.

В сложных пластовых условиях, характеризующихся неоднородностью продуктивного пласта, колтюбинг позволяет выполнять локальное воздействие на участки с пониженной проницаемостью – дополнительно перфорировать, обеспечивать локальную термообработку призабойной зоны.

Таким образом, для реализации технологий добычи битумов и высоковязких нефтей необходим, по существу, весь арсенал колтюбинговых буровых установок и установок для капитального ремонта скважин.

После подъема нефти на дневную поверхность серьезной проблемой является то, что для перекачки как легкой, так и тяжелой нефти используется одна система трубопроводов, что приводит к ухудшению качества всей перекачиваемой нефти.

Таким образом, в связи с растущим потреблением нефти и нефтепродуктов, стремлением экспортировать высокие сорта нефти, постепенным истощением ранее разведанных нефтяных месторождений сверхвязкие тяжелые нефти становятся востребованными в экономике РФ. Такие нефти активно применяются в строительстве (дороги, здания), а после очистки их можно использовать в химической промышленности – для производства клеев и пластиков различного назначения.

Производство качественных битумов для дорожного хозяйства – перспективное направление. На сегодняшний день потребность отрасли в битумах, которые получают из фракций обычной и тяжелой нефти, составляет более 2,5 млн т. Учитывая, что темпы среднегодового роста спроса на битум в ближайшей перспективе ожидаются в пределах 10%, к 2015 г. объемы его использования могут достигнуть 9–10 млн т. Кроме того, перспектива освоения природных битумов становится все более актуальной в связи с возможностью получения из них энергоносителей, альтернативных топочному мазуту и природному газу.

В связи с изложенным разработка новых технологий добычи тяжелых и сверхвязких нефтей является приоритетным направлением развития всей нефтяной отрасли. По мнению экспертов, оптимальный способ использования таких нефтей – переработка в легкую синтетическую нефть или в нефтепродукты вблизи места добычи, что снижает затраты на транспортировку.

Разработка месторождений высоковязких нефтей в России актуальна как никогда. Однако для добычи нетрадиционных ресурсов (битумы, тяжелые нефти, газовые гидраты) требуются колоссальные инвестиции и, что еще важнее, новые технологии, к внедрению которых стремится всего несколько компаний. Крайне важно не упустить технологические преимущества, которые даст внедрение опережающих российских разработок.

10.4. Особенности технологий волнового воздействия на продуктивные пласты

В последние годы для интенсификации добычи нефти все более широко используются волновые методы, отличающиеся большим разнообразием по частотным и энергетическим показателям и эффективности их применения. В настоящее время применяются различные устройства и способы волнового воздействия на нефтяные пласты как со стороны дневной поверхности, так и с помощью источников упругих волн, спускаемых в скважины. Чаще всего волновые воздействия применяются в нагнетательных скважинах, когда появляется необходимость повысить приемистость пласта, в который длительное время закачивалась вода, и он перестал ее принимать или же в новых, нагнетательных скважинах, где пласт представлен низкопроницаемыми породами.

Волны – изменения состояния среды (возмущения), распространяющиеся в этой среде и несущие с собой энергию. Основное свойство всех волн, независимо от их природы, состоит в том, что в виде волн осуществляется перенос энергии без переноса вещества (последний может иметь место лишь как побочное явление).

Упругие волны существуют в твердых телах, жидкостях и газах. В частности, *звуковые волны* (человек слышит звук с частотой от 16 до 20 000 Гц, ниже 16 Гц – *инфразвук*, выше 20 000 Гц – *ультразвук*) и *сейсмические волны* в земной коре (сейсмографы улавливают инфразвук) являются частными случаями упругих волн.

Далее приведено описание технологий волнового воздействия на продуктивные пласты при помощи источников упругих волн, спускаемых непосредственно в скважины, а также действующих со стороны дневной поверхности.

Одним из главных преимуществ волновых методов воздействия на ПЗП является возможность достижения направленности действия на отдельные слои продуктивного разреза, чего невозможно достичь

при реализации других методов воздействия на пласты. Кроме того, упругие волны не вызывают изменения структуры порового пространства продуктивных слоев (как, например, кислотное действие). Это чрезвычайно важно при разработке сложных многослойных залежей с высокой неоднородностью пластов – как по толщине, так и по площади; как в процессе освоения продуктивных пластов, так и на поздних стадиях их разработки.

Волновое воздействие на призабойную зону скважины (ПЗС) осуществляется различными способами: устройствами золотникового типа, гидродинамическими излучателями, грузами для нанесения гидродинамических ударов, штанговыми глубинными насосами и т. д.

В книге А. М. Свалова [44] показано, что различные по частотам волновые воздействия на призабойную зону нагнетательной скважины активизируют разные физико-механические процессы в этой зоне. Так, например, низкочастотные волны гидродинамического давления наиболее эффективны при иницировании процессов роста трещин в ПЗС. Вместе с тем коротковолновые воздействия, хотя и характеризуются меньшей глубиной проникновения в поровое и трещинное пространство, отличаются более высокими переменными градиентами давления в жидкости, что повышает эффективность процессов очистки поверхностей от загрязняющих отложений (например, коротковолновые воздействия можно использовать для очистки перфорационных каналов).

В табл. 19 приведены некоторые перспективные отечественные технологии волнового воздействия на призабойную зону, расположенные в порядке возрастания доминирующих частот (от инфразвука до ультразвука), а также методы, основанные на комбинированном действии различных частот.

Таблица 19

Технологии волнового воздействия на призабойную зону

Наименование и краткое описание технологии	Частота, Гц	Эффект от применения технологии
Управляемое депрессионно-волновое воздействие на призабойную зону продуктивного пласта с использованием многоэлементного депрессионного снаряда	0,1–0,3	Технологическая успешность составила 70% при увеличении дебита по нефти от 13 до 160%, а приемистости – в 1,8 и более раз

Наименование и краткое описание технологии	Частота, Гц	Эффект от применения технологии
Низкочастотный скважинный излучатель сейсмических колебаний мощностью до 10 кВт	60–250	При общей продолжительности работы 660 ч дополнительная добыча нефти в 38 добывающих скважинах при общем количестве, равном 94 скважинам, составила 1080 т/мес.
Интегрированное воздействие, заключающееся в совмещении применяющихся методов воздействия на продуктивный пласт (тепловое, физико-химическое, гидродинамическое и др.) с волновым	100–10 000	На месторождении природных битумов кратно увеличился дебит скважин, пятикратно уменьшились удельные энергетические затраты, снизилась обводненность извлекаемой продукции
Газодинамический излучатель акустических колебаний давления в потоке сжимаемой жидкости (воздуха, пара, парагаза и т. п.); мощность излучателя – 1,0–3,5 кВт	200–3000	В зоне комбинированного воздействия на продуктивный пласт происходит формирование волнового поля (которое поддерживается в течение всего времени разработки пласта), в результате чего происходит интенсификация процесса добычи высоковязкой нефти (природных битумов) и повышение нефтеотдачи
Скважинный гидродинамический излучатель упругих волн в потоке несжимаемой жидкости (вода, растворы ПАВ и др.), нагнетаемой в нефтяные пласты; мощность излучателя – 1,0–8 кВт	2000–7000	При совмещении известных методов воздействия на продуктивные пласты с волновым воздействием достигается синергетический эффект повышения качества процесса нефтеизвлечения
Гидроакустическое устройство	500–20 000	Среднее повышение дебитов составило 30–100%
Комбинирование действие на призабойную зону различных частот с удельной мощностью излучаемой тепловой и волновой энергии не менее 10 кВт на 1 м толщины пласта	400–2000 и 5–20	Увеличение нефтеизвлечения из нефтяного пласта ремонтируемой скважины

Источник: Оценка месторождений полезных ископаемых с падающей добычей в условиях истощения запасов: сб. науч. тр. по материалам межвузов. науч.-практ. конф. СПб. [СПбГТИ(ТУ) им. Г. В. Плеханова], 2011. С. 48–54.

В табл. 20 представлены способы волнового воздействия на продуктивные пласты со стороны устья скважины, нашедшие применения на нефтяных месторождениях Российской Федерации, в том числе на месторождениях с высоковязкой нефтью.

В табл. 21 рассмотрены разработанные в России способы волнового воздействия на продуктивные пласты при помощи наземных источников упругих волн. При ударно-волновом воздействии на ПЗС эффект от воздействия скважинных источников упругих волн проявляется достаточно быстро (в течение нескольких часов или суток). При использовании эффектов дальнего или площадного действия требуется длительная волновая обработка пласта (в течение месяца и более).

Таким образом, несмотря на значительный объем проведенных исследований, известные научные разработки воздействия на ПЗП и извлечения остаточных запасов углеводородов на поздней стадии разработки месторождений волновыми методами еще не нашли широкого применения на практике. Кроме того, в настоящее время еще не сформированы общепринятые представления о физических механизмах волнового воздействия.

Таблица 20

Технологии волнового воздействия на продуктивные пласты со стороны устья скважины

Наименование и краткое описание технологии	Вид волны или частота, Гц	Эффект от применения технологии
Импульсно-волновое воздействие (ИВВ)	Ударная волна	Увеличение нефтедобычи
Акустическое воздействие на флюидосодержащие пласты при использовании генератора силовых волн энергией 5–1500 Дж	0,5–80	Рост продуктивности скважин за счет увеличения проницаемости пластов
Мощное ультразвуковое излучение с наземной части скважины направляется по обсадным трубам к приемной части скважины, где оно рассеивается, частично превращаясь в тепло, а частично излучаясь в ПЗП	500–100 000	Повышение нефтеотдачи, дебита малопродуктивных скважин, считающихся неперспективными, разработка нефтяных залежей с высоковязкой нефтью

Источник: Оценка месторождений полезных ископаемых с падающей добычей в условиях истощения запасов: сб. науч. тр. по материалам межвузов. науч.-практ. конф. СПб. [СПбГТИ(ТУ) им. Г. В. Плеханова], 2011. С. 48–54.

**Технологии волнового воздействия на продуктивные пласты
при помощи наземных источников сейсмических волн**

Наименование и краткое описание технологии	Эффект от применения технологии
Воздействие на продуктивный пласт при помощи источника упругих колебаний, действующего со стороны дневной поверхности и возбуждающего упругие волны	Повышается эффективности процесса нефтедобычи
Воздействие на продуктивный пласт с помощью сейсмовиброисточника, установленного на поверхности грунта; при этом практически несжимаемой жидкостью заполняют поры и трещины грунта в объеме его присоединенной массы	Повышается эффективность передачи вибросейсмического сигнала от его источника, установленного на поверхности грунта, на продуктивный пласт за счет повышения плотности, удельного веса и снижения жесткости грунта в объеме его присоединенной массы
Комплексное воздействие на нефтяную обводненную залежь, разрабатываемую при нестационарном заводнении – одновременно упругими колебаниями из скважин и путем вибросейсмического воздействия с поверхности	Повышается нефтеотдача пластов (при обработке более 3000 скважин успешность проведения работ составила около 95% при продолжительности эффекта 6–18 месяцев и более)

Источник: Оценка месторождений полезных ископаемых с падающей добычей в условиях истощения запасов: сб. науч. тр. по материалам межвузов. науч.-практ. конф. СПб. [СПбГТИ(ТУ) им. Г. В. Плеханова], 2011. С. 48–54.

Решение этих проблем определяет высокую актуальность дальнейших исследований с целью развития существующих и создания новых высокоэффективных технологий и технических устройств волнового воздействия для извлечения остаточных углеводородов из сложных многослойных залежей с высокой неоднородностью пластов.

Контрольные вопросы

1. Какими факторами определяются общие перспективы развития добычи нефти в России?
2. С какими основными проблемами сталкивается отечественная нефтедобывающая отрасль?
3. Перечислите основные методы повышения нефтеотдачи.

4. Каковы основные способы повышения газоотдачи?
5. Какие методы используют для повышения фильтрационной способности призабойных зон продуктивных пластов?
6. Какие виды кислот применяются с целью воздействия на призабойную зону?
7. Перечислите физические методы воздействия на призабойную зону пласта.
8. Какие третичные методы увеличения нефтеотдачи используются в России, а какие в США?
9. Каковы перспективы развития комплексной химизации месторождений углеводородов?
10. Перечислите и опишите некоторые инновационные технологии, применяемые при добыче высоковязкой нефти.
11. Какие волновые методы используются для интенсификации добычи нефти?
12. Перечислите и охарактеризуйте перспективные волновые технологии, используемые при добыче углеводородов.

ГЛАВА 11

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ОБЛАСТИ СООРУЖЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И ГАЗА

11.1. Трубопроводные системы России в свете «Транспортной стратегии»

В настоящее время российская экономика оказалась перед системным вызовом, характер и качество которого определяются сочетанием нескольких фундаментальных факторов, одним из которых является исчерпание источников экспортно-сырьевого типа развития, базирующихся на интенсивном наращивании топливного и сырьевого экспорта.

Одновременно в России появились существенные ограничения роста экономики, обусловленные недостаточным развитием транспортной системы. Сегодняшние объемные и качественные характеристики транспорта, особенно его инфраструктуры, не позволяют в полной мере и эффективно решать задачи растущей экономики. Все это требует от российского транспорта существенной перестройки.

Существующие стратегические документы в области транспорта были разработаны в условиях перехода к стратегии экономического роста.

При переходе к интенсивному, инновационному, социально ориентированному типу развития страна стремится стать одним из лидеров глобальной экономики, что требует принятия адекватных стратегических решений по развитию транспортного комплекса на долгосрочную перспективу.

В настоящее время для определения основных направлений развития транспортных систем РФ (в том числе трубопроводного транспорта) в условиях усиления глобальной конкуренции, возрастания роли человеческого капитала в социально-экономическом развитии и исчерпания источников экспортно-сырьевого типа развития, базирующихся на интенсивном наращивании топливного и сырьевого экспорта, Министерством транспорта Российской Федерации (Минтранспорта России) разработана «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р.

Развитие российских портов и смежной транспортной инфраструктуры происходит неравномерно. Накопились значительные различия по уровням технологичности и капитализации портовых узлов. Это является следствием неравномерности и нестабильности грузовой базы, недостаточного развития смежной железнодорожной, автомобильной и трубопроводной инфраструктуры, а также тыловой терминальной и складской инфраструктуры.

Из-за недостаточной развитости транспорта сдерживаются комплексное освоение новых территорий и разработка месторождений полезных ископаемых, прежде всего в Сибири и на Дальнем Востоке.

Сценарные варианты развития транспортной системы России на период до 2030 г. разработаны в трех вариантах – *инерционном*, *энергосырьевом* и *инновационном*. Рассмотрим некоторые аспекты представленных сценариев в сфере прогнозирования развития трубопроводных систем.

Инерционный вариант развития транспортной системы предполагает реализацию крупномасштабных транспортных проектов, обеспечивающих добычу и разработку месторождений полезных ископаемых в новых районах добычи (нефть в Восточной Сибири, газ на арктическом шельфе и др.) и строительство соответствующих трубопроводов.

Энергосырьевой вариант предполагает ускоренное развитие транспортной инфраструктуры главным образом для транспортного обеспечения освоения новых месторождений полезных ископаемых и наращивания топливно-сырьевого экспорта, реализации конкурентного потенциала России в сфере транспорта и роста экспорта транспортных услуг. При этом можно выделить следующие особенности, касающиеся трубопроводного транспорта:

- реализация крупномасштабных транспортных проектов (в том числе в рамках государственно-частного партнерства), обеспечивающих разработку месторождений полезных ископаемых в новых районах добычи, главным образом в Сибири, на Дальнем Востоке и на континентальном шельфе;
- диверсификация направлений экспортных поставок российских углеводородов, в том числе в Китай, и создание соответствующей инфраструктуры;
- развитие транспортной инфраструктуры, обеспечивающей реализацию транзитного потенциала страны, в том числе совместных проектов по добыче и экспорту углеводородов в рамках Евразийского

экономического сообщества (ЕврАзЭС), а также с другими государствами.

Инновационный вариант предполагает ускоренное и сбалансированное развитие транспортной системы страны, которое наряду с достижением целей, предусматриваемых при реализации энергосырьевого варианта, позволит обеспечить транспортные условия для развития инновационной составляющей экономики, повышения качества жизни населения, перехода к полицентрической модели пространственного развития России.

Для инновационного варианта сохраняется ряд особенностей, характерных для энергосырьевого варианта, в частности:

- реализация крупномасштабных транспортных проектов, обеспечивающих разработку месторождений полезных ископаемых в новых районах добычи;
- диверсификация направлений экспортных поставок российских углеводородов.

Стратегия научно-технической политики развития трубопроводного транспорта нефти, основанная на обеспечении надежности, долговечности и безопасности объектов при эксплуатации на весь срок службы, предполагает создание магистральных трубопроводов нового поколения с увеличенным ресурсом работы на 20–25 лет, большим, чем у ныне действующих трубопроводов.

В настоящий момент решающим обстоятельством при планировании трасс новых магистральных трубопроводов является вопрос: как поведут себя на мировом рынке цены на нефть и газ в средне- и долгосрочной перспективе? Многие нефтегазовые проекты северных и восточных районов Российской Федерации рентабельны лишь при высоких мировых ценах на углеводородное сырье. В периоды падения цен мирового рынка большинство проектов становятся нерентабельными. Именно от цен на энергоносители зависят перспективы развития нефтегазового сектора, включая его важнейшую составляющую – магистральный транспорт нефти и природного газа, в России и в мире в целом.

11.2. Особенности и перспективы развития трубопроводного транспорта углеводородов

В 1863 г. русский ученый Д. И. Менделеев первым предложил идею использования трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов и обосновал принципы их строительства и эксплуа-

тации. В 1878 г. в Российской империи был введен в эксплуатацию первый нефтепровод протяженностью 12 км и диаметром 75 мм для перекачки нефти на Апшеронском полуострове от Балаханского месторождения на нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) Баку. Проект нефтепровода был разработан знаменитым русским инженером В. Г. Шуховым. К началу XX в. протяженность трубопроводов из районов Баку составляла 230 км, годовая мощность – 1 млн т. Крупнейшие трубопроводы, построенные в Российской империи в начале XX в.:

- продуктопровод Баку–Батуми для поставок керосина (1896–1906 гг.) протяженностью 833 км, диаметром 200 мм, мощностью 900 тыс. т/год;

- нефтепровод Махачкала–Грозный (1913–1914 гг.) протяженностью 162 км, диаметром 200 мм, мощностью 700 тыс. т/год.

В настоящее время для транспортирования энергоносителей используют следующие виды транспорта:

- железнодорожный;
- водный;
- автомобильный;
- трубопроводный.

Трубопроводный транспорт по сравнению с другими видами транспорта обладает следующими основными преимуществами:

- наиболее низкая себестоимость перекачки;
- небольшие удельные капитальные вложения на единицу транспортируемого груза и быстрая окупаемость затрат при строительстве трубопроводов;

- возможность прокладки трубопровода в любом направлении и на любое расстояние – это кратчайший путь между начальным и конечным пунктами;

- бесперебойная поставка в течение года, практически не зависящая от климатических условий;

- наибольшая степень автоматизации;
- высокая надежность и простота эксплуатации;
- сравнительно короткие сроки строительства;
- разгрузка традиционных видов транспорта.

Трубопроводный транспорт имеет и ряд недостатков:

- крупные единовременные капитальные вложения в строительство, поскольку для ввода в эксплуатацию необходимо проложить весь трубопровод;

- определенные ограничения на количество сортов (типов, марок) энергоносителей, транспортируемых по одному трубопроводу;

- «жесткость» трассы трубопровода, вследствие чего для организации снабжения энергоносителями новых потребителей нужны дополнительные капиталовложения.

К числу условных недостатков нефтепроводов можно также отнести относительно малую скорость движения в магистральном трубопроводе (для нефти и нефтепродуктов – 5–10 км/ч, а для газа – до 100 км/ч).

Современная система трубопроводного транспорта России включает в себя более 50 тыс. км магистральных нефтепроводов пропускной способностью свыше 450 млн т нефти в год, 20 тыс. км нефтепродуктопроводов, способных перекачивать 50 млн т продукции в год. Емкость резервуарных парков по нефти превышает 15 млн м³, по нефтепродуктам – 5 млн м³.

Нефтепроводы в нашей стране в основном принадлежат государственной акционерной компании ПАО «Транснефть», кроме нефтепроводов в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ими владеет ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»).

Единая система газоснабжения (ЕСГ) России включает в себя свыше 170 тыс. км магистральных газопроводов и отводов (в абсолютном исчислении). Еще около 4 тыс. км составляют магистральные газопроводы вне ЕСГ. Это локальные сети газоснабжения Норильска, Якутска и Дальнего Востока. Активный объем подземных хранилищ газа на территории Российской Федерации составляет более 60 млрд м³. Пропускная способность газотранспортной системы – около 700 млрд м³ газа в год. Практически все газопроводы являются собственностью ПАО «Газпром».

Системы магистральных трубопроводов нефти и газа, продуктов их переработки играют большую роль в обеспечении энергетической безопасности страны, в решении экономических, социальных и политических проблем в мире.

По протяженности и емкости систем трубопроводного транспорта углеводородов Россия находится на втором месте в мире после США. По магистральным трубопроводам поставляется более 90% российской нефти, почти 25% нефтепродуктов и 100% природного и утилизируемого попутного нефтяного газа. В настоящее время среднесетевая загрузка магистральных нефтепроводов превышает 90%, нефтепродуктопроводов – 50%. Уровень загрузки магистральных га-

зопроводов в зависимости от региона и сезонности составляет от 20 до 100%.

Более 50% магистральных нефтепроводов эксплуатируется свыше 27 лет при нормативе 30 лет, износ основных фондов нефтепродуктопроводов и резервуарных мощностей превышает 70%. Износ основных фондов газотранспортной системы составляет 55%, при этом более 15% газопроводов выработали нормативный срок службы. Средний возраст газопроводов – около 25 лет.

Свыше 70% нефти и более 90% газа добывается в северных районах Западной Сибири. Поэтому современная система поставок углеводородов в значительной мере предназначена для транспортировки нефти и газа из этих районов на сверхдальние расстояния в западном и юго-западном направлениях. В перспективе новые крупные центры добычи нефти и газа будут сформированы в Восточной Сибири, Республике Саха (Якутия), на российском шельфе тихоокеанских и арктических морей. Будут развиваться дополнительные маршруты от источников сырья в северо-западном и юго-восточном направлениях.

Исходя из геостратегических интересов России и глобальных процессов в системе добычи и использования энергоносителей, главными направлениями развития систем транспорта нефти будут североатлантическое, юго-западное и тихоокеанское.

Крупной стратегической задачей в части обеспечения ресурсной безопасности страны, повышения технологической и экономической эффективности нефтегазового комплекса в целом должно стать развитие системы трубопроводного транспорта попутного газа, его отдельных компонентов, а также продуктов глубокой переработки для поставки на нефте- и газоперерабатывающие, нефте- и газохимические предприятия.

В Западной Сибири и европейской части страны необходимо завершить формирование трубопроводных систем от существующих и вновь вводимых месторождений до действующих нефте-, газоперерабатывающих и нефтехимических предприятий.

В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке целесообразно создать единый нефтегазовый комплекс, в который войдут системы добычи, глубокой переработки, транспорта и хранения нефти, нефтепродуктов, продуктов нефте- и газохимии, включая гелий.

Динамика транспортировки светлых нефтепродуктов (дизельного топлива, автомобильного бензина, авиационного керосина) по системе

магистральных нефтепродуктопроводов положительна: так, в 2009 г. было прокачано 28,2 млн т, в 2010 г. – 30,7 млн т.

В частности, в 2011 г. Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков предложила содействовать на государственном уровне реализации проекта строительства магистрального нефтепродуктопровода (МНПП) Кстово–Ярославль–Кириши–Приморск (проект «Север»), одобренного распоряжением Правительства РФ от 24.06.2002 г., а также планируемого к строительству МНПП Сызрань–Саратов–Волгоград–Новороссийск (проект «Юг»), ускорить рассмотрение и утверждение Генеральной схемы развития нефтепродуктопроводного транспорта на период до 2020 г.

11.3. Транспорт сжиженного углеводородного газа по трубопроводам

В Российской Федерации регионы нефтегазохимического сырья (Западная Сибирь) находятся на значительном расстоянии от регионов его переработки (европейская часть России). Этот географический разрыв не компенсируется наличием развитой сети продуктопроводов по транспортировке широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) и сжиженного углеводородного газа (СУГ, см. пп. 14.1.3). Большая часть перевозок сжиженного газа в России приходится на железнодорожный транспорт, что приводит к высокой доле транспортной составляющей в цене СУГ у его переработчиков. Цена этана для нефтегазохимических предприятий в РФ составляет около 300 долл. США за тонну, в ЕС – 190 долл. /т, на Ближнем Востоке – 37,5 долл. /т.

Кроме того, низкая пропускная способность ОАО «РЖД» не позволяет и не позволит обеспечить всех нуждающихся в сырье.

Очевидным решением проблемы является строительство продуктопроводов, доставка легкого углеводородного сырья по которому дешевле железнодорожной примерно на 30%.

Необходимость расширения продуктопроводной системы в России также обусловлена ограниченными экспортными возможностями с учетом имеющейся суммарной пропускной способности железнодорожных и морских терминалов. Не стоит забывать и о нарастающей конкуренции на традиционных экспортных рынках СУГ. Строительство продуктопроводов – это масштабные проекты.

В странах, ведущих переработку собственного углеводородного сырья, основным способом доставки фракций к местам переработки

является продуктопровод, ведь транспортировка ШФЛУ и других углеводородов с помощью трубы по крайней мере на треть дешевле, чем железнодорожные перевозки.

Россия катастрофически отстает от развитых стран по совокупной протяженности продуктопроводной системы. А мощности российских железных дорог по доставке сжатых газов на перерабатывающие предприятия давно исчерпаны.

Отсутствие продуктопроводов стало, таким образом, главным и чуть ли не единственным препятствием на пути дальнейшего наращивания мощности отечественной нефтегазохимии.

Кроме того, во многих проектах продуктопроводов последнего времени планируется осуществлять транспорт ШФЛУ с повышенным содержанием этана. Наличие этана в смеси приводит к увеличению рабочего давления в трубе. Вслед за этим необходимо снижать рабочую температуру смеси и наращивать толщину стенки трубы. Из-за высоких давлений и низких температур резко возрастает поток отказов продуктопровода. В результате компания стоит перед необходимостью строить две нитки трубопровода меньшего диаметра вместо одной большой, строительство и эксплуатация которой на первый взгляд существенно дешевле.

Несколько жестко ограничения заданы существующей нормативной базой в России, можно ли их обойти ради достижения экономии – этими вопросами задаются сегодня действующие компании, планирующие запуск новых участков продуктопроводов.

Анализ зарубежной практики в области строительства продуктопроводов показал, что страны, транспортирующие этанизированные ШФЛУ на значительные расстояния, не используют при транспортировке трубы диаметром свыше 400 мм.

Техническими правилами транспортировать сжиженный газ по трубопроводам под давлением в трубах диаметром свыше 400 мм запрещено. При прокладке новой трассы в Российской Федерации это условие соблюдается, однако при перепрофилировании это допущение может игнорироваться.

К магистральным трубопроводам для сжиженных газов предъявляются более жесткие требования, чем к газопроводам. Продуктопроводы не должны проходить по территории населенных пунктов и промышленных предприятий, так как при утечке сжиженные газы будут скапливаться в низких местах и отравлять окружающую среду.

В целях безопасности транспортирование сжиженных газов (ШФЛУ) по трубопроводам должно осуществляться только в виде жидкости или газа, т. е. в однофазном состоянии. Наличие воды в сжиженных газах приводит к образованию кристаллогидратов в трубопроводах (см. пп. 8.3.6). Гидраты, образуемые водой и сжиженными газами, характеризуются высокой прочностью, при нагревании разлагаются, но крайне медленно. Гидратные пробки сосредоточиваются в небольшом объеме, быстро перекрывая все сечение трубопровода. Основной способ борьбы с гидратами – предупреждение их образования. Это осуществляется осушкой газов или вводом антигидратных реагентов. Для этой цели применяются метанол. Подача метанола, 0,1–0,25% от объема перекачиваемого продукта, в трубопровод осуществляется при помощи дозирующих насосов.

По состоянию на 2011 г. в России ресурсы легкого углеводородного сырья – этан, широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), направляемые на переработку, составляют более 11 млн т. К 2030 г., согласно «Плану развития газо- и нефтехимии...», разработанному Минэнерго, они возрастут до 31 млн т – почти в 3 раза.

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», ФГБУ «Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса» (ФГБУ «ЦДУ ТЭК») разработало и подготовило схему развития системы обеспечения нефте- и газохимических предприятий углеводородным сырьем. Она включает существующие и планируемые к строительству этанопроводы, ШФЛУ-проводы, а также магистральные газопроводы для транспорта целевых компонентов в составе «жирного» газа.

11.4. Проект транспортировки по магистральным трубопроводам сжиженного природного газа

Рост объемов добычи природного газа и его перекачка на значительные расстояния с помощью трубопроводного транспорта требуют строительства мощных газотранспортных систем. Использование при этом обычных газопроводов диаметрами 1420 мм и более приведет к необходимости строительства многониточных магистральных газопроводов и, следовательно, к значительным материальным и финансовым затратам. Одним из путей существенного сокращения материальных затрат является перекачка природного газа в сжиженном состоянии (см. пп. 14.1.2).

Транспорт сжиженного природного газа (СПГ) по трубопроводам имеет следующие преимущества перед транспортом природного газа в обычном состоянии:

- общие металлоложения в систему трубопроводного транспорта СПГ, включая металлоложения в головной завод сжижения, в 3,5–4,0 раза меньше, чем при транспорте газа в обычном состоянии даже по газопроводам диаметром 1420 мм;

- можно организовать прямую загрузку танкеров, предназначенных для транспортирования СПГ, а также снабжение газом потребителей, находящихся в отдалении от магистральных трубопроводов, путем транспортировки СПГ в авто- и железнодорожных цистернах;

- транспорт СПГ облегчает решение проблемы компенсации неравномерного потребления газа путем создания хранилищ СПГ в районах крупного газопотребления;

- снижается вероятность аварий, связанных с коррозией, так как трубопроводы будут эксплуатироваться при очень низких температурах.

Чтобы компенсировать теплопритоки к СПГ через изоляцию и вследствие внутреннего трения на линейной части, а также потери механической энергии на насосных станциях, на трубопроводе через 200–600 км размещаются промежуточные станции охлаждения (ПСО). В конечном пункте трубопровода могут располагаться установки регазификации (УР) и низкотемпературные хранилища СПГ (НХ СПГ).

Сегодня большинство звеньев технологического процесса, включая сжижение природного газа, сжатие СПГ в насосных установках, транспорт по технологическим трубопроводам, хранение в резервуарах и регазификацию СПГ, освоены в промышленных масштабах.

Имеются наработки в части рассмотрения методов расчета гидравлических и тепловых характеристик трубопроводов СПГ, расчета на прочность и компенсации температурных напряжений, возникающих в них.

В то же время отсутствуют данные о характеристиках холодильных установок, работающих в режимах, подобных тем, которые будут наблюдаться на ПСО магистральных трубопроводов СПГ. Малоизученными являются процессы первичного заполнения магистральных и технологических трубопроводов СПГ и переходные процессы.

В 2005 г. ООО «Институт проблем транспорта энергоресурсов» (ООО «ИПТЭР», разработавшее Нормы проектирования магистральных трубопроводов, транспортирующих СУГ) представило в ПАО

«Газпром» заявку на выполнение НИР «Технико-экономическое обоснование и разработка генеральной схемы транспортировки по магистральным трубопроводам сжиженного природного газа (СПГ)».

Планируется, что в случае финансирования этой разработки ООО «ИПТЭР» совместно с АО «Газпром промгаз» (г. Москва) и ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск) на примере создания криогенного магистрального трубопровода диаметром 1000 мм и протяженностью 1000 км, годовой производительностью 100 млрд м³ СПГ проведет разработку технико-экономического обоснования, в рамках которого будет разработана принципиальная схема трубопровода с указанием конкретных конструктивных решений линейной части, головного завода сжижения, головной насосной станции, промежуточных насосных станций и определены технико-экономические показатели (приведенные, капитальные, эксплуатационные затраты, окупаемость, эффективность).

Для этой весьма перспективной разработки необходимо создать полигон для натурных испытаний участков криогенного трубопровода низкотемпературной жидкостью.

11.5. Перспективы развития производства трубной продукции

Во времена СССР на нефтегазовых стройках перерабатывалось до 5,5 млн т труб, из них до 3 млн т закупались за рубежом. Трубы были вечным дефицитом. Теперь конъюнктура на трубном рынке коренным образом поменялась. В последние десятилетия трубная промышленность России сделала технический, технологический рывок, ввела новые мощности по прокату трубных сталей, в том числе и нового класса прочности, новые трубные станы для изготовления труб большого диаметра в Выксе, Волгограде, Челябинске и Ижевске, обеспечив импортозамещение.

В мировом производстве труб Россия занимает устойчивое третье место (табл. 22).

Трубопроводный транспорт в нефтегазовой промышленности является одной из самых металлоемких отраслей экономики. Сухопутные трубопроводные системы имеют очень высокую стоимость. В США в 2009 г. стоимость прокладки 1 км сухопутных трубопроводов составляла 2,3 млн долл., 1 км морских трубопроводов – 5,37 млн долл. В стоимости трубопроводных проектов большую половину составляют затраты на основной конструкционный материал – трубы.

Таблица 22

Ведущие мировые производители трубной продукции

Страна	Производство трубной продукции, тыс. т	Доля среди ведущих мировых производителей, %
Китай	36 459	47,8
Япония	9746	12,8
Россия	7821	10,3
США	4923	6,4
Южная Корея	4128	5,4
Германия	3945	5,2
Италия	3702	4,8
Канада	2948	3,9
Украина	2625	3,4

Источники: Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2010. № 5 (21). С. 3–11.

Удельные инвестиции в трубной отрасли являются одними из самых высоких в реальном секторе экономики и составляют 200 долл. на одну тонну готовой продукции. В ходе повышения глубины переработки трубной продукции происходит увеличение добавленной стоимости.

Например, стоимость стальной трубы примерно в 1,5 раза превышает стоимость штрипса¹; стоимость трубы с антикоррозионным покрытием (АКП) – в 2,2 раза, отводов – в 6,7 раз, а балластированной (обетонированной) трубы – в 7,4 раз.

Основная техническая политика в области труб для магистральных трубопроводов – создание мощностей по выпуску штрипсов нужной характеристики (в том числе из сталей высокой прочности); изготовление стальных труб, отвечающих международным стандартам, по новейшим технологиям с антикоррозионным (см. п. 11.6) и внутренним гладкостным покрытием; изготовление комплектующих трубных деталей и налаживание производства балластированных труб.

11.5.1. Трубопроводы из полимерных материалов

Более чем полувековой опыт эксплуатации стальных распределительных газопроводов показал, что в большинстве случаев нормативный срок их службы в 40 лет не выдерживается. В связи с этим не прекращались поиски альтернативного материала для подземных га-

¹ *Штрипс* (англ. strips, мн. ч. от strip – полоса, лента) – стальная полоса (шириной 30–400 мм и толщиной 1,75–10 мм), используемая в качестве заготовки при производстве сварных труб.

зопроводов, подверженных коррозионному разрушению на весь период эксплуатации в 40–50 лет, и способов соединения труб, которые не снижали бы его надежности.

Многочисленные исследования по использованию для рассматриваемых целей асбестоцементных труб не обеспечивали стабильности результатов из-за трудностей организации крупнотоннажного производства труб, их высокой стоимости и отсутствия надежного соединения.

Другой альтернативой стали трубы из полимерных материалов. Наиболее доступными и подходящими по свойствам для подземных газопроводов оказались поливинилхлорид (ПВХ) и полиэтилен (ПЭ).

Опытно-конструкторские и экспериментальные работы по определению возможности и условий эксплуатации пластмассовых подземных газопроводов в нашей стране были проведены еще в период 1958–1960-х гг. Строительство внутрипоселковых и межпоселковых газопроводов из полиэтилена силами АО «Гипрониигаз» началось с 1964 г., когда в Тамбове был построен первый опытный газопровод среднего давления протяженностью 1400 м. За ним последовали другие газопроводы, на которых велись наблюдения и исследования. На основании опыта эксплуатации действующих газопроводов были разработаны рекомендации по эксплуатации и ремонту подземных газопроводов из полиэтиленовых труб.

Появление с середины 90-х гг. XX в. импортных, а затем и отечественных труб из полиэтилена высокой плотности и низкого давления (см. пп. 17.2.1) марки ПЭ 80¹, а также сварочной техники с элементами автоматизации процесса сварки позволило снять ряд ограничений по применению полиэтиленовых труб в городах и применить их для реконструкции стальных изношенных трубопроводов. Трубные марки ПЭ нашли свое применение в основном в производстве труб холодного водоснабжения и газовых трубопроводов.

Запроектированные и построенные в соответствии с новыми требованиями полиэтиленовые газопроводы показали свою надежность при эксплуатации. За период строительства полиэтиленовых газопро-

¹ В настоящее время материалы классифицируются по показателю MRS (Minimal Required Strength = минимальная длительная прочность). Значение MRS включает показатель коэффициента запаса прочности и используется для расчета рабочего давления трубопровода. Трубный полиэтилен сокращенно обозначается как MRS 6,3, MRS 8 и MRS 10, что соответствует ПЭ 63, ПЭ 80 и ПЭ 100 (минимальная длительная прочность соответственно составляет 6,3, 8 и 10 МПа).

водов (начиная с 1980 г.) на территории России было официально зарегистрировано на порядок меньше аварийных ситуаций по сравнению с аналогичными стальными газораспределительными сетями.

Ярким примером высокой степени надежности полиэтиленовых трубопроводов в силу их высокой эластичности может служить анализ разрушений газопроводов при землетрясении, произошедшем в 1995 г. в г. Кобе (Япония). При практически полном разрушении газопроводов из материалов, характеризующихся большой жесткостью, полиэтиленовые газопроводы выдержали значительные смещения земли без нарушения герметичности.

Причиной надежности современных газопроводов из полиэтилена является необходимая техническая оснащенность специалистов отрасли газоснабжения и высокая культура монтажа ПЭ трубопроводов. Обязательными являются автоматический контроль параметров сварки с распечатками протокола на каждый стык.

Основные преимущества использования полиэтиленовых трубопроводов по сравнению с металлическими следующие:

- долговечность, гарантированный срок эксплуатации полиэтиленовых трубопроводов составляет 50 лет, расчетный срок – до 150 лет;
- коррозионная стойкость (см. п. 11.6).

Для термопластов характерным свойством является временная зависимость прочности от температуры и нагрузки. В период эксплуатации, кроме внутреннего давления, газопровод подвергается дополнительному воздействию внешних нагрузок – от подпора грунтовых вод, пучения грунта, грунта засыпки, сил, вызванных изменениями температуры трубопровода и др.

В настоящее время полиэтилен является самым оптимальным материалом для систем газоснабжения давлением до 1,2 МПа, в наилучшей степени сочетающим все свойства, необходимые для этих целей:

- низкая газопроницаемость;
- коррозионная стойкость к внешней среде и транспортируемому газу;
- высокая эластичность и ударопрочность в интервале рабочих температур от -20 до $+30^{\circ}\text{C}$;
- простота и надежность соединения;
- технологичность и экономичность в изготовлении как самих труб, так и соединительных деталей;
- легкость монтажа.

Длительная прочность полиэтилена во время эксплуатации выгодно отличается от других термопластов до 30°С, выше которых газопроводы не эксплуатируются. Другие полимерные материалы, в том числе появившиеся в последние десятилетия, по своим технологическим, физико-механическим или стоимостным показателям пока не могут составить заметной конкуренции трубам из ПЭ.

Наиболее применяемыми до настоящего времени являются полиэтиленовые трубы диаметром 110 и 160 мм.

Существующее в настоящий момент ограничение рабочего давления в газопроводах из полиэтиленовых труб до 0,6 МПа объясняется применением до последнего времени труб из ПЭ 80. Появившиеся на отечественном рынке трубы из ПЭ 100 дают возможность эксплуатировать газопроводы с рабочим давлением уже до 1,2 МПа.

Экспериментальный газопровод Присклоновое–Губкинский ГПЗ (давление – до 1,2 МПа) в Тюменской области построен из труб ПЭ 63 (диаметр – 225 мм) и предназначен для транспортировки попутного нефтяного газа. Газопровод давлением до 1,2 МПа в пригороде Краснокаменска Пермской области (1999) сооружен из бипластмассовых (с внутренним слоем из полиэтилена и наружным из стеклопластика) труб диаметром 75 мм, нормативные требования к которым для газопроводного транспорта еще не определены.

Экспериментальные исследования по повышению давления проводятся и в других странах. В Дании в 1998 г. проведена опытная прокладка газопровода давлением 0,7 МПа из труб ПЭ 100 марки HE 2492 фирмы «Borealis» (Австрия). В Германии в декабре 1996 г. построен первый в этой стране газопровод из ПЭ 100 (марки Eltex Tub 121 фирмы «Solvay», Бельгия) протяженностью 22 км, который выполнен из труб диаметром 180 и 225 мм. Для труб длиной по 12 м выполнялась стыковая сварка.

Следует отметить, что в настоящее время Западная Европа переживает настоящий бум применения ПЭ труб (особенно в системе холодного водоснабжения). В подавляющем количестве стран более 80% вновь вводимых в строй трубопроводных распределительных систем для газа и воды изготовлены из полиэтилена.

Газопровод в Оренбургской области является первым полноценным отечественным экспериментальным газопроводом. Гидравлический расчет показал, что максимальная пропускная способность газопровода составит 2032 м³/ч. Газопровод имеет общую длину 48 573 м, из них 48 370 м – полиэтиленовые трубы ПЭ 100 диаметром 160 мм,

имеющие минимальную толщину стенки 17,9 мм. Стальные трубы предусмотрены в начале (у ГРС) и в конце трассы. Полиэтиленовые трубы изготовлены ЗАО «Сибтрубпласт» (г. Тюмень). В качестве исходного сырья для производства труб использовался ПЭ 100 марки Eltex Tub 121 бельгийского концерна «Solvay» (плотность – 959 кг/м³).

Широкое применение газопроводов из полиэтиленовых труб сдерживается их низкой несущей способностью, при этом рабочее давление в них не превышает 1,0–1,2 МПа.

Таким образом, одним из перспективных направлений строительства трубопроводных систем и повышения их эксплуатационной надежности является использование трубопроводов из прогрессивных полимерных материалов.

11.5.2. Использование комбинированных труб

Наибольший материальный ущерб трубопроводной сети нефтепромыслов наносит коррозия, которая приводит к сокращению сроков службы стальных труб, возникновению аварийных ситуаций, повышению эксплуатационных и ремонтных расходов, к потерям транспортируемой продукции, снижению ее качества и загрязнению окружающей среды. Опыт эксплуатации стальных трубопроводов, транспортирующих высокоагрессивные среды нефтепромыслов, показывает, что средний срок их службы сокращается с 12–15 лет до 2–3 лет.

Однако применение коррозионно-стойких полиэтиленовых труб на нефтепромыслах невозможно по причине их относительно низкой несущей способности (рабочие давления транспортируемой среды не превышают 1,2 МПа, см. пп. 11.5.1).

Для расширения областей применения полиэтиленовых труб при более высоких давлениях разработаны и успешно применяются на нефтегазопромыслах комбинированные трубы нового поколения с рабочим давлением до 4,0 МПа и равнопрочными с телом трубы соединениями. Усилие полиэтиленовой оболочки обеспечивается либо армированием ее сварным проволочным каркасом – металлопластовые трубы (МПТ) или формированием на ней стеклопластиковой оболочки – бипластмассовые трубы (БПТ).

Производство таких труб освоено в настоящее время отечественной промышленностью, и они успешно прошли апробацию в условиях нефтегазопромыслов. К настоящему времени смонтировано и

успешно эксплуатируется в системах нефтегазосбора в общей сложности около тысячи километров трубопроводов из МПТ и БПТ.

Однако практика эксплуатации трубопроводов из металлопластиковых труб показала, что все-таки не удается избежать коррозии армирующих элементов и обеспечить их надежное герметичное соединение.

Трубы нового поколения армируются коррозионно-стойкими высокопрочными синтетическими нитями. Например, ООО «Технология композитов» начало серийное производство труб «Anaconda» из полиэтилена ПЭ 80 и армирующих полиэфирных нитей. Трубы предназначены для строительства подземных трубопроводов с рабочим давлением до 4,0 МПа при температуре в стенке трубы от -15°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Расчетный срок эксплуатации «Anaconda» на нефтепромыслах 25 лет.

К комбинированным трубам также относятся стальные трубы, футерованные полиэтиленом.

В практике восстановления изношенных трубопроводов достаточно широкое распространение получил метод введения во внутреннюю полость трубопровода секций из пластмассовых труб. Этот метод позволяет продлить срок работоспособности трубопровода, однако при этом снижается его пропускная способность.

Кроме того, введение во внутреннюю полость трубопровода секций из пластмассовых труб может позволить использовать трубопровод по другому назначению (например, бывший нефтепровод можно применять для подачи питьевой или технической воды и др.).

Таким образом, наиболее прогрессивным средством обеспечения высокой надежности трубопроводных систем нефтегазопромыслов является применение коррозионно-стойких труб нового поколения – комбинированных труб высокого давления.

11.6. Инновационные способы борьбы с коррозией магистральных трубопроводов

Стальные магистральные трубопроводы, уложенные в грунт, подвергаются почвенной коррозии, а проходящие над землей – атмосферной.

Для защиты трубопроводов от коррозии применяются пассивные и активные средства и методы. В качестве пассивного средства используются изоляционные покрытия, к активным методам относится электрохимическая защита.

В строительных нормах и правилах отмечается, что защита трубопроводов от подземной коррозии независимо от коррозионной ак-

тивности грунта и района их прокладки должна осуществляться комплексно: защитными покрытиями и средствами электрохимической защиты (ЭХЗ).

Электрохимическая защита осуществляется катодной поляризацией трубопроводов. Если катодная поляризация производится с помощью внешнего источника постоянного тока, то такая защита называется *катодной*, если же поляризация осуществляется присоединением защищаемого трубопровода к металлу, имеющему более отрицательный потенциал, то такая защита называется *протекторной*.

Опыт эксплуатации и диагностики подземных трубопроводов показывает, что различные виды коррозии (общая, язвенная, а также водородная коррозия с переходом в коррозионное растрескивание под напряжением) могут развиваться в зависимости от следующих причин:

- свойств перекачиваемых продуктов;
- состояния изоляционного покрытия;
- эффективности электрохимической защиты;
- режима нагружения трубопровода.

Коррозия является одной из основных причин разгерметизации и разрушения большинства подземных трубопроводов. Например, анализ аварийности на газопроводах ПАО «Газпром» показывает, что, несмотря на растущий объем информации о состоянии трубных линий, значительная часть (более 50%) аварий и инцидентов на линейной части магистральных газопроводов происходит по причине коррозионных дефектов, ранее выявленных внутритрубной дефектоскопией.

На магистральных газопроводах более половины всех аварий на линейной части связаны с наводораживанием¹ и коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН), которые развиваются с наружной поверхности трубопроводов. Причинами этих процессов являются неудовлетворительное состояние изоляционного покрытия, высокие рабочие давления и, как следствие, повышенные механические напряжения в стенке труб.

Источником атомарного водорода является грунтовая вода, всегда содержащая ионы гидроксония (H_3O^+). Под действием катодного потенциала на трубе положительные ионы водорода восстанавливаются в атомарный водород, который обладает очень большой подвижностью и проникающей способностью. На магистральных неф-

¹ *Наводораживание* – это процесс диффундирования (проникновения) водорода в кристаллическую решетку металлов, приводящий к повышению его хрупкости и снижению прочности.

тепловых разрушения по механизму наводораживания и КРН также начали происходить в последние годы главным образом на концентраторах напряжений и участках с высокими проходными давлениями. На магистральных нефтепродуктопроводах разрушения по механизму КРН пока не наблюдались, поскольку в них значительно ниже рабочие давления и механические напряжения в стенке труб.

На всех магистральных трубопроводах происходит развитие коррозионных дефектов типа «потеря металла». Закономерности распределения таких дефектов в основном зависят от состояния изоляционного покрытия. Концентрация дефектов в секторах ниже горизонтального диаметра и в районе нижней образующей трубы свидетельствует о неплотном прилегании изоляционного покрытия к поверхности трубопроводов.

Таким образом, коррозия трубопроводов протекает по двум основным механизмам:

- без потери металла (наводораживание и растрескивание);
- с потерей металла (общая и язвенная коррозия).

Иногда оба механизма действуют одновременно.

Хотя эти механизмы сильно отличаются друг от друга, их скоростью можно управлять одним способом – путем повышения качества и надежности изоляционного покрытия. Только при отсутствии доступа грунтовой воды к металлу труб прекратятся все химические и электрохимические реакции на поверхности металла, в том числе и выделение атомарного водорода.

В 60–70-е гг. XX в. была построена разветвленная сеть магистральных трубопроводов, изолированных полимерными лентами трассового нанесения и покрытиями на основе битума, армированного стеклохолстом. К настоящему времени эти покрытия во многих случаях снизили свою работоспособность. Старение и износ изоляционных покрытий, а также потеря их диэлектрических свойств приводят со временем к затруднениям при поддержании нормированных значений защитных потенциалов на всех сетях подземных стальных трубопроводов.

Начиная с 80-х гг. прошлого века появилось много разработок в направлении совершенствования изоляционных покрытий, начали применяться новые изоляционные материалы.

В настоящее время при строительстве магистральных нефтепроводов практически не применяются полимерные ленточные и битумно-мастичные покрытия трассового нанесения. Данные типы защит-

ных покрытий используются лишь при проведении работ по ремонту и переизоляции нефтепроводов. Новое строительство магистральных трубопроводов осуществляется с применением труб, фасонных соединительных деталей и задвижек трубопроводов, имеющих заводские покрытия на основе современных полимерных материалов.

В трассовых условиях осуществляется только изоляция зоны сварных стыков трубопроводов покрытиями на основе термоусаживающихся полимерных лент. Конструктивно такое защитное покрытие, наносимое по жидкому двухкомпонентному эпоксидному праймеру, аналогично заводскому полиэтиленовому покрытию труб и обладает достаточно высокими защитными и эксплуатационными свойствами.

Но при всем имеющемся многообразии защитных покрытий практически невозможно сделать выбор в пользу только одного универсального покрытия, которое бы отвечало всем предъявляемым требованиям и обеспечивало эффективную защиту трубопроводов от коррозии при различных условиях строительства и эксплуатации.

Необходимо отметить, что в последние 10 лет общий уровень противокоррозионной защиты трубопроводов значительно повысился за счет внедрения новых технологий, качественных изоляционных материалов, широкого использования при строительстве трубопроводов, труб и фасонных деталей с заводскими покрытиями. Современные защитные покрытия при условии выполнения требований по строительству и укладке трубопроводов способны обеспечить их безаварийную (по причине коррозии) работу на весь период эксплуатации (40–50 лет и более).

Рассмотрим основные типы современных покрытий, применяемые в настоящее время для антикоррозионной защиты магистральных газо- и нефтепроводов и трубопроводной арматуры.

11.6.1. Тенденции развития в сфере заводских покрытий труб, фасонных деталей и задвижек трубопроводов

Выбор изоляционных материалов и оптимальных систем защитных покрытий определяется многими факторами, но в целом очевидно, что наиболее высокими показателями обладают защитные покрытия труб, соединительных деталей и запорной арматуры трубопроводов заводского нанесения. Только в стационарных заводских или базовых условиях можно обеспечить высокое качество подготовки поверхности труб (очистку, технологический нагрев до требуемой тем-

пературы) и нанесение защитных покрытий с применением технологий, оборудования и материалов, которые невозможно использовать при трассовом способе изоляции трубопроводов.

В качестве заводских покрытий труб при строительстве магистральных трубопроводов чаще всего применяются эпоксидные, полипропиленовые и полиэтиленовые защитные покрытия. В США, Канаде, Великобритании и в ряде других стран наиболее популярны заводские эпоксидные покрытия труб толщиной 350–400 мкм. Покрытия труб на основе порошковых эпоксидных красок обладают высокой адгезией¹ к стали, стойкостью к катодному отслаиванию, повышенной теплостойкостью (до 80–100°C). В то же время низкая ударная прочность эпоксидных покрытий, особенно при минусовых температурах, в значительной степени ограничивает область их применения.

В зарубежной практике в последние годы все большее предпочтение стали отдавать двухслойным эпоксидным покрытиям труб. Такие покрытия, состоящие из внутреннего изоляционного и наружного защитного слоя общей толщиной 750–1000 мкм, обладают высокой стойкостью к абразивному износу, к истиранию, имеют повышенную ударную прочность, которая практически не изменяется при температурах окружающей среды от +40°C до –40°C. Производство труб с современным двухслойным эпоксидным покрытием освоили на Волжском трубном заводе.

К одним из наиболее перспективных наружных покрытий трубопроводов относятся заводские полипропиленовые покрытия. По сравнению с заводскими полиэтиленовыми покрытиями труб полипропиленовые характеризуются более высокой теплостойкостью (до 110–140°C), повышенной стойкостью к удару, продавливанию, срезу и истиранию. Они предназначены прежде всего для строительства подводных переходов, прокладки трубопроводов в скальных грунтах, бестраншейной прокладки трубопроводов.

При всех преимуществах заводских полипропиленовых покрытий труб они обладают одним, но достаточно серьезным недостатком – низкой морозостойкостью. Это ограничивает возможность их использования в зимнее время, при температурах хранения изолированных труб ниже –20°C и при температурах строительства трубопроводов ниже –10°C.

¹ *Адгезия* (от лат. *adhaesio* – прилипание) – сцепление поверхностей двух разнородных твердых или жидких тел.

Наибольшую популярность при строительстве отечественных магистральных трубопроводов получили в последние годы заводские двухслойные и трехслойные полиэтиленовые покрытия труб.

Двухслойное полиэтиленовое покрытие на основе термоплавкого полимерного подслоя толщиной 300–500 мкм и наружного полиэтиленового слоя общей толщиной не менее 2,5–3,0 мм впервые стало применяться в нашей стране для строительства трубопроводов начиная с 1981 г. (Альметьевский, Харцызский трубные заводы). За рубежом заводские полиэтиленовые покрытия труб применяются вот уже более 40 лет. Накопленный за эти годы опыт практического применения подтвердил высокую эффективность заводского полиэтиленового покрытия и его способность обеспечивать надежную защиту трубопроводов от коррозии на протяжении многих лет их эксплуатации. Процесс заводской двухслойной изоляции труб освоен многими отечественными предприятиями и постепенно вытеснил битумную и полимерную ленточную изоляцию труб.

Адгезия существующих изоляционных покрытий к поверхности труб имеет физическую природу, обусловленную адсорбционными процессами на поверхности металла, и со временем снижается. Одной из причин является диффузия агрессивных компонентов (кислорода, воды) к поверхности металла и участие в следующих электрохимических реакциях: атом железа под воздействием молекул воды и кислорода превращается в ион железа с последующим превращением в оксиды и гидроксиды железа. Продукты коррозии накапливаются на границе «металл–покрытие». Происходит разрушение адгезионных связей и покрытие со временем отторгается от поверхности трубы. Указанные процессы будут лимитироваться лишь скоростью диффузии. А диффузия молекул кислорода и воды в любом случае будет иметь место, поскольку абсолютно непроницаемых изоляционных материалов не существует.

Новый подход к проблеме изоляции заключается в разработке таких изоляционных материалов, адгезия которых к поверхности металла обеспечивается не за счет физического приклеивания (сорбция), а за счет образования химических связей функциональных групп молекул органического вещества, входящего в состав покрытия, с активными атомами металла трубы. Такой принцип защиты металла от коррозии относится к нанотехнологиям, т. е. процессам, осуществляемым на молекулярном уровне. Благодаря такому химическому взаимодействию на поверхности металла происходит образование ориентированных комплексных соединений.

Примером такого покрытия, в частности, является заводское трехслойное покрытие, имеющее в своем составе эпоксидный праймер (эпоксидная смола и отвердитель) толщиной 100–200 мкм. В процессе нанесения покрытия под воздействием тепла активизируются химические процессы образования адгезионной связи, происходит «сшивание» эпоксидного праймера и формирование устойчивой связи «металл–покрытие». В результате образуется прочное защитное изоляционное покрытие с высокой адгезией, повышенной стойкостью к воздействию воды и катодному отслаиванию. Благодаря этому трехслойное покрытие является более эффективным и долговечным по сравнению с другими покрытиями, в том числе и заводским двухслойным покрытием.

Трехслойное полиэтиленовое покрытие, полученное на основе современных качественных изоляционных материалов, характеризуется повышенной теплостойкостью (до 80°C). Под трехслойными покрытиями не было зафиксировано случаев стресс-коррозии трубопроводов.

На сегодняшний день трехслойное полиэтиленовое покрытие труб внедрили на 10 отечественных предприятиях. Однако необходимо также отметить, что до настоящего времени для заводской трехслойной полиэтиленовой изоляции труб применялись и применяются исключительно импортные материалы.

Отечественные материалы используются в основном для двухслойной полиэтиленовой изоляции труб малых и средних диаметров и практически не применяются в системах трехслойных полиэтиленовых покрытий труб, предназначенных для строительства магистральных трубопроводов.

В связи с широким применением при строительстве трубопроводов стальных труб с заводскими покрытиями появилась острая необходимость и в создании производств по заводской изоляции элементов трубопроводов – гнутых отводов, соединительных деталей, запорной арматуры. В качестве заводских покрытий фасонных соединительных деталей и задвижек магистральных трубопроводов наибольшую популярность получили полиуретановые и эпоксидно-полиуретановые защитные покрытия. Данные типы защитных покрытий, наносимые на очищенную поверхность изолируемых изделий методом «горячего» безвоздушного распыления двухкомпонентных (основа и отвердитель) изоляционных материалов, по толщине, температурному диапазону применения, комплексу защитных и эксплуа-

тационных свойств сопоставимы с заводскими полимерными покрытиями труб.

Следует отметить, что современное трубопроводное оборудование снабжается специальным устройством «локатор дефектов», которое позволяет получать централизованно на диспетчерском пункте автоматический сигнал о появлении и местоположении любого коррозионного или механического пробоя трубопровода.

11.6.2. Инновации в сфере осуществления изоляции трубопроводов в полевых условиях

Процесс нанесения трехслойного покрытия на трубопроводы возможен только в стационарных (заводских) условиях. Как отмечено выше, трубы с заводским покрытием применяются при строительстве новых трубопроводов и при капитальном ремонте старых трубопроводов с заменой труб (т. е. с остановкой трубопровода на длительное время). Имеются десятки тысяч километров трубопроводов, требующих защиты от коррозии в настоящее время, которые нельзя останавливать надолго. Эти трубопроводы необходимо ремонтировать без остановки перекачки продуктов, следовательно, только в полевых условиях. Для таких трубопроводов разработана серия новых изоляционных материалов на основе нефтеполимера Асмол (асфальтосмолистый олигомер), разработчиком которого является ООО «НИЦ “Поиск”» (г. Уфа).

Комплекс проведенных исследований показал, что после выдержки в Асмоле металлических образцов на их поверхности образуется поверхностный слой толщиной 5–30 мкм, имеющий кристаллическую решетку. Толщина этого слоя со временем увеличивается. Этот слой имеет сложный химический состав и сложную решетку. Химический состав слоя отличается от основы (металла трубы), следовательно, происходит химическое взаимодействие молекул Асмол с молекулами железа на поверхности трубы.

Наличие когерентности между покрытием и основой свидетельствует о высокой когезивной¹ прочности покрытия. Образование на поверхности трубы дополнительного слоя за счет химического взаимодействия Асмол с железом значительно повышает защитные свойства изоляционного покрытия Асмол и обеспечивает необходимую долговечность и надежность при переизоляции трубопроводов в полевых условиях.

¹ *Когезия* (от лат. cohaesus – связанный, сцепленный) – сцепление молекул (атомов, ионов) физического тела под действием сил притяжения.

Накопленные к настоящему моменту сведения по практическому применению новых изоляционных материалов позволяют утверждать, что изоляционное покрытие на основе Асмола способно затормозить коррозию на наружной поверхности подземных трубопроводов как по механизмам потери металла (общую и язвенную коррозию), так и по механизмам водородной коррозии и коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН).

Кроме необходимости осуществления ремонта трубопроводов без остановки перекачки продуктов, в настоящее время еще не до конца решены вопросы по противокоррозионной защите сварных стыков труб. Их изоляция производится исключительно в трассовых условиях после завершения сварочных работ и выполнения операций по контролю качества сварки. В сложных климатических условиях при круглогодичном строительстве трубопроводов трудно обеспечить хорошее качество очистки зоны сварных стыков трубопроводов и нанесение на них защитного покрытия, близкого по конструкции и показателям свойств к заводскому полиэтиленовому покрытию труб. Еще не так давно для изоляции сварных стыков применялись в основном битумно-мастичные покрытия и покрытия на основе липких полимерных лент.

Данные типы покрытий по своим характеристикам и температурному диапазону применения значительно уступали полиэтиленовым покрытиям труб и имели недостаточно высокую адгезию в местах нахлеста на заводское покрытие. Ситуация значительно улучшилась с началом применения для этой цели защитных покрытий на основе термоусаживающихся полимерных лент. Конструктивно покрытие на основе термоусаживающейся ленты состоит из адгезионного подслоя, полученного с использованием термоплавкой полимерной композиции, и наружного защитного слоя на основе сшитой и ориентированной в продольном направлении полиэтиленовой пленки. Такая конструкция покрытия аналогична конструкции двухслойного полиэтиленового покрытия труб. Если перед нанесением термоусаживающихся лент производить праймирование зоны сварного стыка труб жидким двухкомпонентным эпоксидным праймером, то конструкция защитного покрытия будет полностью соответствовать конструкции заводского трехслойного полиэтиленового покрытия труб (эпоксидный праймер, адгезив, полиэтилен). Технология очистки зоны сварных стыков и нанесения на них термоусаживающихся лент хорошо отработана и применяется при строительстве трубопроводов самого различного назначения.

В зарубежной практике для изоляции сварных стыков труб все чаще стали применяться быстроотверждающиеся двухкомпонентные полиуретановые покрытия трассового нанесения, аналогичные покрытиям, используемым для изоляции фитингов и задвижек трубопроводов.

11.7. Перекачка нефтепродуктов с применением противотурбулентных присадок

Введение небольших количеств полимеров с большой молекулярной массой в трубопровод с турбулентным потоком жидкости снижает его гидравлическое сопротивление. Это явление в 1948 г. открыл английский химик Б. А. Томс (Toms), который установил, что при добавлении в воду полимерной добавки трение между турбулентным потоком и трубопроводом значительно снижается. Томс работал с полиметилметакрилатом, растворенным в монохлорбензоле; в последующие годы ученые и изобретатели в различных странах нашли много других присадок, работающих еще более эффективно.

Эффект Томса обусловливается образованием на границе «твердое тело – жидкость» молекулярных растворов, которые ограничивают турбулентность потока. Установлено, что добавка полимеров более эффективно действует при высоких скоростях потока, где развивающаяся турбулентность потока больше.

Так, при добавлении в дизельное топливо слабого раствора суспензионной противотурбулентной присадки Necadd-447 (произведенной в Финляндии) в ламинарном режиме движения топлива данная добавка не оказывает влияния на гидравлическое сопротивление. Область ее действия находится в диапазоне чисел Рейнольдса¹ $Re = 2,4 \cdot 10^5 - 6,5 \cdot 10^5$. Максимальное снижение сопротивления присадкой наблюдается при значении $Re = 4,7 \cdot 10^5$, причем величина этого снижения зависит от концентрации присадки.

Указанное явление вызывает теоретический и практический интерес по следующим причинам:

- изучение явления снижения гидравлического сопротивления турбулентных потоков приближает к пониманию процессов возникновения и рассеяния турбулентности;

¹ Число (критерий) Рейнольдса (Re) характеризует гидродинамический режим и является мерой отношения сил инерции и внутреннего трения в потоке; названо в честь английского физика и инженера О. Рейнольдса (Reynolds); при расчете магистральных трубопроводов обычно принимается, что при $Re \geq 2320$ имеет место турбулентный режим, а при $Re < 2320$ – ламинарный.

- есть возможность решения энергосберегающих проблем в технологических процессах энергоемких объектов, в частности транспортировки энергоносителей по магистральным трубопроводам.

Началом коммерческого использования противотурбулентных присадок (ПТП) можно считать 1979 г., когда компания, эксплуатирующая Трансаяский магистральный нефтепровод (диаметром 1200 мм), начала использовать специальные добавки, снижающие гидравлическое сопротивление. В течение двух лет за счет использования указанных добавок пропускная способность нефтепровода была увеличена на 16–32 тыс. м³ в сутки.

В нашей стране противотурбулентные присадки уже более 10 лет используются на магистральных нефтепродуктопроводах. Начало внедрения ПТП в практику трубопроводного транспорта светлых нефтепродуктов относится к 1999 г., когда для увеличения пропускной способности магистрального нефтепродуктопровода Красный Бор – Морской порт ОАО «Петербургтранснефтепродукт» при перекачке дизельного топлива была использована гелевая противотурбулентная присадка.

В настоящее время для обеспечения увеличения объемов транспортировки светлых нефтепродуктов в АО «Транснефтепродукт» принимается комплекс мероприятий, включающий в том числе использование полимерных ПТП, которые вводятся в перекачиваемый нефтепродукт для повышения производительности магистрального нефтепродуктопровода. Современные присадки на объектах дочерних обществ АО «Транснефтепродукт» используются при транспортировке дизельного топлива и позволяют увеличить на 10–30% пропускную способность участков магистральных нефтепродуктопроводов без замены установленного на перекачивающих станциях насосного оборудования.

Опыт применения присадок показал надежность и экологичность данной технологии перекачки нефтепродуктов. Использование ПТП является одним из приоритетных направлений научно-технического прогресса в области трубопроводного транспорта жидких углеводородов, потенциал которого необходимо постоянно совершенствовать.

В период 2000–2004 гг. ООО «Институт проблем транспорта энергоресурсов» (ООО «ИПТЭР») проводил серию опытно-промышленных испытаний на магистральных нефтепроводах Российской Федерации и Республики Казахстан, а также на нефтепроводной системе международного нефтетранспортного проекта «Каспийский трубопро-

водный консорциум» (КТК), целью которых было исследование гидравлической и технико-экономической эффективности противотурбулентных присадок импортного производства компаний: «Сопосо» (США), «Baker Petrolite» (США), «Fortum» (Финляндия). В частности, по заданию ПАО «Транснефть» ООО «ИПТЭР» совместно со специалистами ООО «Балтнефтепровод» (в 2014 г. переименовано в ООО «Транснефть-Балтика») в 2003 г. провело опытно-промышленные исследования гидравлической и технико-экономической эффективности импортной противотурбулентной присадки (производства компании «Сопосо») на нефтепроводе Балтийской трубопроводной системы (на участке нефтеперекачивающая станция (НПС) «Невская» – специальный морской нефтепорт (СМНП) «Приморск»).

В результате опытно-промышленных испытаний (ОПИ) было установлено, что ввод в нефтепровод противотурбулентной присадки концентрацией 20 ppm¹ позволяет увеличить пропускную способность на участке НПС «Невская» – СМНП «Приморск» на 17% (для режимных условий, характерных для ОПИ).

В настоящее время на нефтепроводе Тихорецк–Новороссийск-1 (диаметром 500 мм) успешно применяется противотурбулентная присадка Liquid Power компании «СопосоPhillips». Промышленное применение данной присадки показало, что повышение производительности нефтепровода до 25% с помощью присадок является рентабельным.

При испытании импортных присадок на российских нефтепроводах установлено, что гидравлическое сопротивление при вводе ПТП может быть снижено на участке длиной 483 км до 50–60%. Как показывает технико-экономический анализ, увеличение пропускной способности нефтепроводной системы за счет применения противотурбулентной присадки на 15–20%, несмотря на относительно высокую стоимость (~13 500 долл. США за 1 м³ ПТП), позволяет трубопроводной компании получить дополнительную тарифную выручку, исчисляемую примерно 30–90 млн долл. США.

Высокая экономическая эффективность использования противотурбулентной присадки дает основание для поиска дополнительных резервов снижения затрат, связанных с применением ПТП. Одним из таких резервов, как показывают расчеты, является снижение затрат,

¹ ppm – parts per million = миллионная доля (1 ppm = 0,0001%); при массовых соотношениях 1 ppm = 1 г/т.

связанных с приобретением присадки, посредством снижения ее цены. Наиболее реальным и возможным в этом направлении является импортозамещение присадки.

Промышленное производство отечественной противотурбулентной присадки до настоящего времени не организовано. В то же время лабораторные исследования последних лет, выполненные в Институте химии нефти СО РАН, свидетельствуют об определенном прогрессе в решении проблемы синтеза отечественной противотурбулентной присадки. При сравнительных исследованиях эффективности отечественных и импортных присадок следует, что изучаемые ПТП по-разному ведут себя в области малых концентраций, что можно объяснить различными молекулярными характеристиками исследуемых образцов и содержанием активного полимера в дисперсной среде. Однако в области рабочих концентраций (15–20 ppm) и напряжениях сдвига, реализуемых на магистральных трубопроводах, все присадки (в том числе и отечественного производства, например α -Каучук) показывают высокую антитурбулентную эффективность, что, по мнению авторов разработки, является основанием для рекомендаций по промышленному внедрению российской добавки вследствие низкой стоимости.

Технико-экономическое обоснование применения противотурбулентных присадок отечественного производства базируется на следующих исходных предпосылках:

- экономический эффект от применения ПТП основан на технологическом эффекте увеличения пропускной способности нефтепровода при вводе ПТП на его лимитирующих участках;
- в качестве базового варианта при расчете экономической эффективности ПТП принимаются технические и экономические показатели импортных присадок, используемых в настоящее время в системе магистральных нефтепроводов ПАО «Транснефть»;
- в качестве предлагаемых вариантов при расчете экономической эффективности принимаются ожидаемые технические и экономические (стоимостные) показатели, заявленные отечественными производителями на основе предварительных лабораторных тестов.

Таким образом, в настоящее время весьма перспективным является создание отечественных противотурбулентных присадок и химических агентов, способных обеспечить снижение гидравлического сопротивления в турбулентных потоках на 55–60%. При этом рыночное преимущество отечественной присадки будет состоять в том, что она будет в два и более раз дешевле импортной.

11.8. Технологии сооружения подводных переходов методом наклонно направленного бурения

В 60–70-х гг. прошлого века в связи со старением трубопроводных систем в Европе, США и Канаде участились отказы и аварии на подводных переходах. Для повышения надежности эксплуатации переходов и обеспечения повышенных требований к экологической безопасности начался интенсивный поиск новых технологий их сооружения. В 1971 г. американская фирма «Cherington» построила на реке Пейджере в Калифорнии подводный переход принципиально новым методом – наклонно направленным бурением (ННБ). А уже через 20 лет по этой технологии были сооружены 2100 переходов, причем их диаметр возрос до 1200 мм, а максимальная длина превысила 2 км.

В Советском Союзе в 1985 г. в отраслевой лаборатории Миннефтегазостроя при МИНХ и ГП им. И. М. Губкина¹ разработали и изготовили первый опытный проходческий комплекс наклонно направленного бурения КПП-1. Этим комплексом были выполнены переходы через реки Клязьму, Нару, Сетунь и Москву. За короткий период, начиная с 1986 г. наклонно направленное бурение переходов под реками и другими водными препятствиями развилось в самостоятельную отрасль строительства, хорошо оснащенную современной техникой, располагающую профессионально подготовленными кадрами с непрерывно возрастающими объемами работ на новых трубопроводных проектах и при реконструкции старых систем.

В настоящее время способ ННБ широко используется в России на проектах современных трубопроводных систем при замене траншейных речных переходов, которых только на магистралях насчитывается около 4 тыс. Вместе с резервными нитками в России эксплуатируется около 6 тыс. переходов трубопроводов через водные препятствия.

За последние годы в России инновационный метод сооружения подводных переходов магистральных и промысловых трубопроводов наклонно направленным бурением (ННБ) получил широкое распространение.

Технология бестраншейного строительства подводных переходов трубопроводов обладает целым рядом существенных преимуществ перед траншейным методом (табл. 23).

¹ МИНХ и ГП им. И. М. Губкина – Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина – так в период 1958–1984 гг. именовался Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина.

**Сравнительная характеристика сооружения водных переходов
методом ННБ и траншейным способом**

Траншейный метод	Метод наклонно направленного бурения
<i>Объем работ и сроки</i>	
Привлечение большого количества тяжелой техники и рабочей силы	Один компактный буровой комплекс с персоналом
Длительные сроки строительства	Сокращение сроков строительства от 2 до 20 раз
Большой объем земляных работ	Земляные работы сведены к минимуму (подводная траншея отсутствует)
<i>Дополнительные расходы</i>	
Эксплуатационные расходы на контроль и ремонт (внутритрубная диагностика, укрепление берегов и водозлазные обследования, подсыпка размываемых трубопроводов, ремонт изоляции)	Затраты на внутритрубную диагностику
Расходы на восстановление речной экосистемы (зоопланктона, рыбных ресурсов)	Отсутствие данного вида расходов
Риск механических повреждений при ледоставе и судоходстве, затраты на их устранение	Исключает любые механические повреждения трубопровода
Строительство резервной нитки трубопровода	Возможность отказа от резервной нитки трубопровода
<i>Экология и человек</i>	
Нарушение речной экосистемы (неизбежное уничтожение рыбы и зоопланктона)	Исключает вмешательство в речную экосистему
Выброс в реку газа и нефтепродуктов в результате механических повреждений	Исключает выброс газа и нефтепродуктов в реку
Зависимость от периода навигации, нарушение режима речного транспорта	Не прерывается судоходство, движение автомобильного и железнодорожного транспорта
Нарушение дорожного покрытия	Дорожное покрытие остается нетронутым
Нарушение нормального ритма жизни людей	Не причиняет неудобств людям

Источник: Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2008. № 1 (11). С. 30–37.

Метод ННБ позволяет сохранить природный ландшафт и экологический баланс в местах проведения работ, исключить техногенные воздействия на флору и фауну, размыв берегов и донных отложений водоемов и минимизировать негативное влияние на условия проживания людей в зоне проведения работ при строительстве, а также при эксплуатации переходов.

В России накоплен большой опыт в строительстве подводных переходов методом наклонно направленного бурения.

При выполнении многих порой уникальных проектов доказано преимущество этого метода перед траншейным. Особенно значимы результаты по экологической безопасности. Практически нет техногенных воздействий, разрушающих природные массивы, природное равновесие.

В практику строительства переходов вошло производство работ в зимнее время, и дорогое буровое оборудование не простаивает в осенне-зимний период. Впервые построены методом ННБ переходы диаметром 1420 мм; выполнены уникальные по протяженности и сложности дюкеры¹ через Волгу, Енисей и Обь. Применение новой технологии позволило обеспечить высокую эффективность сооружения подводных переходов, новый уровень надежности и, что особенно важно, экологическую безопасность строительства и эксплуатации ответственного сооружения линейной части магистральных и промысловых трубопроводов.

Строительство переходов осуществляется в несколько этапов:

- бурение пилотной скважины;
- расширение скважины;
- протаскивание трубопровода.

Начальным этапом строительства перехода является бурение пилотной (направляющей) скважины. Управляемая буровая головка по криволинейной траектории проходит под преградой. Положение буровой головки во время бурения контролируется при помощи специального зонда, передающего данные измерений на поверхность, где они проходят компьютерную обработку. За положением бура ведется постоянный контроль, и оператор буровой установки имеет возможность в любой момент откорректировать намечающиеся отклонения. Точность выхода пилотной скважины в намеченную точку составляет ± 10 см.

¹ Дюкер (от нем. Düker – сифон) – напорный водовод, прокладываемый под руслом реки или канала, по склонам и дну глубокой долины (оврага), под дорогой и т. п. для пропуска пересекающего их водотока (канала).

После выхода буровой головки в намеченную точку осуществляется расширение скважины. Через пробуренную скважину предварительно протаскиваются разные по диаметру и типу расширители до тех пор, пока скважина не достигнет требуемого диаметра. Выбуренный грунт при расширении смешивается с буровым раствором и выносится на поверхность в специальные приямки и амбары.

При бурении скважин применяется многоэтапное расширение через 200–300 мм, что позволяет увеличить скорость бурения, оптимизировать требования к свойствам бурового раствора. Среди расширителей наиболее целесообразны одно- или двухступенчатые бочкообразные расширители.

Для твердых по буримости пород необходимо применение расширителей с шарошечным вооружением и твердосплавными элементами по всей поверхности расширителя. Такие расширители приемлемы для проходки разных по категории грунтов и переходов из одного типа грунта в другой.

Сохранность изоляционного покрытия при протаскивании в гравийно-галечных грунтах и других сложных геологических условиях – нерешенная задача. Нужны дополнительные защитные покрытия в заводских условиях или применение труб из сталей, слабо подверженных коррозии. Например, специализированная компания по горизонтально направленному бурению ООО ИПСК «НГС-Темпобур», выполняя переход через р. Терек, при пересечении гравийно-галечникового слоя у поверхности применила локальный кожух, а на переходе через р. Волхов на изоляционное заводское покрытие наносились два слоя эпоксидного состава и стеклохолста.

Заключительным этапом является протаскивание дюкера трубопровода в пробуренную и расширенную скважину. Перед трубопроводом в скважине идет расширитель и специальный вертлюг, предотвращающий скручивание трубы.

В настоящее время для бурения наклонно направленных скважин подводных переходов в основном используется зарубежное оборудование. Буровые установки, буровой инструмент и навигационная техника приобретаются у немецких, голландских и американских фирм.

При большой потребности в строительстве подземных переходов методом ННБ в стране нет никакой машиностроительной базы для централизованного изготовления бурового оборудования и бурового инструмента. Производители бурового оборудования для нефтяной и

газовой промышленности проблемами ННБ не занимаются. Нет и сервисного обслуживания техники ННБ.

Из-за отсутствия заводского производства специального инструмента и приспособлений для способа ННБ в стране, а также из-за дороговизны зарубежного бурового инструмента российские строительные организации вынуждены заниматься их изготовлением самостоятельно. Например, в ОАО «Подводтрубопроводстрой» освоено конструирование и изготовление расширителей, камнеуловителей, элеваторов. ООО «Газпром добыча Краснодар» своими силами сконструировало и изготовило установку УГБ-150 с тяговым усилием 150 кН для строительства переходов диаметром 1020 мм. Установка успешно прошла испытания.

Следует особо отметить, что, несмотря на трудности, в России впервые в мировой практике методом ННБ освоено сооружение подводных переходов диаметром до 1420 мм включительно, т. е. практически способ может быть использован на всех строящихся нефтепроводах и газопроводах.

Метод ННБ также можно использовать при пересечении морскими трубопроводами береговой линии, береговых примыканий трубопроводов. Этот способ позволяет отказаться от сложного возведения шпунтового ограждения в море, осуществлять выход трубопроводов на сушу при отвесных берегах, пересечении дорог, волнобойных стенок на берегу. А главное, миновать зону интенсивного волнового воздействия, размыва грунта (приливы, отливы), воздействия айсбергов и стамух, полосу человеческой активности (тралы, якоря).

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные сценарные варианты развития транспортной системы России.
2. Реализацию каких транспортных проектов в сфере трубопроводного транспорта подразумевает инерционный вариант развития?
3. Что предполагает энергосырьевой вариант развития трубопроводных систем?
4. Каковы основные преимущества при реализации инновационного варианта развития трубопроводного транспорта?
5. Какие объекты включает в себя современная система трубопроводного транспорта России?
6. Какова протяженность магистральных нефтепроводов и газопроводов в Российской Федерации?

7. Перечислите основные недостатки транспортировки сжиженного углеводородного газа железнодорожным транспортом по сравнению с перекачкой по продуктопроводам.

8. Каковы преимущества инновационного способа транспортировки по магистральным трубопроводам сжиженного природного газа?

9. Каково распределение производства трубной продукции по странам мира?

10. Перечислите основные преимущества использования полиэтиленовых газо- и водопроводов по сравнению с металлическими.

11. Какие факторы сдерживают широкое применение газопроводов из полиэтиленовых труб?

12. Каковы области применения и перспективы развития комбинированных труб высокого давления?

13. Какие методы защиты от коррозии применяются для магистральных трубопроводов?

14. По каким основным причинам может развиваться коррозия подземных трубопроводов?

15. Перечислите тенденции развития в области заводских покрытий труб.

16. Опишите основные инновации в сфере осуществления изоляции трубопроводов в полевых условиях.

17. Каковы возможные перспективы создания и использования противотурбулентных присадок?

18. Дайте сравнительную характеристику сооружения водных переходов методом наклонно направленного бурения и траншейным способом.

ГЛАВА 12

НАПРАВЛЕНИЯ И ФОРМЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Поступив на нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), нефть становится сырьем для производства нефтепродуктов путем ее переработки. *Нефтепродуктами* называются смеси углеводородов и некоторых их производных, а также индивидуальные химические соединения, получаемые при переработке нефти и используемые в качестве топлив (например, моторное топливо: бензин, дизельное топливо, авиационный керосин), смазочных материалов (смазочные масла, пластичные смазки и смазочно-охлаждающие жидкости), электроизоляционных сред, растворителей, дорожных покрытий (например, на основе нефтяных технических битумов), нефтехимического сырья и для других целей. Значительная часть нефтепродуктов представляет собой смеси отдельных углеводородных компонентов, содержащие различные добавки и присадки, улучшающие свойства нефтепродуктов и повышающие стабильность их эксплуатационных характеристик.

Нефтепродукты, представляющие собой индивидуальные химические соединения (бензол, толуол, ксилол и др.), применяются в основном как нефтехимическое сырье. В качестве химического сырья используются также газы нефтепереработки и многие другие продукты термической и каталитической переработки нефти.

Проблема экологической безопасности функционирования нефтеперерабатывающей промышленности мира – одна из острых и сложных проблем сегодняшнего дня. Фактор экологической безопасности, как один из существенных в развитии нефтеперерабатывающей промышленности, сейчас осознается всеми без исключения участниками нефтяного рынка и на всех континентах. Экономические неурядицы в странах с переходной экономикой (сюда можно отнести Россию), с одной стороны, привели вследствие спада производства к уменьшению общих объемов вредных выбросов, в том числе нефтеперерабатывающими заводами; с другой стороны, отрицательно сказались на качественных характеристиках моторных топлив и нефтепродуктов, поэтому предстоит нелегкая задача довести их до мировых стандартов.

Проблему совершенствования качественных характеристик продукции нефтеперерабатывающей промышленности необходимо рас-

смаатривать в контексте новой модели развития мировой нефтепереработки в перспективе.

Обеспеченность населения страны в расчете на каждого человека высококачественными экологически чистыми продуктами нефтепереработки и нефтехимии относят к важнейшим характеристикам уровня жизни. Очевидно, это и есть главный критерий и важнейший приоритет, на которые должна быть ориентирована в целом нефтеперерабатывающая промышленность России в первые десятилетия XXI в.

Для достижения в России среднеевропейского уровня обеспеченности граждан нефтепродуктами производство всех видов моторных топлив должно быть увеличено в 2 раза. Наметившиеся тенденции последних лет показывают, что при дальнейшем совершенствовании экономического механизма это вполне реальная и посильная задача для потенциально мощной российской нефтепереработки.

В частности, в 2011 г. Ассоциация нефтепереработчиков и нефтехимиков предложила инициировать в соответствующие федеральные органы исполнительной власти обращение о необходимости принятия на государственном уровне решения по гармонизации отечественных и европейских норм в сфере безопасности и экологии.

Для осуществления поставленных задач необходим постоянный мониторинг развития мировой нефтепереработки и нефтехимии. В частности, в начале 2000-х гг. Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ОАО «ЦНИИТЭнефтехим») совместно со специалистами ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»» (ООО «КИНЕФ») провели комплексное исследование по отслеживанию технологических и экономических изменений в мировой нефтеперерабатывающей промышленности и разработали средне- и долгосрочные прогнозы ее развития.

Прогноз развития технологий нефтепереработки и сопряженных с ней процессов нефтехимии базировался на выявлении пиковых направлений патентования, а также на экспертных оценках специалистов профильных организаций новизны и значимости разработок для российской нефтепереработки. Также в качестве основы для прогнозов выступала ретроспектива развития (ее основные тенденции и динамика) нефтеперерабатывающей промышленности в России и в ведущих странах мира.

В ходе исследований установлено, что перед нефтеперерабатывающей промышленностью всех стран мира возникают новые слож-

ные задачи в обеспечении экологических и потребительских свойств продукции, которые значительно жестче предыдущих. Так, в ближайшей и среднесрочной перспективе важнейшей технологической целью в комплексе улучшаемых свойств моторных топлив дополнительно становится значительно более высокое требование по снижению содержания в них серы. При этом требования к снижению сернистых соединений до 5–10 ppm не ограничиваются лишь топливами для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – автобензинами и дизельными топливами. Они более глобальны и касаются также топлив для реактивных двигателей (до 5 ppm), высокоиндексных базовых масел (0,03% максимум), котельных топлив различных видов (до 0,3%).

Для российской, как и в целом для мировой нефтепереработки, практическое освоение производства моторных топлив со сверхнизким содержанием серы, как и получение других низкосернистых нефтепродуктов, представляет сложную дополнительную проблему. Чем больше исходный уровень содержания серы в сырье и меньше конечное содержание серы в топливе, тем больше затруднено его технологическое обеспечение.

Наряду с глобальной проблемой выработки сверхнизкосернистых нефтепродуктов, технология получения которых по праву приравнивается к процессам производства химически чистых продуктов, в ближайшей и среднесрочной перспективе все больше вырисовывается тенденция обеспечения товарных свойств различных продуктов (бензинов, авиакеросинов, дизельных топлив, масел) едиными технологическими способами.

По состоянию на начало XXI в. в новейших технологических проектах наиболее явно проявляются два таких направления – деароматизация и изомеризация топлив и масел, которые благодаря достижениям в области катализаторов позволяют изменять в однотипных процессах (при различных режимах) групповой химический состав многих продуктов в едином направлении.

Создание новых способов ограничения в составе всех моторных топлив группы ароматических углеводородов обусловлено как требованиями экологического характера – снизить вредные канцерогенные выделения в атмосферу, так и новыми конструкциями двигателей – уменьшить процессы коксообразования и отложений для обеспечения надежной работы техники и продления срока ее службы.

В настоящее время относительно высокий уровень цен на нефть (см. пп. 6.1.1) и ужесточение экологических норм соответственно

стимулируют нефтеперерабатывающие предприятия реализовать различные крупномасштабные инвестиционные проекты по модернизации собственного производства и способствуют активизации процессов модернизации оборудования заводов. Успешными будут предприятия, способные выбрать необходимые технологии и внедрить их в нужное время.

12.1. Прогноз развития технологий, связанных с производством автомобильных бензинов

В области производства автобензинов в ближайшей и среднесрочной перспективе ожидается (с учетом роста научных разработок) соответствующее интенсивное развитие следующих технологий:

- обессеривания и облагораживания бензинов (посредством процессов глубокой гидроочистки сернистых фракций термических процессов);
- удаления из них бензола различными альтернативными способами (экстракция, ректификация, сорбция, гидрирование, алкилирование олефинами, трансалкилирование, мембранные выделения и др.) до содержания его не более 1% (нормы Евро-3 и Евро-4);
- изомеризации бензиновых фракций, например парафины изоостроения обладают высокими октановыми числами (ОЧ);
- прямого и косвенного (через олигомеризацию) алкилирования на твердых катализаторах;
- получения оксигенатов для их добавления в товарные бензины (различные спирты: этанол, метанол, изопропанол и др. и простые эфиры);
- производства новых антидетонационных, моющих, антикоррозионных и других присадок и добавок к товарным компаундированным бензинам, например аминные производные ферроценов увеличивают ОЧ на 14 пунктов.

В этом перечне научных разработок важнейшими достижениями в технологии получения высокооктановых бессернистых экологически чистых автобензинов являются процесс алкилирования изобутана бутиленами на твердом катализаторе, а также процесс димеризации изобутилена с последующим гидрированием в изооктан. В производстве оксигенатов все большую роль будет играть диизопропиловый эфир (ДИПЭ), получаемый из пропан-пропиленовой фракции и воды.

С большой степенью вероятности можно прогнозировать, что процесс каталитического риформинга будет развиваться с использо-

ванием серии новых катализаторов, преимущественно по схеме непрерывной регенерации, в блоке с процессами изомеризации, удаления бензола и при переработке исходного сырья с н.к. выше 95°C (см. также пп. 13.1.3).

Стремительное развитие процесса изомеризации в нашей стране показало его возрастающую конкурентоспособность по сравнению с другими процессами, направленными на получение компонентов бензинов. При этом схемы проектируемых и реконструируемых процессов изомеризации преимущественно снабжены рециклом низкооктановых пентанов и гексанов, что связано с необходимостью получения автобензинов, соответствующих все более жестким стандартам. В последнее время предпочтение отдается процессам на сульфатированных оксидах циркония. В России – главным образом процессу на катализаторе СИ-2 отечественного производителя, что объясняется эксплуатационными характеристиками данного типа катализатора, по которым он не уступает зарубежным аналогам. В частности, он отличается уникальной сероустойчивостью, т. е. процесс при необходимости можно проводить без предварительной гидроочистки сырья.

Существенные изменения, очевидно, произойдут в производстве бензинов каталитического крекинга и термопроцессов. Все они будут подвергаться гидрооблагораживанию с удалением сернистых соединений и непредельных углеводородов. Бензины будут разделяться минимум на две фракции: легкая – C₅–100°C после очистки от диенов будет этерифицироваться метанолом с получением на базе изоолефинов C₅–C₇ соответствующих эфиров (этерифицированных бензинов); тяжелая – 100°C–к.к. – будет гидрооблагораживаться с удалением содержания олефинов и серы без снижения ОЧ.

По данным Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков, общий объем выработки автобензинов в России за 2010 г. составил 36,05 млн т – это 100,7% к 2009 г.

Согласно ЭС-2030, активнее всего предлагается развивать производство автомобильного бензина: на 28–31% к 2020 г. и до 55–57 млн т в течение следующего десятилетия.

Качество автомобильных бензинов улучшается вслед за изменением структуры парка автомобилей в Российской Федерации. Так, в 2000 г. доля выпуска низкооктановых автобензинов А-76(80) составляла 57%, а в 2009 г. снизилась до 17%, в то же время доля бензинов типа АИ-95 и АИ-98 постепенно увеличивается. Вырабатываемый в России бензин в основном используется на внутреннем рынке.

К 2020 г. планируется, что качество 80% выпускаемого в России бензина и 92% дизельного топлива будут соответствовать Евро-5. При этом следует учитывать, что в Европе уже с 2013 г. введены более жесткие экологические требования к топливам, соответствующие Евро-6. В нашей стране планируется строительство 57 новых установок по улучшению качества бензинов, среди которых: гидроочистка, риформинг, алкилирование и изомеризация. Модернизация заводов с целью выполнения требований регламента в первую очередь связана с увеличением доли процессов, улучшающих качество нефтепродуктов, а углубляющие процессы отошли на второй план, их внедрение отодвинулось на более отдаленную перспективу.

Более подробно о присадках к бензинам и перспективах использования нефтяных и альтернативных видов моторного топлива см. соответственно в п. 18.2 и главе 19.

12.2. Прогноз развития процессов гидрооблагораживания

Один и тот же процесс гидрооблагораживания (например, дизельных и реактивных топлив) в зависимости от числа ступеней, используемого катализатора и режимов работы (температуры и давления в реакторах) может обеспечивать различные воздействия на формирование конечного продукта:

- максимальное гидродесульфирование и гидродеазотирование при использовании, например, Al-Co-Mo-катализатора;
- максимальное насыщение ароматики при использовании Al-Ni-Mo- или Al-Ni-W-катализатора и более высокого давления водорода;
- максимальную гидроизомеризацию алифатических углеводородов (в частности, гидроизодепарафинизацию нормальных парафиновых углеводородов со значительным эффектом снижения температуры застывания и помутнения топлив) при использовании, например, узкопористых цеолитов¹ с металлами VIII группы Периодической системы элементов и др.

При этом возможен комбинированный процесс воздействия на продукт в сочетании с экстракционным способом удаления ароматики (например, N-метилпирролидоном, диметилформамидом, ацетонитрилом и т. п.).

¹ *Цеолиты* (от греч. *zeō* – киплю и *lithos* – камень: при сильном и быстром нагревании вспучиваются с образованием пузырчатого стекла) – природные и синтетические алюмосиликаты.

Особое значение гидрогенизационные технологии с их новейшими достижениями в области катализаторов, аппаратного и технологического оформления процессов приобретают для получения высококачественных смазочных масел из любых нефтей, тогда как производство их в экстракционных процессах возможно только из отборных масляных нефтей.

Сочетанием процессов гидрокрекинга (изокрекинга) вакуумного газойля (фракция 350–550°C) и последующей гидроизодепарафинизации продуктов по единой технологии могут быть получены из единого сырья бессернистые деароматизированные низкозастывающие высокоцетановые дизельные топлива и бессернистые низкозастывающие светлые высокоиндексные базовые масла различной вязкости, т. е. две ступени гидропроцессов заменяют всю длинную технологическую цепочку экстракционной технологии, обеспечивая возможность получения более качественных моторных топлив и смазочных масел.

В гидрогенизационной переработке и в облагораживании нефтяных дистиллятов и остатков прогнозируется дальнейшее развитие катализаторов гидроочистки, гидрооблагораживания и гидрокрекинга, открывающее новые возможности процессов гидродесульфирования дистиллятных и остаточных продуктов, деароматизации, гидродепарафинизации и гидроизодепарафинизации дистиллятов, гидрокрекинга дистиллятных, а также тяжелых и остаточных продуктов.

Важнейшим достижением в технологии получения дизельных, реактивных топлив и базовых масел являются уже освоенные в мировой практике процессы каталитического гидрооблагораживания (обессеривания и деароматизации), гидродепарафинизации и изомеризации средних и тяжелых нефтяных дистиллятов, что позволяет получать высококачественные продукты с низкой температурой застывания по более простой и менее затратной технологии производства.

Наряду с расширением применения гидрокаталитических процессов облагораживания, депарафинизации и изомеризации дизельных топлив, авиакеросинов и масел ожидается также возможность создания процессов гидроизомеризации тяжелых бензиновых фракций. Для интенсивного развития этих новых технологических процессов ведутся не менее интенсивные научные проработки процессов производства и выделения более дешевого, чем сегодня, водорода, в том числе за счет увеличения его выхода в процессах риформинга и дегидрирования.

В производстве высокоиндексных смазочных масел наиболее перспективным направлением в технологии минеральных масел становится гидрореформулирование состава тяжелого вакуумного газойля в процессах гидрокрекинга (изокрекинга) и гидроизодепарафинизация гидрокрекинговых масел с получением базовых масел с низкой температурой застывания, низким содержанием серы и индексом вязкости более 130.

Новые возможности в производстве сверхвысокоиндексных бессернистых смазочных масел для новой техники (моторных и других видов) открывают процессы их синтеза на базе α -олефинов, а также продуктов оксосинтеза.

12.3. Тенденции развития процессов углубленной переработки нефтяного сырья

Наличие на НПЗ процессов прямой перегонки нефти и установок, улучшающих качество прямогонных фракций, позволяет получить глубину не более 60%, наличие процессов переработки вакуумного газойля увеличивает глубину переработки до 75–80%, и только переработка гудрона и тяжелых остатков вторичных процессов позволяет перейти рубеж в 85–90%. Модернизация при сегодняшнем уровне развития технологических процессов в России потребует колоссальных затрат.

По данным Московского нефтегазового центра компании «ЕУ» (2014), в России действуют 50 заводов, включая 23 крупных НПЗ в структуре ВИНК, восемь независимых НПЗ с объемом переработки более 1 млн т в год, а также 15 заводов с объемом переработки менее 1 млн т в год. Согласно данным ОАО «ВНИПИнефть», только на 18 российских нефтеперерабатывающих заводах есть углубляющие процессы.

По материалам Минэнерго России, по итогам 2015 г. глубина переработки нефти в России составляла 74,2% (следует отметить, что согласно «Стратегии развития химической и нефтехимической промышленности России на период до 2015 года», предполагалось, что в 2015 г. глубина переработки нефти будет составлять 80%).

Согласно данным РИА Новости (март 2016 г.), по итогам всего периода модернизации – к 2020 г. – ожидается увеличение мощности на 91 млн т/год к показателям 2011 г. по установкам вторичной переработки нефти и повышение глубины переработки до 85%. Рост объемов производства моторных топлив планируется с 117 до

168 млн т/год (на 44%). При этом планируется ввести в эксплуатацию 123 установки вторичной переработки нефти (12 установок будут введены в 2021–2027 гг.).

В мировой практике в технологии безводородной деструктивной переработки нефтяных дистиллятов и остатков наибольшее внимание фирм-разработчиков процессов нефтепереработки ближайшего будущего уделяется флюидным системам каталитического крекинга (Fluidized Catalytic Cracking или Fluid Cracking, крекинг с флюидизированным катализатором, FCC, ККФ).

Перерабатывая вакуумный газойль или непосредственно мазут, каталитический крекинг углубляет переработку нефти по бензиновому варианту и является производителем наряду с бензином ценных олефинов: пропилена (с возможностью его выделения в чистом виде из фракции C_3 или с производством из пропан-пропиленовой фракции и H_2O высокооктанового оксигената ДИПЭ), нормальных бутиленов и изобутилена (для получения МТБЭ и изооктанового алкилата), изоолефинов C_5 – C_7 , при этерификации которых в составе легкого бензина повышается его ОЧ, а также других видов вторичного сырья и продуктов.

Наиболее эффективными в числе новых разработок остаются на перспективу модели ККФ с лифт-реактором и регенерацией микросферического катализатора в кипящем псевдоожиженном слое. Этот процесс, являющийся базовым бензиновым процессом для НПЗ, позволит существенно улучшить структуру вырабатываемых автобензинов, особенно если в составе завода нет каталитического крекинга и, как следствие, нет алкилата, МТБЭ, ДИПЭ и эфиров C_5 – C_7 .

Из термических процессов большое значение для российской нефтепереработки сохраняет на перспективу замедленное коксование – как углубляющий переработку нефти процесс и дающий дополнительно вторичное дистиллятное сырье для процессов гидрокрекинга и каталитического крекинга.

Кроме того, в настоящее время недостаточное внимание уделяется производству нетопливных нефтепродуктов (в частности, отечественная металлургия вынуждена импортировать высококачественный нефтяной кокс в объемах более 3,5 млн т в год, несмотря на возможность организации на российских НПЗ выпуска более 7 млн т кокса в год против нынешних 1,6 млн т) [34].

В производстве котельных топлив все более важную роль будут играть гидрогенизационные процессы обессеривания и обезметалливания топочных мазутов.

Важнейшим направлением эффективного углубления переработки сырья и получения при этом высококачественных экологически чистых топлив является совместное использование процессов гидрокрекинга (гидрооблагораживания) и каталитического крекинга, создающее синергетический эффект (неаддитивный) прироста глубины переработки нефти и качества нефтепродуктов.

Для увеличения глубины переработки нефтяного сырья в нашей стране запланировано построить около 30 установок и несколько реконструировать. Среди процессов, позволяющих, наряду с углублением нефтепереработки, получать качественные компоненты топлив, в основном два типа процессов – каталитический крекинг (высокооктановый компонент бензинов, сырье для нефтехимии) и гидрокрекинг (высокооктановые компоненты автобензинов с низким содержанием серы, низкосазывающие дизельные топлива с ультранизким содержанием серы и авиакеросин).

Крупнейшим объектом модернизации является ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез»», на базе которого создаются новые комплексы по глубокой переработке нефти. Это стратегически важные проекты компании ОАО «Сургутнефтегаз».

В декабре 2013 г. завершено строительство комплекса глубокой переработки нефти на базе гидрокрекинга вакуумного газойля. Вывод на проектный режим эксплуатации комбинированной установки глубокой переработки мазута позволяет заводу ежегодно получать дополнительно более 2 млн т высококачественных нефтепродуктов (дизельное топливо, керосин) с ультранизким содержанием серы и на 600 тыс. т в год увеличить сырьевую базу для выработки высокооктановых бензинов.

По сообщению информационного агентства «REGNUM», благодаря запуску нового комплекса глубина переработки нефти на предприятии увеличилась с 51,6% в 2014 г. до 54,8% в 2015 г.

В дальнейшем планируется реализация проекта каталитического крекинга. Одновременно рассматривается возможность строительства второй очереди комплекса глубокой переработки нефти с широким внедрением процессов нефтехимии. В результате в ближайшие годы глубина переработки нефти достигнет 92–95%.

12.3.1. Технология гидроконверсии гудрона на наноразмерных катализаторах

Повышение глубины переработки нефти свыше 80% связано со сложностью применяемых термokatалитических процессов, а также

с высокими капитальными и эксплуатационными затратами. Для достаточно тяжелых нефтей типа венесуэльской, казахстанской, иранской, тяжелых нефтей России применение промышленных процессов гидрокрекинга и каталитического крекинга позволяет перерабатывать тяжелые остатки только в смеси с легкой нефтью или с дистиллятными фракциями.

В настоящее время все более актуальным становится поиск новых подходов к эффективной и полной переработке остатков вакуумной перегонки мазута (гудрона) в моторные топлива.

В Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН (ИНХС РАН) и Грозненском нефтяном научно-исследовательском институте (ГрозНИИ) разработана технология гидроконверсии. В ее основе лежит принципиально новый вид каталитического процесса, ранее не применявшийся в каталитической химии. Непосредственно в реакционной среде формируется катализатор с диаметром частиц, меньшим или соизмеримым с размером ассоциатов асфальтенов. Для этой цели используется добавленный в сырье (гудрон) «прекурсор катализатора», состоящий из солей металлов VI–VIII групп.

Таким образом, была создана принципиально новая технология гидрогенизационной подготовки гудрона на наноразмерных катализаторах, после которой возможно применение обычных высокоэффективных процессов каталитического крекинга или гидрокрекинга вакуумного дистиллята, т. е. традиционных методов глубокой переработки нефти.

Стоит отметить, что высокоэффективный процесс гидроконверсии гудрона в «синтетическую» нефть в сочетании с процессами вакуумной ректификации, легкого гидрокрекинга вакуумного газойля, каталитического крекинга вакуумного дистиллята удовлетворяет не только самым высоким экологическим требованиям, но и позволяет обеспечить производство до 90% газа, бензина, авиационного керосина и дизельного топлива из практически любой нефти. При этом за счет изменения технологии и режимов процессов конверсии гудрона, легкого гидрокрекинга и каталитического крекинга появляется возможность сезонного варьирования соотношения высокооктанового бензина и высококачественного дизельного топлива в очень широком интервале.

В качестве сырья могут быть использованы фактически любые нефтяные остатки, тяжелые нефти и природные битумы независимо от содержания в них серы, металлоорганических и асфальтосмолистых соединений.

Внедрение новой технологии резко изменит эффективность отечественных заводов нефтепереработки и повысит конкурентоспособность экспортируемой продукции на мировом рынке.

Гидроконверсия остаточного сырья на наноразмерных катализаторах может использоваться как составная часть блока атмосферной и вакуумной перегонки при строительстве нового НПЗ, а также в виде отдельного блока при реконструкции существующего НПЗ. В последнем случае аппаратное оформление данной технологии практически совпадает с аппаратным оформлением обычного процесса гидропереработки гудрона.

12.3.2. Малобюджетная модернизация нефтеперерабатывающего завода

Для ускоренной модернизации отдельных российских НПЗ (особенно мини-НПЗ) с целью достижения максимальных результатов при минимальных капиталовложениях ООО НПЦ «Термакат» (г. Уфа) рекомендует включение в технологическую схему предприятия процесса «мягкого висбрекинга»¹, который позволит достигать беспрецедентно высоких технологических и экономических результатов. Технологическое оборудование процесса «Висбрекинг-Термакат» (разработка НПЦ «Термакат») может быть разделено на функциональные блоки, выполняющие различные технологические функции:

- блок термолиза² (БТ) – для нагрева сырья и его термолиза;
- блок кавитационно-акустический (БКА, подробнее см. п. 12.5) – для деструкции и поликонденсации углеводородного сырья;
- битумный блок (ББ), назначением которого является поликонденсация углеводородов сырья, окислительная стабилизация и осернение остатков для достижения требуемых термомеханических характеристик остатка;
- блок ректификации (БР) – для разделения паров термолиза на газ, бензиновую и газойлевую фракции;
- блок сероочистки газов (БСО), предназначенный для очистки технологического углеводородного газа от сероводорода с получением жидкой серы.

¹ *Висбрекинг* (от англ. vis(cosity) – вязкость, липкость, тягучесть и breaking – ломка, разрушение) – один из видов термического крекинга (неглубокий термический крекинг); является одним из самых дешевых процессов переработки тяжелого сырья.

² *Термолиз* (от греч. thermē – тепло, жар и lysis – разложение, распад) – превращение органических соединений в результате деструкции их под действием высокой температуры без доступа воздуха.

Модернизация НПЗ может проводиться с применением как отдельных блоков, так и набора блоков в составе, определяемом поставленными задачами. Для малотоннажных НПЗ блоки могут быть выполнены в модульном варианте.

При использовании процесса дополнительный выход ценных дистиллятов (нефтепродуктов высокой добавленной стоимости) достигает 60–90% и в минимальном количестве остаток (жидкий кокс или битумы).

На основе процесса «Висбрекинг-Термакат» в интеграции с простыми технологиями в России разработан базовый проект конфигурации завода по переработке нефти по безмазутной схеме и в Тюменской области (в Югре) был построен пилотный завод глубокой переработки нефти – ООО «Кондинский НПЗ» (в 2011 г. завод признан банкротом).

Однако при модернизации действующих НПЗ существующие схемы процессов жестко диктуют возможные варианты вписаться в схему завода, и чаще всего выбирается самый дорогой, зато «объезженный на западе» технологический подход.

Реальная ситуация складывается таким образом, что НПЗ России планируют развитие своих производств исключительно по традиционным схемам модернизации. Из группы процессов, обеспечивающих углубление переработки нефти, планируется доукомплектование НПЗ процессами висбрекинга гудронов и каталитического крекинга вакуумных газойлей, а также процессами, обеспечивающими установки каталитического крекинга сырьем (гидроочистка вакуумных газойлей) и перерабатывающими его продукты (полимеризация легких олефинов, производство метил-*трет*-бутилового эфира).

Таким образом, следует обратить внимание, что в настоящее время имеются апробированные технологические разработки российских инженеров, позволяющие за короткий срок с минимальными капитальными вложениями повысить глубину переработки нефти свыше 90% для отдельного нефтеперерабатывающего предприятия и для отрасли в целом.

За последнее десятилетие вместе с нанотехнологиями (см. пп. 12.3.1) совершенствовались старые и создавались новые технологические процессы переработки нефти, которые коренным образом изменяют представления об оптимальности построения технологических схем современных НПЗ.

12.4. Прогноз развития производства нефтебитумов и битумных композиций

В получении и применении нефтебитумов и битумных композиций значимость битумной продукции ближайшего будущего периода тесно связана с отраслевой технологической значимостью – возможностью использовать в производстве битумов тяжелые нефтяные остатки, которые трудно перерабатывать какими-либо другими способами.

В перспективе особое внимание в новых разработках способов производства и состава базовых и товарных битумов будет уделяться повышению долговечности дорожных и других битумных покрытий за счет производства товарных битумов и битумных композиций, модифицированных полимерными, волокнистыми и другими присадками.

Нефтебитумы остаются в перспективе одним из наиболее широко используемых видов продукции нефтепереработки, и НПЗ, которые производят пользующиеся спросом качественные битумы, получают при этом дополнительные возможности увеличения глубины переработки нефти и снижения вязкости топочных мазутов.

Согласно среднесрочным прогнозам относительно общемирового рынка темных нефтепродуктов, потребление битумов будет сохраняться на постоянном уровне. Не будут увеличиваться и объемы выпуска битумов, что связано с введением в битумы различных полимерных добавок с целью увеличения срока их службы.

12.5. Технологические перспективы переработки тяжелой нефти

Признанным лидером российской переработки битумов является компания ПАО «Татнефть», в которой принята программа внедрения новых технологий переработки тяжелой нефти. В 2006 г. на ОАО «ТАИФ-НК» реализован первый этап углубления переработки нефти – построена по новейшей отечественной технологии и успешно эксплуатируется установка каталитического крекинга. Планируется строительство комплекса по переработке гудрона, однако известные сегодня зарубежные процессы – низкоэффективные и дорогостоящие, особенно если учесть, что речь идет о гудроне весьма тяжелых нефтей Татарстана. В планах некоторых отечественных компаний (ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»», ПАО «Газпром») предусматривается модернизация заводов и строительство новых установок для переработки остатков тяжелых нефтей. Они сталкиваются с теми же проблемами, что и ОАО «ТАИФ-НК».

Эксперты сходятся во мнении, что не за горами ускоренное развитие технологий переработки тяжелой нефти и остатков, полученных из них. Однако, вероятнее всего, большая часть технологий, которые будут использованы для этих целей российскими нефтяными компаниями, окажется разработанной за рубежом. Это связано не с отсутствием конкурентоспособных отечественных разработок, а с разрушением отечественной системы крупнопилотных и демонстрационных испытаний. По данным, полученным на специализированных конференциях, несколько новых технологий готовы к пилотным испытаниям.

На сегодняшний день готовы к масштабному внедрению несколько оригинальных процессов переработки остатков тяжелых нефтей, созданных в системе РАН. В частности, в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева совместно с другими академическими и отраслевыми институтами создана технология безостаточной и комплексной переработки тяжелых нефтей (см. пп. 12.3.1). Технология не имеет аналогов, базируется на применении ультрадисперсных катализаторов (нанокатализаторов) и прошла длительные испытания на крупнопилотной установке мощностью по тяжелой нефти 2 барреля в сутки. К процессу проявили интерес в регионе Татарстана – инновационном лидере.

Уже сейчас переработка тяжелой нефти дает возможность ее широкого использования. В Западной Сибири существует проект строительства завода по производству клеев и смол для нужд лесоперерабатывающего комплекса из нефтехимического сырья. В Нижневартовске запущен проект строительства НПЗ по выпуску высококачественного дорожного битума из тяжелых нефтей.

На полной мощности завод будет производить около 150 тыс. т битума в год. При этом потребность в дорожном битуме одного только Уральского региона, по мнению экспертов, может составить к 2010 г. 377 тыс. т. Помимо выпуска основной продукции, завод займется изготовлением строительного и хрупкого битума, арктического дизельного топлива, маловязкого судового топлива, вакуумного газойля и компонента бензина.

12.5.1. Переработка тяжелых нефтей непосредственно на промыслах

Российские запасы тяжелых и высоковязких нефтей, по различным данным, оцениваются в пределах 5–20 млрд т, а специализированных заводов по переработке битуминозных нефтей нет. В то же

время Канада разрабатывает такие технологии уже более 20 лет и перерабатывает более 90 млн т нефти в год битуминозных нефтей.

Надо признать, что для российской действительности строительство битумных заводов синтетической нефти большой удельной мощности с многомиллиардными (долларовыми) капитальными затратами в ближайшей перспективе из-за дороговизны нереально. Рациональные решения необходимо искать в строительстве малых установок по переработке тяжелых нефтей в синтетическую (без недистиллируемых остатков) или полусинтетическую нефть (содержащую недистиллируемые остатки) непосредственно на промысле, скорее всего в интегрировании с установками подготовки нефти.

При этом будут сняты проблемы трубной перекачки высоковязкой нефти и одновременно повышена сортность нефти. В результате промысловой переработки могут быть получены высоколиквидные и весьма востребованные нефтепродукты, такие как, к примеру, высококачественные дорожные битумы, тяжелые котельные топлива и легкие маловязкие (синтетические) нефти.

По мнению экспертов из ООО НПЦ «Термакат» и ООО «ИК «Нефтегазовые системы»» (в 2010 г. прекратило деятельность при слиянии), для России в настоящее время целесообразнее рассматривать процессы с малой капиталоемкостью. При выборе вторичного процесса экспертами за базовый критерий оценки эффективности процесса была взята возможность производства востребованного и качественного остаточного продукта. Особенно востребованным для России, несомненно, является высококачественный дорожный битум.

Из сравнения трех технологических процессов (вакуумная перегонка мазута, деасфальтизация гудрона, висбрекинг мазута) как возможных вариантов использования на промыслах для переработки тяжелых нефтей, по мнению указанных выше экспертов, наибольшее преимущество имеет конфигурация технологической схемы на базе технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ».

Главное достоинство: простота аппаратурно-технологических решений, минимально требуемый инвестиционный бюджет на строительство установки, высокая универсальность по круглогодичному производству всегда востребованной продукции.

Процессы гидроочистки дистиллятов в совокупности с установкой по производству водорода являются дорогостоящими, однако именно эти процессы гарантируют получение высококачественной малосернистой синтетической нефти. Для исходных малосернистых

нефтей производство полусинтетической нефти с включением в ее состав тяжелых остаточных компонентов будет более высокорентабельным.

Промысловая переработка тяжелых нефтей должна быть направлена на максимальную конверсию тяжелых углеводородов в среднедистиллятные фракции. Причем их плотность не должна превышать 860–870 кг/м³, так как при более высоких показателях аномально быстро возрастет вязкость, что негативно сказывается на энергозатратах при трубной перекачке. Атмосферная перегонка нефти в своем классическом виде при промысловой подготовке тяжелой нефти не нужна, так как все дистиллятные фракции впоследствии будут смешиваться для получения синтетической нефти.

Вариант интегрированной атмосферной перегонки нефти, совмещенной с технологией висбрекинга мазута, получил название «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ». В его основе лежит мягкий термический крекинг, а на ряде стадий термоллиза используются технологические методы дополнительного подвода физической энергии в виде акустической кавитации¹ – «акустический катализ». Поэтому в литературе иногда встречается также термин «термоакустический висбрекинг».

Кавитационно-акустическое воздействие, генерируемое гидродинамическими излучателями (кавитационно-акустическими насосами), позволяет подводить к реакционной массе энергию в высокопотенциальном виде. При схлопывании микропузырьков (разрывов сплошности жидкой фазы) вокруг и внутри них возникает локальное повышение температуры (до 5000°C) и кратковременное повышение давления (абсолютное давление – до 10 000 атм).

Поток энергии, передаваемой реакционной среде за счет кинетической энергии движения стенок схлопывающихся кавитационных пузырьков, весьма велик, что позволяет в данном варианте висбрекинга снизить температуру процесса на 50–80°C.

Углубление процесса приводит к увеличению концентрации асфальтенов и получению битума или пеков без применения технологии окисления.

В качестве остаточного продукта на одном и том же технологическом оборудовании при изменении технологических режимов вместо битумов можно производить тяжелые котельные топлива.

¹ *Кавитация* (от лат. *cavitas* – пустота) – образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью.

Базовый процесс технологии «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ» лег в основу разработки установки переработки тяжелых нефтей (УПТН-0,2-0,8СН-0,2Б) мощностью 0,2 млн т нефти в год, которая производит 80% синтетической нефти и 20% дорожных битумов. Сырье: высокосернистые нефти (содержание серы – более 3,0%, масс.) битуминозного типа (плотностью более 930 кг/м³) – отгоняется до 350°C менее 30,0% (масс.). Основная цель установки – производить из тяжелой нефти высококачественные дорожные битумы и облегченную маловязкую синтетическую нефть – смесь бензиновых, дизельных и газойлевых фракций.

Глубокая деструкция тяжелых углеводородов нефти при переработке высоковязких нефтей на промысле обеспечивает решение поставленной задачи: одновременно производятся высококачественные дорожные битумы и в максимальном количестве облегченные бензинодизельные фракции, т. е. синтетическая нефть.

Компоновочная технологическая блок-схема установки представлена единым интегрированным блоком в составе технологических модулей:

- подготовка нефти;
- атмосферная перегонка нефти и дистиллятов термолиза;
- блок термолиза мазута;
- блок термополиконденсации остатков до товарных битумов;
- блок рекуперации тепла.

Таким образом, в настоящее время имеется техническая возможность и экономическая целесообразность строительства непосредственно на промыслах малотоннажных установок по переработке тяжелых нефтей в высококачественные дорожные битумы и облегченные маловязкие синтетические нефти на основе малобюджетных аппаратно-технологических решений.

В заключение следует отметить, что в настоящее время планируется создание на Кольском полуострове производства по переработке тяжелых шельфовых нефтей, перевозимых через Мурманский транспортный узел. Создание НПЗ по переработке арктической тяжелой нефти позволит решить две важные задачи:

- обеспечить регион доступными энергоресурсами;
- повысить рентабельность освоения шельфовых месторождений за счет экспорта легких продуктов перегонки с большей добавленной стоимостью.

12.6. Перспективы развития мировой нефтепереработки

По прогнозам независимой британской консалтинговой компании «Euro Petroleum Consultants» («ЕРС») – первой иностранной компании в Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков России, в обозримом будущем основной задачей в сфере нефтепереработки будет производство экологически чистых нефтепродуктов, а также диверсификация сырья, подлежащего переработке, с целью повышения безопасности энергоснабжения. Переработка новых видов сырья может быть затруднительной и в некоторых случаях потребует применения новых технологий и процессов.

В настоящий момент в нефтеперерабатывающей промышленности существует необходимость своевременной модернизации и обновления используемых технологий для их соответствия непрерывно меняющимся качеству и видам сырья, а также производства более качественных продуктов с соблюдением норм меняющегося законодательства в области охраны окружающей среды.

В настоящее время существует целый ряд технологических вариантов, которые помогут решить данную задачу. Одними из наиболее известных технологических разработок являются гидрокрекинг шлама, установки каталитического крекинга ККФ (см. п. 12.3 и пп. 13.1.1) с максимальным выходом пропилена и алкилирование на твердом катализаторе.

В связи с переходом по всему миру на максимальный выход светлых нефтепродуктов специалисты по нефтепереработке сосредоточили свое внимание на возможностях переработки остатков в дистилляты. Это относится и к технологиям гидрокрекинга шлама.

В недавнем прошлом были улучшены технологии гидрокрекинга остатков во взвешенном слое (включая процесс гидропереработки тяжелых остатков Veba Combi Cracking (VCC) – совместный проект американской компании «Kellogg Brown & Root» («KBR») и британской «BP»), не требующие дальнейшей обработки и способные конкурировать с процессами коксования.

Компания «UOP» (США) внедрила новую технологию гидрокрекинга остатков Uniflex, которая может быть интегрирована с другими технологиями, такими как гидрокрекинг вакуумного газойля, тем самым увеличивая до максимума выход дизельного топлива.

Итальянская компания «Eni» также занимается усовершенствованием процесса гидрокрекинга шлама, известного как суспензионная технология ENI (EST).

Установка гидрокрекинга шлама позволяет произвести переработку более загрязненных остатков, в отличие, например, от установок гидрокрекинга в кипящем слое.

До настоящего времени алкилирование на твердом катализаторе было одним из наиболее труднореализуемых процессов для компаний-разработчиков технологий.

В настоящее время вопросы получения экологически чистых топлив, улучшения каталитических систем являются чрезвычайно актуальными, поскольку специалисты по нефтепереработке планируют переработку большего объема нефтяных остатков в дистилляты, особенно в дизельное топливо с очень низким содержанием серы.

Все основные производители катализаторов занимаются усовершенствованием их структуры и активности. Основной задачей данных производителей является выпуск большего количества дизельного топлива и прекращение выпуска топочного мазута, спрос на который падает.

Особый интерес представляют технологии использования катализатора, позволяющего увеличить выход дизельного топлива по сравнению с выходом бензина. При более детальном рассмотрении процесса гидрокрекинга возникает вопрос: каковы последние инновации в данной области. Благодаря важным достижениям в технологии применения катализаторов было улучшено качество протекания химических реакций на молекулярном уровне.

В настоящее время компании стремятся достичь большей эксплуатационной гибкости установок гидрокрекинга путем использования более тяжелых остатков в качестве сырья, таких как деасфальтизат. Переработка данного сырья вызовет изменения в схеме процесса, а именно в защите катализаторов гидрокрекинга от загрязнителей и ядов и будет заключаться в добавлении фронтальных защитных слоев с катализаторами деметаллизации.

В настоящее время рассматривается вопрос об интеграции установок гидрокрекинга остатков с установками гидрокрекинга вакуумного газойля, а также переработки разных видов сырья, таких как тяжелые газойли коксования, на установках гидрокрекинга вакуумного газойля.

Общим объединяющим фактором данных направлений является повышение эксплуатационной гибкости и достижение максимальной эффективности установок гидрокрекинга с целью соответствия изменяющейся ситуации на рынке.

Другим важным вопросом в сфере нефтепереработки является эффективность энергопользования и сокращение выбросов углекислого газа (CO_2), ограничения на выбросы которого предусматривает, например, введение Киотского протокола¹. В настоящий момент особое внимание данному вопросу уделяется со стороны европейских специалистов по нефтепереработке.

Существует большая потребность в исследовании программы сокращения энергопотребления в других регионах, таких как Россия и страны СНГ. При высоких ценах на сырую нефть очень важно сократить потребление энергии даже в тех регионах, где первоначально энергия считалась относительно недорогой, например на Ближнем Востоке.

Сокращение выбросов CO_2 также является растущей проблемой во многих регионах. Методами решения данной проблемы являются использование более чистых топлив и более эффективный процесс переработки.

Если попытаться определить, где будут главным образом применяться технологии нефтепереработки в ближайшие годы, наблюдается растущая тенденция повышения степени интеграции с нефтехимией, например увеличение производства пропилена и ароматических соединений.

Безусловно, существуют причины проведения данного вида интеграции: как в нефтеперерабатывающей, так и в нефтехимической промышленности необходимо решить важные вопросы. В обеих отраслях энергозатраты являются высокими и имеется необходимость строго следовать экологическим нормам.

Преимуществами и стимулирующими факторами данного вида интеграции являются:

- надежность поставки сырья;
- минимальные транспортные затраты;
- оптимизированная система распределения – оптимизация цепочки поставок ведет к ускоренной поставке продуктов;
- значительное сокращение применения системы энергообеспечения совместного пользования, снижение переменных затрат;
- более высокая дополнительная прибыль;
- энергосбережение в интегрируемых в полной мере процессах переработки углеводородов.

¹ *Киотский протокол* – дополнительный документ к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992), подписан в г. Киото (Япония) в декабре 1997 г. Киотский протокол предусматривает ограничение и сокращение выбросов в атмосферу газов, вызывающих парниковый эффект и приводящих к глобальному потеплению. Российская Федерация ратифицировала Киотский протокол в октябре 2004 г. К концу ноября 2011 г. протокол был ратифицирован в 192 странах, чьи совокупные выбросы составляют 63,7% общемировых выбросов парниковых газов.

В течение последних лет мир все быстрее становится единым глобальным рынком, в результате чего производители должны стремиться оставаться высококонкурентоспособными с целью своего процветания.

Подобные вопросы становятся все более актуальными для российских нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, поэтому новейшая информация о технологиях необходима для успешного развития бизнеса.

В настоящее время приоритетной целью модернизации нефтепереработки в США является создание новых, причем высокооплачиваемых, рабочих мест, что несет мощный социальный посыл и вызывает заинтересованность населения страны в проведении такой модернизации. Известно, что только при снижении доли низкооплачиваемых рабочих мест появляется возможность перехода экономики в область передовых знаний и инновационных технологий. Сегодня топливно-энергетический комплекс США обеспечивает во всех смежных с нефтепереработкой областях 9,2 млн рабочих мест.

12.6.1. Возможные направления совершенствования переработки нефти в России

Расширяются и углубляются взаимосвязи российской нефтепереработки и нефтехимии в производстве полиэтилена, полипропилена, мономеров для синтетических каучуков, ароматики для пластмасс и другой продукции. Кооперация нефтепереработки с промышленностью нефтехимии и органического синтеза становится важнейшей тенденцией прогрессивного развития российской нефтепереработки и экономики России в целом.

Таким образом, в целом по российской нефтеперерабатывающей промышленности и большинству НПЗ различного профиля наметился определенный прогрессивный сдвиг в темпах развития и в структуре технологических процессов и производств ближайшего будущего.

При анализе текущей ситуации на мировом рынке нефтепереработки можно сделать заключение, что при его развитии все большую долю спроса будут составлять различные виды моторных топлив для транспорта: бензины, дизельное топливо, авиационное топливо. В последнее время эксперты отмечают рост мирового потребления средних дистиллятов.

Спрос на тяжелые продукты: топочный мазут и печное топливо, будет продолжать падать как в абсолютных показателях, так и в процентах к общему объему продукции нефтеперерабатывающей отрасли.

ли. Однако в 2011 г. эксперты отметили резкое увеличение экспорта мазута из России (почти в 3 раза за последние 10 лет).

Согласно ЭС-2030, прогнозируется снижение производства мазута до 40–42 млн т к 2020 г. и до 25–29 млн т в 2030 г. (например, в 2010 г. было произведено 69,87 млн т мазута) и перераспределение его потребления в сторону бункеровочного топлива.

На основании составленных прогнозов также выявлена общая стратегия развития российской нефтепереработки на ближайшую и среднесрочную перспективу, важнейшим направлением в которой является повышение эффективности использования сырья за счет деструктивного углубления переработки мазута:

- по бензиновому варианту с применением комплексов каталитического крекинга;
- по дизельному варианту – комплексов гидрокрекинга.

Стратегия совместного применения этих процессов обеспечивает синергетический эффект углубления нефтепереработки и повышения качества продукции, облегчает решение экологических «мазутных» проблем, над которыми еще предстоит работать, в частности по обессериванию и обезметалливанью котельных топлив.

В условиях нестабильного ценообразования на мировом рынке нефти особую важность приобретает вопрос о количестве потребляемого заводом сырья. Таким образом, увеличение глубины переработки исходного (нефтяного) сырья без увеличения объемов переработки сырой нефти становится одним из основных мотивов модернизации для большинства НПЗ.

Энергетическая стратегия (ЭС-2030) подразумевает, что нефтеперерабатывающая промышленность будет развиваться опережающими темпами и глубина переработки нефти достигнет 83% к 2020–2022 гг. и 89–90% к 2030 г. Согласно данным РИА Новости (март 2016 г.), предполагается, что в 2020 г. глубина переработки нефти будет составлять 85%.

Наряду с углублением переработки нефти важнейшим направлением развития нефтепереработки является ее интеграция с нефтехимией. Увеличение объемов глубокой переработки нефти и развитие на этой основе нефтехимии позволит частично заменить экспорт сырой нефти экспортом высококачественных нефтепродуктов и продуктов нефтехимии с высокой добавленной стоимостью, что имеет важное значение для развития экономики страны. Новые нефтеперерабатывающие заводы и нефтехимические комплексы должны быть ори-

ентированы на экспортные рынки и размещаться вблизи границ Российской Федерации.

С учетом высоких темпов научно-технического прогресса в мировой нефтепереработке уже через год-два могут быть созданы новые технологии, более эффективные, чем имеющиеся на сегодняшний день. Поэтому ежегодное отслеживание новейших достижений в технологии нефтепереработки и нефтехимии с выявлением новых приоритетов составляет базовую организационно-техническую основу стратегии и тактики управления научно-техническим прогрессом в отрасли.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы обуславливают ограничения в составе моторных топлив группы ароматических углеводородов?
2. Назовите факторы, стимулирующие нефтеперерабатывающие предприятия реализовать различные крупномасштабные инвестиционные проекты по модернизации производства.
3. Перечислите технологии в области производства автобензинов, развитие которых ожидается в ближайшей и среднесрочной перспективе.
4. Какие процессы позволяют получать высококачественные дизельные и реактивные топлива по более простой и менее затратной технологии производства?
5. Перечислите основные продукты, получаемые путем каталитического крекинга вакуумного газойля.
6. Какие апробированные технологические разработки российских инженеров могут позволить за короткий срок модернизировать НПЗ?
7. Использование каких технологий при производстве товарных битумов позволит повысить долговечность дорожных и других битумных покрытий?
8. Перечислите перспективные технологии переработки тяжелых нефтей (промысловые и на НПЗ).
9. Каким способом можно достичь большей эксплуатационной гибкости установок гидрокрекинга?
10. На какие виды нефтепродуктов в ближайшей перспективе спрос будет расти, а на какие падать?

Раздел IV

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

ГЛАВА 13

НАПРАВЛЕНИЯ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

В НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кроме нефтепродуктов, на основе нефти и углеводородных газов синтетическим путем получают химические продукты, обладающие более высокой добавленной стоимостью. Широкое внедрение процессов химической технологии на предприятиях по переработке нефти и газа является одним из важнейших достижений в их развитии. В промышленно развитых странах нефтехимический синтез позволил создать крупную и быстро развивающуюся нефтехимическую промышленность.

Наиболее крупнотоннажными производствами на основе органического сырья (нефти, природных горючих газов, нефтяных попутных газов и газов нефтепереработки) являются предприятия основного (тяжелого) органического синтеза. Это многотоннажные производства органических веществ (производительность установок – десятки и сотни тысяч тонн в год).

Продукты основного органического синтеза используются в качестве полупродуктов в различных отраслях химической промышленности: в производстве синтетических каучуков и синтетических волокон, пластических масс, красителей, биологически активных соединений и др. Они находят также самостоятельное применение в качестве ядохимикатов, растворителей, экстрагентов и т. д.

Химическая природа продуктов основного органического синтеза разнообразна: это синтетические углеводороды (бутадиен, изопрен, стирол, алкилароматические углеводороды), кислородсодержащие соединения (спирты, альдегиды, кетоны, кислоты, простые и сложные эфиры жирного и ароматического ряда, оксиды олефинов), галогенсодержащие и серосодержащие соединения, нитрилы и др. Ассортимент продуктов основного органического синтеза по сравнению с малотоннажным органическим синтезом невелик и относительно постоянен.

Сырьем для основного органического синтеза служат предельные и непредельные (главным образом олефины и диены), а также ароматические углеводороды, синтез-газ, оксид углерода и различные неорганические вещества – галогены, кислоты и щелочи, кислород, водород и др. Для основного органического синтеза характерно одновременное существование нескольких промышленных методов получения важнейших продуктов, различающихся как по технологии, так и по сырью. Во многих синтезах используют совокупность нескольких одновременно протекающих реакций (окислительный аммонолиз, окислительное дегидрирование и т. п.).

Следует отметить, что (по данным Ассоциации нефтепереработчиков и нефтехимиков) валовая прибыль в зависимости от глубины переработки нефти при переходе от неглубокой топливной схемы к глубокой (химической) схеме изменится в три раза.

Рентабельность нефтехимических предприятий, как правило, выше, чем в отраслях, поставляющих сырье (нефте-, газопереработка), других отраслях химической индустрии и лишь немногим уступает наиболее рентабельным отраслям современного бизнеса. Кроме того, что нефтехимическая отрасль приносит немалую прибыль владельцам предприятий, ее продукция способна произвести большой экономический, социальный и экологический эффект в масштабах национальных экономик.

В состав нефтехимической промышленности входят производства основных (базовых) полупродуктов (этилена, пропилена, бензола, ксилолов, бутадиена, метанола), разнообразных спиртов, окисей и гликолей, альдегидов, кетонов, а также полупродуктов для получения синтетических волокон, синтетических моющих средств и лакокрасочных материалов, синтетических каучуков и латексов и еще многих других видов продукции.

Для проведения прогностических исследований некоторыми отечественными прогностами предложена классификация, по которой нефтехимические производства объединяются с полимерными в общий полимерно-нефтехимический комплекс – ПНХК (см. п. 4.1). Таким образом, к нефтехимической промышленности добавляются производства полимеризационных пластмасс (полиэтилена, полипропилена, полистирола и сополимеров стирола, поливинилхлорида и сополимеров винилхлорида).

В настоящее время в мире насчитывается свыше 100 нефтехимических процессов, реализованных в промышленности, на которые приходится 95–98% продукции органического синтеза.

В России производство некоторой нефтехимической продукции организовано на нефтеперерабатывающих заводах в рамках кооперации нефтепереработки и нефтехимии (например, производство ксилолов). К сожалению, в нашей стране «нефтехимическое крыло» нефтяных компаний представлено слабо. Из примеров крупных центров нефте-, газопереработки и нефтехимии можно назвать комплексы в Татарии и Башкирии.

Переход отечественной промышленности к рыночной экономике ставит перед химической отраслью целый ряд важных технических проблем, решение которых должно быть осуществлено в ближайшие годы. Это, в конечном счете, приведет к повышению конкурентоспособности отечественной химической продукции на мировом рынке.

Решение части этих проблем может быть достигнуто в пределах действующих производств – за счет их реконструкции и технического перевооружения. Однако основные проблемы развития и совершенствования химических производств могут быть решены только за счет кардинального изменения технологических принципов, применения нового оборудования, новых видов сырья.

Одним из возможных путей развития нефтехимической промышленности в какой-либо стране (обычно с развивающейся экономикой) является размещение на ее территории различных производств, основанных на «современных» технологиях нефтехимического синтеза, разработанных передовыми западными компаниями. Однако многие классические технологии, используемые зарубежными фирмами, по глубокой переработке углеводородного сырья до товарной химической продукции исчерпали за 50 лет свой инновационный ресурс.

В настоящее время крупнейшие мировые фирмы-лицензиары основных нефтехимических технологий, инжиниринговые и проектно-строительные фирмы ищут заказы и готовы осуществлять проектирование и строительство нефтехимических установок практически в любой точке земного шара. Западные фирмы, размещая свои производства на территориях других государств, прежде всего рассматривают свои коммерческие интересы и не думают о технологическом развитии этих стран. Кроме того, такие производства могут даже способствовать ухудшению экологической обстановки.

Сегодня российские нефтехимические предприятия, стремясь остаться конкурентоспособными, закупают и применяют зарубежные технологии для своих производств. При этом они невольно становятся заложниками владельцев технологий, поскольку вынуждены регуляр-

но закупать у них в дополнение к технологиям специализированные катализаторы и другие дорогостоящие химикаты. Это связано с маркетинговой политикой иностранных компаний – запасные части на эксплуатируемое оборудование характеризуются многократным (в 7–10 раз) превышением стоимости по сравнению с первичной поставкой, а сами сроки поставок оказываются достаточно длительными.

Зависимость от импортной поставки вспомогательных материалов и запасных частей может привести к срыву производства продукции и банкротству с влиянием на национальную безопасность страны, особенно при критических ситуациях (мировой кризис, война).

Следует также отметить, что импортная технология не всегда обеспечивает конкурентоспособность продукции на мировом рынке по качеству и стоимости.

На российский рынок активно продвинулись ведущие мировые лицензиары и инжиниринговые компании, обладающие значительным финансовым потенциалом. Это привело к прекращению внедрения в России новых отечественных технологических процессов нефтехимии и нефтепереработки, вытеснению российских проектных организаций с отечественного рынка инжиниринговых услуг, резкому росту количества импортного оборудования при модернизации заводов.

Союз производителей нефтегазового оборудования и Консультативный совет по взаимодействию предприятий нефтегазового комплекса со смежными отраслями промышленности при председателе Комитета Государственной Думы по энергетике отмечают, что важнейшая проблема, препятствующая импортозамещению в сфере нефтепереработки, заключается в необходимости приобретения лицензий у иностранных компаний. Проекты технологических установок вторичной переработки нефти для российских НПЗ в основном выполняются зарубежными лицензиарами: «Axens» (Франция), «UOP», «ConocoPhillips», «Chevron Corp.» (США), «Amec Foster Wheeler» (Великобритания) и др., исходя из возможностей зарубежных производителей оборудования и поставщиков материалов и комплектующих. В случае замены импортного оборудования на отечественные аналоги лицензиары отказываются от ответственности за материальное исполнение.

Согласно оптимистическим прогнозам в этой области, в ближайшие десятилетия в России при поддержке государства будут созданы условия для разработки и внедрения действительно современных и экологически безопасных отечественных нефтехимических технологий.

Для того чтобы оценить вклад нашей страны в развитие мировой нефтехимии, следует вспомнить некоторые примеры из недавней истории. Так, приоритет в производстве синтетического каучука (СК) принадлежит Советскому Союзу. Синтез каучука в крупном заводском масштабе впервые в мире был осуществлен в 1932 г. в СССР по способу, разработанному С. В. Лебедевым (полимеризацией на металлическом натрии 1,3-бутадиена, полученного из этилового спирта, был синтезирован натрий-бутадиеновый каучук СКВ). Успешное решение проблемы промышленного синтеза СК относится к числу наиболее значительных достижений науки и техники XX в. В СССР наряду с производством СК и мономеров для них впервые были разработаны и практически реализованы технологии получения нефтехимических продуктов, в частности метод совместного производства фенола и ацетона (кумольный процесс).

В настоящее время проблем, характерных для современной мировой нефтехимической промышленности, немало. Не меньшие сложности возникают и при прогнозировании развития нефтехимической промышленности. Нефтехимическая промышленность, как отрасль промышленного производства, подвержена влиянию экономических циклов, взаимосвязана с фазами роста или спада экономики, периодически повторяющимися политическими и финансовыми кризисами. Кроме того, цикличность является имманентной, т. е. внутренне присущей нефтехимической отрасли.

Изучение закономерностей циклического развития нефтехимической промышленности (см. п. 7.2) дает ключ к принятию стратегических решений в этой отрасли. В начале XXI в. введено большое число новых нефтехимических производств, что может привести к переизбытку мощностей, снижению степени загрузки установок, уменьшению прибыли, т. е. к началу фазы спада. Однако в дальнейшем экспертами ожидается постепенное многоступенчатое оживление отрасли и рост прибыли.

Цены на нефть и газ являются одним из важнейших факторов, определяющих уровень издержек в производстве нефтехимикатов и прибылей нефтехимических компаний. Как правило, цены на нефтехимическую продукцию зависят от соотношения спроса и предложения на эту продукцию и динамики цен на нефть и газ. Изучение динамики цен на нефть, газ, нефтехимикаты, конечные химические продукты является важнейшим моментом анализа и прогноза развития нефтехимической промышленности.

Всего на базе нефти, попутного нефтяного и природного газов производится свыше 80 тыс. наименований химических продуктов. Ниже будут коротко рассмотрены наиболее крупнотоннажные технологии получения основных полупродуктов нефтехимикатов и конечных продуктов нефтехимических производств.

В зарубежной печати можно встретить только общие моменты, связанные с новыми технологиями получения различных химических продуктов. Это связано с тем, что новая идея в технологии является ноу-хау, т. е. товаром, имеющим рыночную стоимость, а следовательно, не подлежащим публикации в открытой печати.

По мнению академика РАН И. И. Моисеева, в настоящее время даже беглый анализ развития технологии основного органического синтеза позволяет выделить следующие тенденции:

- замена дорогого сырья менее дефицитным, более дешевым и доступным;
- снижение материальных и энергетических затрат;
- замена многостадийных процессов прямыми или включающими в себя меньшее число стадий;
- защита окружающей среды.

13.1. Производство полупродуктов нефтехимической промышленности

Основными полупродуктами нефтехимических производств являются этилен ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$), пропилен ($\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$), бензол (C_6H_6), толуол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$), ксилолы (диметилбензолы $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$), бутадиен ($\text{H}_2\text{C}=\text{CHCH}=\text{CH}_2$), метанол (CH_3OH) и другие углеводороды.

13.1.1. Производство низших олефинов

Низшие олефиновые углеводороды этилен, пропилен и бутилен являются важным видом сырья для получения многих химических продуктов, таких как пластические массы и синтетические смолы, СК, синтетические моющие средства (СМС), поверхностно-активные вещества (ПАВ) и т. п. Производство низших олефинов в мире измеряется десятками миллионов тонн в год. По масштабам производства низших олефинов Россия значительно уступает ведущим странам мира. Имеется отставание и в технологии.

Наиболее крупнотоннажным продуктом нефтехимической промышленности является этилен. На его основе вырабатывается большинство продуктов органического синтеза и полимерных материа-

лов, таких как полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, этиленоксид и этиленгликоль, синтетический этиловый спирт и др.

На мировой спрос этилена влияют: динамика общеэкономических показателей, в частности темпов роста валового национального продукта (ВВП), цикличность развития производства и потребления продукта, нестабильность цен, экологическое регулирование, а также некоторые региональные факторы.

Согласно исследованию Академии конъюнктуры промышленных рынков, объем потребления этилена в 2006 г. составил 107 млн т/год. Мировое производство этилена в настоящее время переживает подъем и растет с каждым годом. Загрузка мощностей близится к максимальной и в 2006 г. составляла в среднем по миру 94,5%.

В 2010 г. мировое производство этилена превысило 150 млн т, при этом в России производится около 2 млн т. Этиленовые мощности в Российской Федерации находятся на уровне 2,5 млн т/год.

По прогнозам Минэнерго России, к 2030 г. планируется увеличить производство этилена в Российской Федерации до 14,2 млн т, что превышает нынешние объемы более чем в 4 раза.

Следует напомнить, что 20 лет назад был разработан план развития нефтехимии в СССР, который в том числе предусматривал осуществить объем выпуска базового продукта – этилена – в 2005 г. на уровне 10–12 млн т/год (реально в 2010 г. производилось только около 2 млн т/год).

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», самое узкое звено в развитии нефтехимии – дефицит мономеров, в частности этилена. Дальнейшее ее развитие без интенсивного создания мощностей пиролиза невозможно. В период 2015–2030 гг. прогнозируется активное строительство и расширение пиролизных мощностей (рост в 3,1 раза по этилену).

Суммарные мировые мощности по производству пропилена (без стран СНГ) в 1994 г. составляли порядка 34 млн т/год. К 1997 г. мощности по производству пропилена возросли до 40 млн т/год. На ноябрь 2000 г. суммарные мировые мощности по производству пропилена составили 60 млн т/год. За счет ввода новых установок в период 2001–2003 гг. прирост мощностей составил 6,0 млн т/год (пиролиз) и 0,7 млн т/год (нефтепереработка).

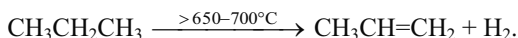
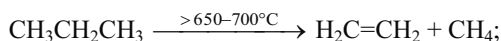
Объем мирового потребления пропилена в 2007 г. – 72 млн т. Спрос на пропилен растет быстрее спроса на этилен, причем по всем прогнозам потребность в пропилене в ближайшем будущем будет

существенно превышать объемы его производства как в России, так и во всем мире. Ожидается, что к 2020 г. мировой спрос на пропилен достигнет уровня в 120 млн т.

Рост спроса на пропилен происходит за счет наращивания выпуска полипропилена, нитрила акриловой кислоты (полупродукта волокна нитрон), оксоспиртов, фенола и ацетона.

Основной метод получения этилена – паровой пиролиз жидких дистиллятов нефти или низших парафиновых углеводородов. Пропилен производится на нефтеперерабатывающих заводах (как побочный продукт каталитического и термического крекинга) и совместно с этиленом на установках пиролиза углеводородного сырья, начиная от пропана (начиная от этана для производства этилена) до газойля.

Пиролиз представляет собой процесс глубокого расщепления углеводородного сырья под воздействием высоких температур. Парафиновые, нафтеновые и высшие олефиновые углеводороды термодинамически нестабильны при повышенных температурах. Первичные реакции расщепления парафинов могут идти в двух направлениях: разрыв цепи по связи С–С с образованием непредельного и предельного углеводородов; дегидрирование (разрыв связей С–Н). Применительно к пропану можно записать реакции образования олефинов:



Первое направление реакций термодинамически более вероятно, поскольку энергия разрыва связи С–С меньше, чем связи С–Н. Реакции по обоим направлениям протекают с поглощением тепла и увеличением объема. Следовательно, им благоприятствуют высокие температуры и низкие давления. Понижение парциального давления углеводородов в процессе пиролиза достигается разбавлением исходного сырья водяным паром. Кроме этих реакций, при пиролизе протекают также вторичные реакции, в результате которых образуются многочисленные ценные вещества, входящие в состав пиролизной смолы.

В России, Западной Европе и Японии сырьем служит прямогонный бензин (нафта); выход этилена около 30% с одновременным образованием значительного количества жидких продуктов, в том числе ароматических углеводородов. При пиролизе газойля выход этилена –

15–25%. В США основное сырье – легкие алканы (этан, пропан, бутан), что обусловлено их высоким содержанием в природном газе месторождений Северной Америки; выход этилена – около 50%.

В целом в США доля использования этана в нефтегазохимии достигает 50%, не говоря о странах Ближнего Востока. Благодаря преимущественному использованию газового сырья они постепенно вытесняют конкурентов с внешних рынков.

Как было указано, основным методом производства низших олефинов в России является процесс пиролиза нефти – до 50–52% (8 млн т в 2010 г.; по прогнозам к 2030 г. – 12 млн т), а этана и сжиженных газов – 35%. Доля попутных газов (пропан и бутан) в структуре сырья для получения низших олефинов в России невелика. До минимума сведена роль процесса каталитического крекинга как источника получения пропилена и бутиленов.

Следовательно, нефть (прямогонный бензин) можно будет максимально использовать для производства высококачественных автобензинов, острый дефицит которых отмечается в России в последние годы. Конечно, для этого нужно построить установки риформинга и изомеризации, а отечественный нефтехимический комплекс переориентировать на использование огромных ресурсов этана, широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) и сжиженных газов. Все это возможно, но при наличии государственной поддержки и изменения политики крупных нефтяных компаний по вовлечению ресурсов в перспективные планы развития.

Современная мировая нефтехимия базируется на крупных единичных агрегатах по выпуску продукции, так называемых мегаустановках, которые за счет высокой технической оснащенности и производительности обеспечивают благоприятные технико-экономические показатели. В Российской Федерации пока не построено ни одной мегаустановки и наблюдается постоянный дефицит базовых мономеров – этилена и пропилена.

Основу отечественной нефтехимии по-прежнему составляют пиролизные агрегаты ЭП-300 с проектной мощностью 300 тыс. т по этилену в год.

По мнению главы Республики Башкортостан Р. З. Хамитова, в части производства мономеров – основного сырья нефтехимии, во главу угла надо ставить отраслевые, а не узкокорпоративные интересы, и реализовывать только крупные проекты. Именно они будут конкурентоспособными в долгосрочной перспективе и помогут изменить ситуацию в отрасли и стране.

Современные зарубежные пиролизные установки, введенные в строй за последние годы в Китае и в странах Персидского залива, имеют мощности в 1 млн т по этилену и более (1,4 и 1,3 млн т в г. Эль-Джубаил и г. Янсаб в Саудовской Аравии или пиролиз мощностью 1,2 млн т под Шанхаем в Китае).

На российских предприятиях используется более 40% технологий, введенных в эксплуатацию в 60–70-е гг. прошлого века и ранее и почти 30% технологических процессов, ввод которых в эксплуатацию был осуществлен в 70–80-е гг. прошлого века (см. гл. 7). В результате уровень технологической оснащенности на отечественных предприятиях низкий, а технологические процессы отличаются высокой энерго- и ресурсоемкостью.

Так, средний расход сырья на 1 т этилена в России составляет 2,5 т сжиженного углеводородного газа, или 3,3 т нефти, или 1,36 т этана – по сравнению с 2,21 т сжиженного углеводородного газа, 2,62 т нефти, 1,25 т этана на аналогичных установках в странах Персидского залива и Азии.

В основном технологии пиролиза (крекинга) углеводородного сырья, имеющие практически повсеместное распространение в мире, базируются на использовании трубчатых печей и осуществляются в присутствии водяного пара. Однако разработаны и эксплуатируются в опытно-промышленном масштабе технологии, основанные на принципиально иных подходах.

Среди них: пиролиз углеводородного сырья в реакторах с псевдоожиженным слоем тонкоизмельченного песка фирмы «Lurgi» (Германия); пиролиз в стационарном слое порошкообразного теплоносителя и пиролиз в циркулирующем слое кокса фирмы «BASF» (Германия); пиролиз в псевдоожиженном слое частиц неорганических оксидов – муллита¹ фирмы «Ube» (Япония); пиролиз в токе перегретого пара, совместно разработанный фирмами «Union Carbide» (США) и «Kureha» (Япония); термоокислительный пиролиз фирмы «Dow Chemical Co.» (США); термический регенеративный пиролиз фирм «Gulf» (США), «Gulf-Canada» и «Stone and Webster» (США); пиролиз в среде расплавленных солей щелочных металлов фирмы «Cosmos» (Япония); циклический пиролиз фирмы «Petroleum and Chemical» (США).

Среди новых методов выделения этилена и пропилена из газов пиролиза следует упомянуть новый «триангулярный» процесс фирмы

¹ Муллит – минерал из класса силикатов непостоянного химического состава.

«TPL» (Италия). Этот процесс обеспечивает существенное снижение энерго- и металлоемкости установки разделения продуктов пиролиза.

В последнее время интенсивно проводятся исследования возможностей производства этилена из природного газа или из биоэтанола (см. следующую главу).

Согласно оптимистическим прогнозам, для надежного сырьевого обеспечения установок по производству этилена в России и стран СНГ в дальнейшем будут вовлечены в переработку ресурсы попутного нефтяного и природного этансодержащего газа, а также газового конденсата.

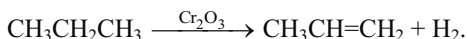
Варьирование номенклатуры входящего сырья пиролиза позволяет управлять соотношением выхода конечных продуктов процесса, что дает возможность гибко реагировать на рыночную конъюнктуру и сохранять высокую загрузку мощностей.

Однако, как показал анализ, пиролизные установки, работающие на легком углеводородном сырье (этане и пропане) и обеспечивающие наименьшие издержки производства этилена, не позволяют удовлетворять растущий спрос на пропилен. В этой связи требуется либо использование более тяжелого пиролизного сырья (нафты, газойля), либо увеличение производства пропилена на НПЗ, либо применение технологий дегидрирования пропана. Процессы дегидрирования являются менее универсальными, поскольку построены по принципу «одно сырье – один продукт», но более эффективными, если площадка связана с моносирьем – пропаном.

В последние годы около 61% производимого в мире пропилена приходилось на этиленовые установки, приблизительно 34% – на нефтеперегонные производства и только 3–5% – на его получение по альтернативным целевым технологиям.

Согласно прогнозам, годовой прирост производства пропилена по альтернативным методам в период до 2015 г. будет опережать рост доли традиционных источников его получения.

В настоящее время появился ряд технологий получения пропилена полимеризационной частоты дегидрированием пропана. Катализатором этого процесса обычно является специальным образом приготовленный оксид хрома (III):



Ведущими лицензиарами являются фирмы «Air Products and Chemicals, Inc.» (США) – процесс Catofin, представляющий собой

превращение пропана в пропилен дегидрированием в одну ступень в реакторах, работающих параллельно, «ABB Lummus Crest, Inc.» (США) – тоже по способу Catofin, «UOP» (США) – процесс Oleflex (Олефлекс).

В настоящее время восемь установок Олефлекс производят из пропана более 600 тыс. т/год пропилена для полимеризации и более 1,4 млн т/год изобутилена из бутана. Продуктовый пропилен используется для производства полипропилена и акрилонитрила, а изобутилен – для производства более 2,2 млн т/год метилтретбутилового эфира (МТБЭ).

Процесс Олефлекс можно представить в виде трех отдельных блоков: реактор, отбор продукта и блок регенерации катализатора.

Основными преимуществами технологии относительно других процессов дегидрирования легких парафинов являются:

- работа реакторного блока в непрерывном режиме;
- неизменность во времени всех параметров технологических потоков;
- интеграция углеводородсодержащего реакторного блока и кислородсодержащего блока регенерации при сохранении их изолированности друг от друга на всех стадиях, что обеспечивает безопасность производства;
- отсутствие необходимости установки арматуры на технологических линиях большого диаметра в реакторном блоке (арматура в реакторном блоке имеет диаметры 5–15 см);
- большой срок службы катализатора Олефлекс;
- отсутствие хромсодержащих, канцерогенных катализаторов.

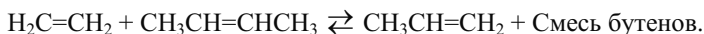
Селективность установки Олефлекс по пропилену составляет более 85% (масс.), 89% (мол.). С учетом потерь при фракционировании для производства 1 т пропилена в среднем требуется 1,18 т пропана.

Следует также отметить технологию фирмы «Linde» (Германия), при которой сырьем является не индивидуальный углеводород (пропан), а смесь углеводородов, в том числе такой сырьевой продукт, как широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ). Наряду с пропиленом в процессе фирмы «Linde» получают непредельные углеводороды C_4 – C_5 , которые в специальной системе разделения выделяются наряду с пропиленом и используются для дальнейшей переработки в химические продукты или компоненты моторного топлива.

Российской научно-исследовательской организацией «Ярсинтез» (ОАО НИИ «Ярсинтез») и итальянской инженерной компанией «Snam-

progetti» в конце 80-х – начале 90-х гг. XX в. был предложен усовершенствованный процесс дегидрирования – так называемый процесс ФБД-4, в котором стали применять более эффективную систему улавливания катализаторной пыли и модернизированный алюмохромовый катализатор, который обладал повышенной механической прочностью и термической стабильностью.

Фирма «Phillips» (США) разработала технологию получения пропилена из этилена и бутиленов. В основу положены реакции диспропорционирования (метатезис¹) – обмен алкилиденовых остатков между двумя молекулами олефинов. В результате реакции из этилена и бутена-2 получают пропилен и смесь бутенов:



Диспропорционирование олефиновых углеводородов впервые было открыто Р. Л. Банксом (Banks) и Г. К. Бейли (Bailey) в 1964 г. при использовании гетерогенных катализаторов, содержащих оксиды вольфрама, молибдена или рения, нанесенные на оксид алюминия. В 1967 г. было обнаружено диспропорционирование олефинов с участием гомогенных катализаторов.

Полученные продукты реакции подвергаются разделению. В качестве сырья могут использоваться продукты НПЗ. Французский институт нефти (IFP) объявил о создании процесса Мета-4 с низкотемпературной жидкофазной реакцией метатезиса и непрерывной регенерацией катализатора.

Процесс метатезиса считается конкурентоспособным, если цена пропилена составляет 0,8 от цены этилена. Кроме того, стоимость процесса метатезиса (капиталовложения) ниже, чем по процессу дегидрирования пропана.

Новые разработки в области получения пропилена связаны также с усилиями по увеличению выхода пропилена в процессе жидкофазного каталитического крекинга (ККФ, см. п. 12.3) и различными методами конверсии олефинов. Компания «ABB Lummus Crest, Inc.» (США) усовершенствовала ККФ и разработала новый избирательный крекинг с повышенным выходом олефинов. Кроме этого, компания усовершенствовала процесс конверсии смеси этилена и бутиленов (метатезис) с использованием равновесной газофазной реакции на стационарной каталитической системе в изотермических условиях. Селективность такого процесса по пропилену достигает 90–98%.

¹ *Метатезис* – от греч. *metathesis* – перестановка.

Новые каталитические технологии производства олефинов – SUPERFLEX и ACO – представила американская компания «Kellogg Brown & Root» («KBR»). В связи с тем, что, по экспертным оценкам, мировой спрос на этилен до 2013 г. составит 4,6% в год, а на пропилен – 5,1% в год, паровой пиролиз не сможет обеспечить такие темпы роста. Для проведения пиролиза требуется высокая температура (см. выше). При этом общий выход олефинов снижается с утяжелением сырья, а соотношение пропилена / этилена составляет 0,4–0,6.

Запатентованные технологические решения для реактора ККФ компании «KBR» обеспечивают соотношение пропилен / этилен = 1 / 1. Реакторы снабжены катализатором компании «SK Energy» (Южная Корея), оборудование и процесс апробированы в эксплуатации.

Процесс ACO дает выход олефинов на 15–20% выше по сравнению с процессом пиролиза, возможны также переработка широкодистиллятного сырья (прямогонной нефти, дистиллятов) и фракционирование рецикла фракции C₄–C₅.

Технология SUPERFLEX – это каталитический крекинг олефинов. Процесс разработан нидерландской компанией «ARCO Chemical Co.» (позднее поглощенной компанией «LyondellBasell Industries»), «KBR» является эксклюзивным мировым лицензиаром данной технологии. В процессе используются реакторы с псевдоожиженным слоем и особые цеолитные катализаторные смеси ZSM-5. Представленные технологии более экологичны по сравнению с паровым пиролизом: выбросы диоксида углерода значительно меньше.

Компания «Fina Research» (Бельгия) запатентовала высокоселективный процесс производства пропилена крекингом олефинов C₄ и выше на цеолитовом силикатном катализаторе. Возможна интеграция этого процесса с установками пиролиза нефти и получения МТБЭ.

Еще одним достижением является разработка фирмой «Lurgi» процесса Propylur – каталитического крекинга углеводородов C₄–C₅ в этилен и пропилен. Компания «Lurgi» разрабатывает процесс производства пропилена из метанола (см. п. 14.4).

Поскольку спрос на пропилен растет быстрее, чем спрос на этилен, возрастает роль альтернативных поставщиков пропилена. О химических синтезах пропилена сказано выше. Кроме этого, может быть увеличен выход пропилена с установок ККФ на нефтеперерабатывающих заводах. В обычном режиме функционирования установки ККФ выход пропилена ниже 6%. В модернизированной установке ККФ (с добавлением второго лифт-реактора) выход пропилена может быть увеличен до

16% при использовании традиционного сырья ККФ и до 19–21,5% при переработке бензиновых фракций. Предложены схемы, сочетающие установку пиролиза нефти и ККФ, что дает возможность увеличить выход пропилена на 27,7%, а соотношение получаемых пропилена и этилена – с 0,6 до 0,76. Экономический анализ показал, что затраты на включение блока ККФ в пиролизную установку окупятся за 1,5 года.

В перспективе также может существенно возрасти спрос на бутилены, в частности бутен-1 ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$), используемый как сомономер при производстве перспективного вида полиэтилена – линейного полиэтилена низкой плотности. Однако бутен-1 будет испытывать конкуренцию со стороны другого сомономера – гексена-1, получаемого димеризацией этилена. Ожидается рост спроса на изобутилен, используемый для производства МТБЭ, а также химических продуктов типа полиизобутилена и метилметакрилатов.

Бутилены получают совместно с этиленом и пропиленом при пиролизе. Обычно сначала выделяется фракция C_4 . Средний состав фракции C_4 : бутадиен – 35–55%, изобутилен – 20–25%, бутилены – 5–15%, изопрен 5–10%. Для получения дополнительного количества бутиленов используются технологии селективного гидрирования бутадиена в бутилены, которые разработаны фирмами «BASF», «UOP», Французским институтом нефти (IFP). Наиболее удачным является процесс фирмы «BASF» (процесс Selop-C_4). Процессы фракционирования бутилена разработаны фирмами «Sulzek» (Швейцария) и «UOP/Koch». Для изомеризации бутилена в изобутилен разработаны процессы американских компаний «CD-TECH», «UOP».

13.1.2. Производство диеновых углеводородов

Бутадиен (дивинил, $\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2$) является наиболее крупнотоннажным из мономеров промышленности синтетического каучука. Производственные мощности по выпуску бутадиена в мире в 2006 г. составляли почти 10,6 млн т/год (в 1982 г. около 4 млн т/год). Три четверти всего бутадиена в мире расходуется для получения различных видов синтетического каучука (полибутадиенового, бутадиен-стирольного, бутадиен-нитрильного, хлоропренового), остальное количество – для выпуска термоэластопластов, смол АБС, адипонитрила и других продуктов. В свою очередь, каучуки, термоэластопласты используются в производстве шин, резинотехнических изделий, резиновой обуви, клеев, технических пластмасс; адипонитрил является сырьем для выпуска нейлона-6,6.

Из новых направлений использования бутадиена можно назвать процессы его селективного гидрирования в бутилены, производства стирола из фракции углеводородов C_4 (технология компании «Dow Chemical Co.») путем циклодимеризации бутадиена в 4-винил-1-циклогексан с последующим окислением его в стирол (см. пп. 13.2.5).

Наиболее крупными производителями бутадиена в начале 90-х гг. XX в. были США, Россия и Япония, а к концу века роль России в мировом производстве бутадиена резко снизилась.

Изопрен ($CH_2=C(CH_3)CH=CH_2$) применяют для синтеза изопреновых каучуков (более 95%), бутилкаучука, изопрен-стирольных термоэластопластов, *транс*-полиизопрена, в производстве душистых и лекарственных средств. Мощности по производству изопрена были созданы в СССР, когда решалась проблема производства полиизопренового синтетического каучука – заменителя натурального каучука.

В 70–80-е гг. XX в. российские мощности по производству изопрена составляли более 1 млн т/год, а в настоящее время уменьшились втрое. Однако степень использования действующих мощностей не превышает 40%. Специфика российской структуры производства каучуков (высокая доля полиизопренового каучука) и мономеров (единственное в мире крупное производство изопрена) имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Недостаток ее – существенное отличие от сложившейся в мире структуры потребления синтетических каучуков, преимущество – возможность поставлять на рынок полиизопреновый каучук – полноценный заменитель натурального каучука.

Впервые бутадиен получен французским химиком Ж. Б. Каванту (Caventou) в 1862 г. пиролизом сивушного масла. Первое промышленное производство бутадиена в СССР было организовано по методу С. В. Лебедева из этилового спирта.

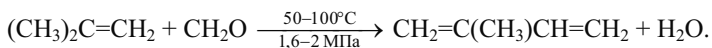
Наиболее широко используемыми за рубежом процессами производства бутадиена из бутана или бутан-бутиленовой фракции (более экономично), а изопрена из изопентана или изопентан-изоамиленовой фракции являются процессы каталитического дегидрирования углеводородов, разработанные американской фирмой «Air Products and Chemicals» и модифицированные другой американской фирмой «ABB Lummus Crest, Inc.» (США):



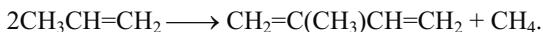
Суть технологии каталитического дегидрирования заключается в проведении реакции в виде одноступенчатого адиабатического процесса дегидрирования в системе с неподвижным катализатором. Катализаторы представляют собой металлосодержащие гранулы с высокой механической прочностью. После использования катализатор регенерируется и вновь загружается в реакторы. Технологический процесс реализован на большинстве действующих установок дегидрирования, лицензии выданы на строительство ряда новых установок.

В России используются отечественные установки двухстадийного дегидрирования *n*-бутана в бутadiен и изопентана в изопрен. Однако технология двухстадийного дегидрирования морально устарела, и установки, проработавшие по этой технологии несколько десятков лет, постепенно закрываются. Более технически совершенной является технология одностаийного дегидрирования. В свое время были разработаны несколько новых технологий производства бутadiена: димеризацией, содимеризацией и диспропорционированием низших олефинов в присутствии металлокомплексных катализаторов, однако эти технологии не нашли практического применения.

Разработанные в России методы производства изопрена еще более разнообразны. Кроме упомянутых процессов двух- и одностаийного дегидрирования изопентана и изоамиленов, имеются технологии получения изопрена из изобутилена и формальдегида:



Были разработаны, однако не получили промышленного развития технологии получения изопрена путем димеризации пропилена по схеме:



Многие из указанных технологий оказались неконкурентными по сравнению с экстракцией бутadiена и изопрена из фракций $\text{C}_4\text{--C}_5$, получаемых при пиролизе жидкого углеводородного сырья. Получаемая на этиленовых установках фракция $\text{C}_4\text{--C}_5$ является сырьем для производства не только бутadiена, но и бутиленов, изопрена, изобутилена. При переработке фракции $\text{C}_4\text{--C}_5$ обычно используются различные схемы, отличающиеся степенью глубины переработки. Наиболее широко применяемым является процесс экстракции бутadiена из фракции C_4 . В настоящее время используются схема компа-

ний «BASF» (экстракция *n*-метилпирролидоном), «Nippon Zeon» (Япония) (экстракция диметилформамидом), «Esso» (США) (экстракция ацетонитрилом). Наилучшей считается схема «BASF». Выбор конкретных схем переработки фракции C_4 зависит от конъюнктуры спроса на бутадиен и другие продукты, извлекаемые из фракции C_4 . Поскольку темп роста производства этилена (и, следовательно, фракции C_4) выше темпа роста потребления каучуков бутадиенового ряда, возникает некоторый избыток бутадиена, что вынуждает использовать более усложненные схемы переработки фракции C_4 .

В структуре производства бутадиена в России в 2000 г. метод одностадийного дегидрирования *n*-бутана составил 53%, выделение из пиролизной фракции углеводородов C_4 – 47%. В структуре производства изопрена в 2000 г. доля метода двухстадийного дегидрирования изопентана составляла 54%, а метода конденсации изобутилена и формальдегида – 46%. Следует еще раз отметить, что крупнотоннажное производство изопрена имеется только в России, но здесь в 90-е гг. XX в. произошло заметное сокращение объемов производства (тыс. т): 1990 г. – 917; 1995 г. – 263; 1998 г. – 232; 2000 г. – 332.

По оценке экспертов Американской ассоциации рынков химической продукции (США), мировой спрос на бутадиен в первые десятилетия XXI в. будет расти темпом около 4% в год. Наиболее высокие темпы роста потребления бутадиена в этот период ожидаются не в промышленности синтетического каучука, а в производстве смол АБС, адипонитрила и прочих продуктов.

13.1.3. Производство ароматических углеводородов

Значение производства ароматических углеводородов постоянно увеличивается, так как применение получаемых на их базе химических продуктов и синтетических полимеров непрерывно расширяется. Основными ароматическими углеводородами являются бензол, толуол и ксилолы. Ароматические углеводороды получают на нефтеперерабатывающих заводах в процессе риформинга, направленного специально на увеличение содержания бензола, толуола и ксилолов в рафинате.

Для выделения бензола, толуола и ксилолов из катализатов риформинга широких фракций можно использовать, например, процесс Деалформинг, запатентованный в США, Японии, ФРГ, Франции и Великобритании. Технология в настоящее время актуальна, так как хорошо согласуется с процессом получения высокооктановых бензинов (см. п. 12.1).

В условиях процесса достигается практически полная степень расщепления парафиновых углеводородов C_8-C_{10} , образующих азеотропные смеси с толуолом и ксилолами. Продукт представляет собой концентрат ароматических углеводородов, разделяемых ректификацией. Гидрокрекинг парафиновых углеводородов приводит к образованию в основном этана, пропана и бутана.

В состав установки входят следующие блоки:

- подготовка сырья ректификацией (выделение фракции 100–180°C риформата);
- деалформинг фракции 100–180°C риформата при температуре 460–500°C и давлении 3,5 МПа на цеолитсодержащем катализаторе в присутствии циркулирующего водородсодержащего газа (ВСГ);
- экстракция бензола из смеси фракции н.к.–100°C риформата и бензольной фракции деалформинга растворителем, включая узел очистки глинами;
- выделение товарной ароматики ректификацией.

Кроме этого, ароматические углеводороды получают на нефтехимических предприятиях в составе пироконденсата при работе этиленовых установок на жидком углеводородном сырье, а также на коксохимических предприятиях из легкого газойля коксования углей. Ароматические углеводороды извлекаются из рафинатов или пироконденсата методами экстракции, экстрактивной дистилляции, адсорбции. Существуют различные методы взаимного превращения ароматических углеводородов, например деметилирование толуола в бензол; диспропорционирование смеси толуола и ксилолов в бензол и изомеры ксилолов; изомеризация ксилолов. Разработаны также процессы получения ароматических углеводородов из смеси пропана и бутана.

Мировое производство бензола выросло с 16,4 млн т в 1980 г. до 19,6 в 1990 г. и до 30 млн т в 2000 г. В 2005 г. в мире было произведено около 39,4 млн т бензола (на 5,1% больше по сравнению с 2004 г.).

В ближайшее время из баланса моторных топлив по экологическим соображениям может быть исключено значительное количество бензола, использовавшегося раньше как высокооктановая добавка к бензинам. Таким образом, могут появиться свободные ресурсы бензола для химической переработки. Это обстоятельство должно быть учтено при проектировании новых мощностей по производству бензола.

Бензол является одним из крупнотоннажных базовых нефтехимикатов ароматической группы углеводородов. Основные области

применения бензола (более 80%): производство этилбензола, кумола и циклогексана; остальное количество – для получения анилина, малеинового ангидрида, как растворитель и экстрагент в производстве лаков, красок, ПАВ и др.

Бензол открыт английским физиком и химиком М. Фарадеем (Faraday) в 1825 г. при пиролизе китового жира, а впервые синтезирован немецким химиком Э. Мичерлихом (Mitscherlich) в 1833 г. декарбоксилированием бензойной кислоты. Этот метод в настоящее время применяется для синтеза особо чистого бензола в лабораторных условиях.

Наиболее старый способ получения бензола: выделение его из предварительно охлажденных пирогазовых продуктов коксования каменных углей абсорбцией органическими поглотителями, например маслами каменноугольного и нефтяного происхождения; для отделения поглотителя используют перегонку с водяным паром. От примесей (например, тиофена) сырой бензол отделяют гидроочисткой. В настоящее время доля коксохимического бензола в общем балансе невелика (см. главу 15).

Основными процессами производства бензола являются:

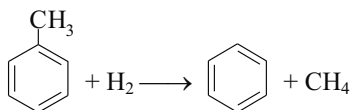
- риформинг на ароматику (470–550°C) нефтяной фракции, выкипающей при 62–85°C с последующей экстракцией бензола из риформата;
- деметилирование толуола;
- извлечение из пироконденсата этиленовых установок;
- процесс дегидроциклизации пропан-бутановой фракции.

Так, в 2005 г. в мире около 37% бензола было получено риформингом нефтяного сырья, 34% – путем извлечения из пироконденсата этиленовых установок, деалкилированием и диспропорционированием толуола было выпущено 16 и 8% соответственно. Доля каменноугольного сырья в структуре мирового производства бензола продолжает сокращаться, в 2005 г. она составила около 5%.

Таким образом, путем риформинга производят большую часть бензола. Основными лицензиарами процесса каталитического риформинга на ароматику являются американская фирма «UOP» и Французский институт нефти (IFP). Основной лицензиар процесса извлечения ароматических углеводородов из риформата – американская фирма «UOP».

При избытке ресурсов толуола бензол можно производить деалкилированием последнего, которое проводят термическим способом при 600–820°C в присутствии водорода и водяного пара или катали-

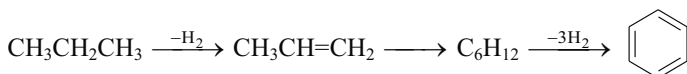
тически при 227–627°C в присутствии цеолитов или оксидных катализаторов:



Разработчиком процесса превращения толуола в бензол является американская фирма «Mobil Oil». Процесс назван MSTDP¹.

Наиболее экономически выгодно выделить бензол из продуктов пиролиза, но ресурсы этого источника недостаточны. Получение ароматических углеводородов из пироконденсата этиленовых установок освоено по технологии американской фирмы «UOP», немецкой фирмы «BASF» и др. В связи с быстрым ростом мощностей этиленовых установок удельный вес этого метода в общей технологической структуре производства бензола возрастает.

В последнее время появилась новая технология получения ароматических углеводородов – дегидроциклизацией пропана и бутана на цеолитах. Установлено, что сначала протекают дегидрирование и крекинг алканов с образованием алкенов, которые олигомеризуются, затем осуществляется дегидроциклизация и дегидрирование циклоолефинов по приведенной ниже схеме:



Разработчиками процесса являются фирмы «BP» и «UOP» – процесс Cyclar, а также ОАО «ВНИИНЕфтехим», г. Санкт-Петербург (организация ликвидирована в 2015 г.) – процесс Алифар.

На сегодняшний день уже ведется проработка промышленного варианта процесса Cyclar (Циклар) на площадке ОАО «СИБУР-Нефтехим» в Кстово для строительства производства ароматических соединений. На пилотной установке уже получены убедительные результаты, которые позволяют утверждать, что сегодня можно реализовать данный процесс с использованием действующего оборудования. Процесс Циклар предназначен для переработки сжиженных газов непо-

¹ MSTDP – Mobil Selective Toluene DisProportionation = селективное диспропорционирование толуола по методу Мобил.

средственно в жидкие ароматические углеводороды за один проход. Технология позволяет расширить использование сжиженных газов для производства ценных ароматических соединений (бензол, толуол и ксилол), используемых в нефтехимической промышленности.

При эксплуатации установки в режиме низкого давления суммарный выход ароматических соединений возрастает с 61% (масс.) для свежего сырья, состоящего полностью из пропана, до 66% (масс.) для бутанового сырья, с соответствующим снижением количества вырабатываемого топливного газа. Для сырья, состоящего из смеси пропана и бутана, выходы продуктов могут быть рассчитаны с помощью линейной интерполяции. Из бутанового сырья получают продукт, который содержит меньше бензола и больше ксиолов по сравнению с продуктом, полученным из пропана. Жидкий продукт, полученный как из пропанового, так и из бутанового сырья, содержит примерно 91% бензола, толуола и ксиолов, 9% тяжелых ароматических соединений.

Толуол впервые получен французским химиком П. Ж. Пеллетье (Pelletier) в 1835 г. при перегонке сосновой смолы. В 1838 г. выделен А. Девилем (Deville) из бальзама, привезенного из города Толу в Колумбии, в честь которого получил свое название.

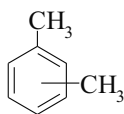
В настоящее время в основном толуол получается в процессе каталитического риформинга на ароматику одновременно с бензолом и ксиололами. Каменноугольный толуол, образующийся в процессе коксования, извлекают из коксового газа в виде компонента сырого бензола, подвергают сернокислотной очистке (для удаления непредельных и серосодержащих соединений) и выделяют ректификацией. Значительное количество толуола получают как побочный продукт при синтезе стирола из бензола и этилена (см. пп. 13.2.5). Производство толуола в мире на начало 2001 г. составляло около 19,5 млн т/год.

Часть толуола перерабатывается в бензол (деметилирование толуола), еще часть используется как компонент высокооктановых бензинов, остальное применяется в качестве растворителя. Как пример непосредственной химической переработки (кроме уже упомянутой реакции деметилирования толуола в бензол, а также диспропорционирования толуола в ксилолы) можно назвать получение толуиленидиозианатов, тринитротолуола (тротила), бензойной кислоты, бензальдегида, фенола и др.

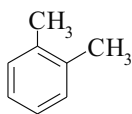
Наибольшее распространение из химических производных толуола приобрели диозианаты, которые являются полупродуктом при

получении полиуретанов. В небольших количествах толуол применяется для производства сахарина и хлорамина (сульфирование толуола), хлорбензола (хлорирование толуола), бензальдегида и бензойной кислоты (окисление толуола). В нескольких странах (США, Канада, Нидерланды) имеются установки по производству фенола из толуола. Толуол может быть использован для синтеза винилтолуола (метилстирола), заменяя при этом дефицитный бензол.

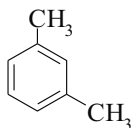
Суммарные ксилолы – смесь орто-, мета- и параксилолов (*о*-ксилол, *м*-ксилол, *п*-ксилол)



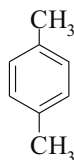
суммарные
ксилолы



о-ксилол



м-ксилол

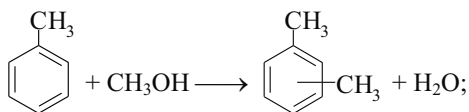


п-ксилол

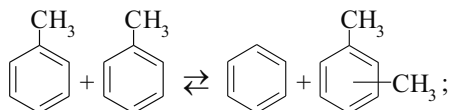
получаются (например, в процессе риформинга на ароматику или при пиролизе бензина, подвергнутого гидроочистке) совместно с бензолом и толуолом и выделяются из смеси ароматических углеводородов на нефтеперерабатывающих заводах. Основная часть суммарных ксилолов используется для получения *п*-ксилола (77%), остальная – для производства *о*-ксилола (13%) и растворителей (7%). Кроме того, одним из направлений использования ксилолов (3%) является их смешение с автобензинами для увеличения октановых характеристик бензинов.

По данным на 2005 г., в мире производится около 32 млн т/год суммарных ксилолов. По оценкам экспертов «CMAI» («Chemical Market Associates, Inc.», США) и консалтинговой фирмы «Purvin and Gertz, Inc.» (США), в ближайшие годы спрос на ксилолы должен повыситься в основном за счет быстрого роста потребления *п*-ксилола, являющегося исходным сырьем в производстве полиэфирных волокон.

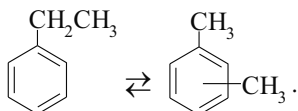
В последнее время разработано несколько новых технологических процессов получения *п*-ксилола (идущего на получение терефталевой кислоты, являющейся промежуточным продуктом в производстве полиэфирных волокон и полиэфирных смол), в частности процесс GTC Technology (алкилирование толуола метанолом) – лицензиар индийская фирма «Indian Petrochemical»:



процесс селективного диспропорционирования толуола GT-STDP – лицензиар также фирма «Indian Petrochemical»;



изомеризация этилбензола на платиновом или цеолитсодержащем катализаторе при 400°C – лицензиар Французский институт нефти (IFP):



Выделение индивидуальных изомеров и последующая химическая переработка параксилола в терефталевую кислоту и диметилтерефталат составляет сырьевую базу пластмасс, синтетических (полиэфирных) волокон. Переработка *о*-ксилола во фталевый ангидрид обеспечивает сырьем производство пластификаторов и алкидных смол. Переработка *м*-ксилола в изофталевую кислоту обеспечивает сырьем производство сложных эфиров.

Способы разделения ксилолов основаны на их физических свойствах: размерах и пространственных конфигурациях молекул, а также температурах кипения (*о*-ксилол – 144,4°C, *м*-ксилол – 139,1°C, *п*-ксилол – 138,4°C) и температурах плавления (*о*-ксилол – минус 25,2°C, *м*-ксилол – минус 47,9°C, *п*-ксилол – 13,2°C).

В частности, суммарные ксилолы, получаемые на установках каталитического риформинга лигроиновых фракций, выделяются из катализата риформинга при помощи процесса Parex, который разработала американская компания «UOP». С этим процессом хорошо сочетается еще одна технологическая разработка компании «UOP» – процесс Isomar, в котором осуществляется изомеризация продуктов головной колонны процесса Parex. Сочетание двух этих процессов (комплекс Parex–Isomar) обеспечивает высокий выход *о*-ксилола (вы-

деленным методом ректификации) и *n*-ксилола (выделенным адсорбцией на цеолитах).

Другим способом разделения ксилолов является технология, предусматривающая ректификацию *o*-ксилола из суммарных ксилолов, получение *n*-ксилола методом кристаллизации (вымораживания) и центрифугирования с изомеризацией фугата (метаксилола и этилбензола) в *o*- и *n*-ксилол с возвратом продуктов изомеризации в блок ректификации. Разработчиками технологий, основанных на принципе кристаллизации *n*-ксилола, являются компания «GTC Technology» (Хьюстон, США) совместно с американской химической компанией «Lyondell Chemical Corp.», а также американские фирмы «Atlantic Richfield» и «Engelhard Minerals & Chemicals». В частности, последняя технология по проекту фирмы «Kawasaki» (Япония) была реализована в 1976 г. в ПО «Киришинефтеоргсинтез».

Кроме этого, имеется процесс селективной изомеризации смеси ароматических углеводородов (ксилольной смеси) – процесс МНТИ¹ американской фирмы «Mobil Oil». Реакция изомеризации протекает на стационарном слое формоселективного цеолитного катализатора ZSM-5 при умеренных температуре и давлении. В процессе реакции смесь, содержащая большое количество *m*-ксилола и этилбензола, превращается в продукт, содержащий в основном *n*- и *o*-ксилолы. По данной технологии эксплуатируется ряд установок в Японии и США.

В настоящее время в России основное количество ароматических углеводородов вырабатывается на установках каталитического риформинга, а также при переработке пироконденсатов. По техническому уровню отечественное производство ароматических углеводородов значительно отстает от ведущих стран Запада, использующих для получения ароматических углеводородов каталитический риформинг с непрерывной регенерацией катализатора и эффективные экстрагенты.

Перспективы производства изомеров ксилола в России практически полностью зависят от темпов роста производства полимерных материалов и ряда химических продуктов, получаемых на их основе. В период до 2008 г. уровень производства ксилолов в России приблизился к «дореформенному» (порядка 700–800 тыс. т).

¹ МНТИ – Mobil High Temperature Xylene Isomerization = высокотемпературная изомеризация ксилола по методу Мобил.

Согласно среднесрочным прогнозам, в ближайшие 10 лет в России будет осуществлено применение новых эффективных катализаторов, а также внедрение процесса каталитического риформинга с непрерывной регенерацией катализатора, что позволит увеличить выход ароматических углеводородов на сырье. Кроме того, для выделения ароматических углеводородов будут применяться более эффективные экстрагенты. Также возможно, что разделение будет осуществляться с помощью менее дорогостоящих (по сравнению с экстракцией) методов.

13.2. Производство нефтехимикатов

К группе нефтехимикатов обычно относятся спирты, оксиды, гликоли, альдегиды, кетоны, ангидриды, кислоты и прочие крупнотоннажные нефтехимические продукты. Ниже будут коротко рассмотрены основные и перспективные технологии получения следующих нефтехимикатов: фенола (C_6H_5OH), ацетона (CH_3COCH_3), линейных α -олефинов (фракций C_6-C_8 , C_8-C_{12} и $C_{12}-C_{16}$), уксусной кислоты (CH_3COOH), анилина ($C_6H_5NH_2$), а также важных мономеров: стирола ($C_6H_5CH=CH_2$) и винилхлорида ($CH_2=CHCl$).

13.2.1. Производство фенола и ацетона

Фенол принадлежит к числу наиболее крупнотоннажных продуктов нефтехимической промышленности. По состоянию на начало 2008 г. мировое производство фенола находилось на уровне 8,5 млн т/год и продолжает быстро расти. Как таковой фенол практически не используется. Но благодаря тому, что его молекула включает два умеренно реакционноспособных фрагмента (ароматическое кольцо и ОН-группа), каждый из которых может быть вовлечен в дальнейшие превращения, фенол является основой для синтеза многих важных химических продуктов.

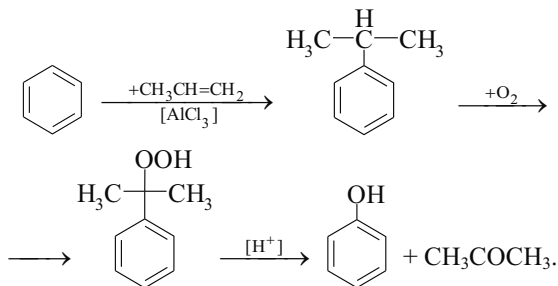
Фенол применяется во многих отраслях экономики, но основной его потребитель – нефтехимическая и химическая промышленность. Здесь он используется в производстве пластмасс на основе фенолформальдегидных смол (34%), синтетических волокон типа капрон (15%), эпоксидных смол и поликарбонатов на основе дифенилолпропана (37%), гербицидов, антисептических и дезинфицирующих средств (карболка), а также ряда синтетических красителей, взрывчатых веществ, алкилфенолов, адипиновой кислоты, анилина, конструкционных пластмасс.

В нефтяной промышленности фенол применяется для селективной очистки масел и в качестве сырья в производстве присадок к топливам и маслам (ионол). В легкой промышленности на основе фенола получают дубители для кожи, в фармацевтической промышленности на его основе изготавливается салициловая кислота (аспирин) и другие лекарственные полупродукты и препараты.

Снижается потребление фенола в нефтяной промышленности, где его заменяют более эффективные растворители. Доля фенола как полупродукта в производстве капроновых волокон снижается за счет использования в качестве полупродуктов капролактама и адипиновой кислоты. Растет выработка дифенилолпропана и эпоксидных смол и лаков на его основе, а также пластификаторов.

История фенола насчитывает уже более 160 лет. Впервые он был выделен из каменноугольной смолы в 1834 г., откуда и получил свое название – карболовая (угольная) кислота.

На ранних этапах промышленного производства синтетического фенола использовались сульфурационный метод и парофазное хлорирование бензола. В 60-е гг. прошлого века фирма «Monsanto» (США) в течение нескольких лет использовала циклогексановый метод на одном из своих заводов в Австралии. Однако наибольшее, практически повсеместное преимущество получил кумольный метод производства фенола (метод Удриса–Сергеева), впервые разработанный советскими учеными и внедренный в промышленную практику еще в 1949 г.:



Согласно отечественной разработке, процесс получения фенола включает три стадии:

- сначала путем взаимодействия бензола и пропилена получается кумол в присутствии хлорида алюминия в качестве катализатора;

• следующей стадией является превращение кумола в гидропероксид кумила (ГПК), например путем жидкофазного автокаталитического окисления кислородом воздуха при 90–130°C;

• затем ГПК в присутствии кислотных катализаторов (например, серной кислоты) разлагается с получением фенола и ацетона.

Продукты разложения нейтрализуются щелочью. Выход фенола – 95% в расчете на кумол; фенол и ацетон выделяют ректификацией.

Химический маршрут процесса был открыт в 1942 г. группой талантливых химиков, в которую входили П. Г. Сергеев, Р. Ю. Удрис и Б. Д. Кружалов. В это время они были репрессированы и работали в специальной весьма хорошо оборудованной лаборатории, которая одновременно служила и местом заключения.

В 1949 г. в г. Дзержинске Горьковской области был введен в действие первый в мире кумольный завод. В 1951 г. в связи с успешным пуском завода большой группе советских ученых и инженеров была присвоена высшая награда страны – Сталинская премия. Драматическая история создания кумольного процесса в СССР описана в ряде статей, опубликованных в 80-е гг. XX в.

В 1947 г. Сергееву, Удрису и Кружалову были выданы авторские свидетельства СССР. К сожалению, их открытие не получило мировой известности. На Западе кумольный метод был разработан в конце 40-х гг. XX в. и отчасти известен как процесс Хока – по имени немецкого ученого Г. Хока (Hock), позднее независимо открывшего кумольный путь синтеза фенола. В промышленном масштабе этот метод стал впервые использоваться в США в начале 50-х гг. XX в. С этого времени на многие десятилетия кумольный процесс становится образцом химических технологий во всем мире.

В мировой практике кумольный процесс разработан рядом фирм («Chemical Research and Licensing Co.» (США), «UOP» (США), «Kellogg» (США), «Monsanto» (США) и «Mitsui Petrochemical» (Япония)). Наибольшее распространение получил кумольный метод фирмы «UOP». В настоящее время фирмой «UOP» проданы почти 50 лицензий; почти 90% всех действующих в мире установок вырабатывают фенол по технологии «UOP».

Фирма «Chemical Research and Licensing Co.» разработала технологию получения кумола методом каталитической ректификации. Процесс протекает в аппарате, объединяющем реактор и ректификационную колонну. Сейчас уже не работает ни одна из установок по этой технологии, однако принцип ректификации используется при

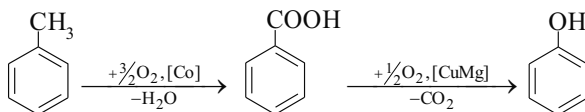
получении метилтретбутилового эфира (МТБЭ), продукта для повышения детонационной стойкости и улучшения экологических характеристик автобензина.

По технологии фирм «Kellogg» и «Monsanto» процесс получения кумола протекает в присутствии катализатора хлорида алюминия и хлористого водорода. Процесс в основном предназначен для увеличения мощности действующих установок.

По технологии «Kellogg/Hercules/BP Chemicals», кроме фенола и ацетона, в этом процессе могут быть получены 1-метилстирол и ацетофенон.

В конце 90-х гг. прошлого века в печати появились данные о новой технологии каталитического алкилирования бензола пропиленом с использованием нового цеолитного катализатора.

В свое время в СССР был разработан процесс получения фенола из толуола. Это двухстадийный процесс: сначала осуществляется каталитическое окисление толуола в бензойную кислоту при 140°C, затем окисление бензойной кислоты в фенол при 140°C. Обе реакции, схема которых приведена ниже, протекают в жидкой фазе.



В принципе, метод получения фенола мог бы представлять несомненный интерес, так как исходным сырьем является не бензол, а толуол. Довольно часто в практике деятельности предприятий, вырабатывающих ароматические углеводороды, складывается ситуация, когда возникает избыток толуола. Однако по экономическим показателям этот метод получения фенола оказался менее эффективным, чем кумольный процесс. В настоящее время этот метод используется на практике; его доля в мировом производстве фенола составляет лишь около 5%. Остальные 95% приходятся на кумольный процесс.

Несмотря на прекрасно отлаженную технологию и длительный опыт эксплуатации, кумольный метод имеет ряд недостатков. Прежде всего это наличие взрывоопасного промежуточного соединения (гидропероксид кумола), а также многостадийность метода, что требует повышенных капитальных затрат и делает труднодостижимым высокий выход фенола в расчете на исходный бензол. Так, при выходе полезного продукта 95% на каждой из трех стадий итоговый выход со-

ставит лишь 86%. Приблизительно такой выход фенола и дает кумольный метод в настоящее время.

Но самый важный и принципиально неустранимый недостаток кумольного метода связан с тем, что в качестве побочного продукта образуется ацетон. Это обстоятельство, которое первоначально рассматривалось как сильная сторона метода, становится все более серьезной проблемой, поскольку ацетон не находит эквивалентного рынка сбыта. В 90-х гг. XX в. эта проблема стала особенно ощутимой после создания новых способов синтеза метилметакрилата путем окисления углеводородов C_4 , что резко сократило потребность в ацетоне. Об остроте ситуации говорит тот факт, что в Японии разработана технология, предусматривающая рецикл ацетона. С этой целью к традиционной кумольной схеме добавляются еще две стадии – гидрирование ацетона в изопропиловый спирт и дегидратация последнего в пропилен. Образующийся пропилен снова возвращают на стадию алкилирования бензола. В 1992 г. фирма «Mitsui» пустила крупное производство фенола (200 тыс. т/год), основанное на этой пятистадийной кумольной технологии.

В последнее время появилось несколько новых технологий одноступенчатого каталитического окисления бензола в фенол. Разработкой Национального японского института прогрессивной науки и техники и компаний «Mazuren Petrochemical» и «NOK Corp.» явилась технология прямого окисления бензола в фенол на палладиевом катализаторе. Институтом катализа им. Г. К. Борескова СО РАН и компаний «Solutia» (американская фирма, которая является новой химической компанией, отделившейся в конце 90-х гг. прошлого века от фирмы «Monsanto») разработан процесс производства фенола из бензола с использованием оксидов азота. Однако план строительства промышленной установки в Пенсеколе (штат Флорида, США) на основе этого процесса отложен из-за недостаточно устойчивой ситуации со спросом на фенол. Исследователи Токийского технологического института разработали метод прямого синтеза фенола из бензола на $Eu-Ti-Pt$ -катализаторе, однако и этот процесс пока не реализован в промышленном масштабе.

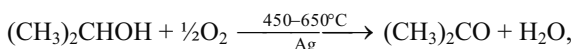
При производстве фенола кумольным способом одновременно с ним получается другой нефтехимический продукт – ацетон. Ценные физико-химические и химические свойства ацетона обусловили его широкое применение как непосредственно в качестве конечного продукта, так и в виде исходного материала для разнообразных синтезов.

Как растворитель ацетон используется в лакокрасочной промышленности. В этом качестве используется либо сам ацетон, либо получаемые на его основе более качественные растворители (метилизобутилкетон, метилизобутилкарбинол и др.). Кроме того, ацетон находит применение в промышленности пластических масс как полупродукт при получении эфиров метакриловой кислоты, в частности метилового эфира метакриловой кислоты (метилметакрилата). Ацетон используется как сырье при производстве уксусного ангидрида, бисфенола-А (дифенилолпропана), применяемого для получения поликарбонатов. Ацетон применяется как полупродукт при производстве ацетатных волокон. Кроме этого, ацетон используется как растворитель при наполнении баллонов ацетиленом, в нефтяной, фармацевтической и других отраслях.

Основными методами получения ацетона были:

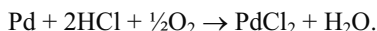
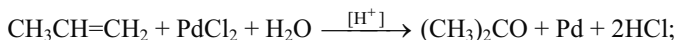
- ацетоно-бутиловое брожение на основе продукции и отходов сельскохозяйственного производства под влиянием бактерий *Bacillus acetobutylicus*;
- окисление изопропилового спирта;
- получение одновременно с фенолом в кумольном процессе синтеза этих нефтехимических продуктов.

Метод ацетоно-бутилового брожения из-за расхода сельскохозяйственной продукции практически потерял свое значение. Методы синтеза ацетона из изопропилового спирта, например окисление в паровой фазе:



по уровню технико-экономических показателей значительно уступают кумольному процессу, который и получил наиболее широкое распространение.

Имеется также относительно новый метод получения ацетона (с выходом 90%) прямым окислением пропилена в жидкой фазе в присутствии хлористого палладия в среде водного раствора солей Pd, Fe или Cu при 50–120°C и 5–10 МПа:



Кроме того, известны способы получения ацетона на основе ацетилена, уксусной кислоты и этанола.

Производство ацетона в мире по состоянию на 2007 г. составляло 6,5 млн т/год (в 1980 г. около 3 млн т/год). Из основных потребителей ацетона наибольшие перспективы у метилметакрилата и акриловых пластмасс и смол, а также лакокрасочных материалов на его основе; бисфенола-А и поликарбонатов. Ввиду того, что ацетон получается совместно с фенолом, темпы потребления которого заметно замедлились, в мире сложился переизбыток мощностей по выработке ацетона. Так, в 2000 г. степень использования производственных мощностей по выпуску ацетона в мире составляла 84%.

Таким образом, дальнейшее развитие производств ацетона без фенола, возможно, будет происходить при увеличении спроса, например на метилметакрилат.

13.2.2. Производство линейных α -олефинов

Линейные α -олефины получают в виде широкой гаммы фракций, в том числе фракций C_6-C_8 , C_8-C_{12} и $C_{12}-C_{16}$. Фракция олефинов C_6-C_8 (50% всех α -олефинов) используется как сомономер в производстве полиэтилена высокой плотности, линейного полиэтилена низкой плотности, полиэтилена сверхнизкой плотности, а также полиолефиновых эластомеров с повышенным содержанием одного из α -олефинов (октена). α -Олефины $C_{10}-C_{12}$, превращаемые в поли- α -олефины, являются высококачественными смазками с низкой степенью летучести. α -Олефины $C_{12}-C_{16}$ используются в производстве биоразлагаемых синтетических моющих средств.

Всего в мире, по данным на конец 2002 г., α -олефинов производилось 3,4 млн т в год. В последние годы мировой рынок α -олефинов характеризовался устойчивым превышением предложения над спросом, и лишь в настоящее время на рынке ощущается нехватка этих продуктов, которая сохранится и в ближайшее время, несмотря на ввод новых мощностей. Спрос на α -олефины очень высок, особенно на гексен и октен в качестве сомономеров. По прогнозу западноевропейских экспертов, темпы роста спроса в целом на α -олефины оцениваются в 6% в год.

В 60–80-е гг. XX в. основным способом производства линейных α -олефинов C_6-C_{20} был термический крекинг парафиновой фракции, содержащей нормальные алканы состава $C_{14}-C_{34}$ при 550°C.

В настоящее время α -олефины производят в основном методом каталитической олигомеризации этилена для получения смеси продуктов C_4-C_{20} . В промышленном масштабе применяется Shop-про-

цесс фирм «Royal Dutch Shell» (Нидерланды, Великобритания), «BP Амосо» (Великобритания, США) и «Chevron Corp.» (США). Опытноконструкторские работы ведутся в направлении максимального увеличения в смеси доли наиболее ценных компонентов, в основном в пределах ряда C_6 – C_{18} . Недавно фирма «Sasol» (ЮАР) разработала процесс по экстрагированию C_6 и C_8 при производстве углеводородов по методу Фишера–Тропша (см. п. 14.5). Компания «Phillips Petroleum» (США) освоила процесс сшивания трех молекул этилена с получением гексена. Новая технология основана на одностадийном процессе конверсии этилена в гексен-1. Компания «Phillips Petroleum» разрабатывала эту технологию 10 лет и считает ее важнейшим достижением в области переработки этилена.

Перспективы мирового потребления α -олефинов для сополимеризации с этиленом оцениваются весьма благоприятно.

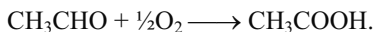
13.2.3. Производство уксусной кислоты

Уксусная кислота потребляется в массовых количествах в промышленности органического синтеза, а также в пищевой, текстильной и других отраслях. В 2008 г. мировые производственные мощности по производству уксусной кислоты достигли 12,03 млн т, выработка составила 9,6 млн т. Уровень использования мощностей составляет около 82%. Основное ее количество (75%) используется для синтеза химических продуктов, таких как винилацетат, терефталевая кислота, уксусный ангидрид, пропилбутиловый эфир, этилацетат.

Методы получения уксусной кислоты разнообразны. Ранее она производилась из сырья растительного происхождения или биохимическим путем (окислением этилового спирта кислородом воздуха в присутствии «уксусного грибка») или из продуктов сухой перегонки древесины. Однако основное количество уксусной кислоты получают синтетическим путем. Основными методами являются:

- окисление уксусного альдегида;
- синтез из ацетона через кетен;
- синтез из оксида углерода и метилового спирта;
- окисление предельных углеводородов (бутана и выше).

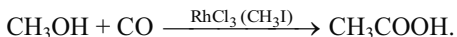
Часть уксусной кислоты регенерируют в процессе производства ацетилцеллюлозы. Наибольшее распространение среди методов синтеза уксусной кислоты получил процесс окисления уксусного альдегида (им получают свыше 75% всей синтезируемой уксусной кислоты):



Промышленное распространение получил метод каталитического окисления уксусного альдегида кислородом в жидкой фазе (например, катализатор – соли Mn при 56–75°C и давлении 0,2–0,3 МПа). Лицензиаром процесса является немецкая компания «Hoechst» (ныне – «Sanofi», Франция). Производство уксусной кислоты по методу, предложенному этой компанией, характеризуется высокими выходами кислоты, низкими капитальными затратами, энергозатратами. Катализатор циркулирует без дополнительной очистки и потерь. Побочные продукты отсутствуют. Продукт подвергается дополнительной очистке в трех колоннах атмосферной перегонки.

Уксусная кислота получается также из оксида углерода по технологии американской компании «DuPont». Процесс осуществляется при высоких давлении и температуре и характеризуется достаточно высокими капитальными и эксплуатационными затратами. Известны также некаталитическое парофазное окисление пропан-бутановой фракции и каталитическое жидкофазное окисление предельных углеводородов (в частности, *n*-бутана). При окислении *n*-бутана в уксусную кислоту получают множество побочных продуктов, из которых наибольшими являются фракции метилэтилкетона и этилацетата, а также ацетона и бутиловых спиртов. Разделение фракций и выделение чистой уксусной кислоты требуют повышенных затрат, однако, учитывая важность основных из них (уксусная кислота, этилацетат) и возможность реализации остальных побочных продуктов, метод окисления смог бы составить конкуренцию процессу окисления уксусного альдегида.

Компаниями «UOP» (США) и «Chiyoda» (Япония) разработан процесс получения уксусной кислоты карбонилированием метанола с использованием гетерогенного катализатора:



Процесс испытан на полупромышленной установке, отличается высоким выходом продукта (93%) и его качеством благодаря использованию разработанной «UOP» системы очистки. Компания «SABIC» (Саудовская Аравия) разработала технологию производства уксусной кислоты каталитическим окислением этана. Смесь этана с кислородом компримируют и пропускают над катализатором с получением уксусной кислоты и последующей ее очисткой; непревращенный этан рециркулирует в процессе. Катализатор получил 8 патентов в США. Технология

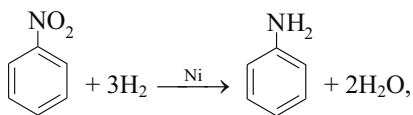
компании «SABIC» реализована в промышленном масштабе в г. Янбо (Саудовская Аравия) на установке мощностью 300 тыс. т/год.

13.2.4. Производство анилина

Анилин – один из старейших продуктов нефтехимической промышленности; имел широкое применение еще тогда, когда преобладало коксохимическое сырье. Использовался для производства красителей, взрывчатых веществ и других химических продуктов. В настоящее время основное назначение анилина (80%) – производство изоцианатов, идущих для получения пенополиуретанов. Также он используется в качестве добавки к резине (11%), для производства красителей (3%), гербицидов (3%) и специальных химикатов (3%), в том числе присадки к бензинам – монометиланилина (см. п. 18.2). Мировая мощность по выпуску анилина на 2000 г. составляла 3,2 млн т/год.

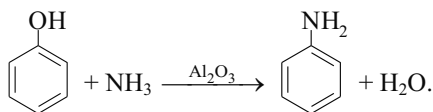
Анилин впервые получен в 1826 г. немецким химиком О. П. Унфердорбеном (Unverdorben) при перегонке индиго с известью и назван им кристаллином. В 1834 г. немецкий химик-органик Ф. Ф. Рунге (Runge) обнаружил анилин в каменноугольной смоле и назвал кианолом. В 1841 г. химик и ботаник Ю. Ф. Фрицше (Fritzsche, в 1834 г. переехал в Россию, член Петербургской академии наук) получил анилин нагреванием индиго с раствором КОН и назвал его анилином. В 1842 г. анилин был получен Н. Н. Зининым восстановлением нитробензола действием $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ и назван им бензидамом. В 1843 г. немецкий химик-органик А. В. Гофман (Hofmann) установил идентичность всех перечисленных соединений.

Долгое время анилин получали методом каталитического восстановления нитробензола водородом в газовой или жидкой фазе:



затем анилин отделяется от воды расслаиванием и очищается дистилляцией; реакционная вода обезвреживается биохимически.

Однако этот метод относительно дорогой. Более современная технология производства анилина разработана американской компанией «Scientific Design Co.». По этой технологии анилин получается из аммиака и фенола методом парофазного аммонолиза при 300–600°C и давлении выше 1 МПа:

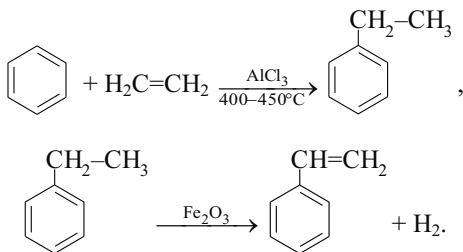


Реакция протекает в паровой фазе в адиабатическом реакторе с неподвижным слоем катализатора (Al_2O_3 или алюмосиликат). Выходящие из реактора пары частично конденсируются в сепараторе. Непрореагировавший аммиак направляется обратно в процесс. Анилин поступает в ректификационную колонну для очистки от непрореагировавшего фенола. Капитальные затраты по этой технологии значительно ниже, чем для установок получения анилина из нитробензола. Конкурентоспособность метода зависит от доступности фенола в сравнении с нитробензолом. Процесс оказывается особенно экономичным и эффективным в тех случаях, когда на предприятии имеется собственное крупное производство фенола.

13.2.5. Производство стирола

Важнейшее место в производстве пластических масс и синтетических каучуков принадлежит стиролу (на 2000 г. его производство составляло 22 млн т / год), обладающему высокой способностью к полимеризации. Основными производными стирола являются полистирол, смолы АБС (акрилонитрилбутадиенстирольные), бутадиен-стирольные каучуки и латексы, ненасыщенные полиэфир и прочие продукты. Полистирол занимает в структуре потребления стирола 2/3.

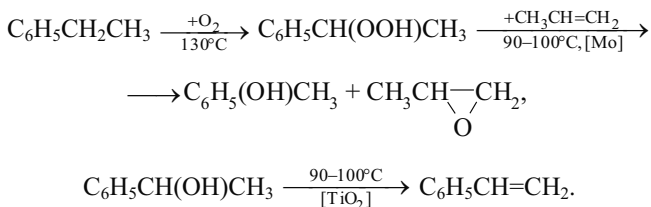
Известны многочисленные методы синтеза стирола. Однако наибольшее распространение (90% мирового производства стирола) получил метод получения стирола газофазным каталитическим дегидрированием этилбензола при 580–650°C, который, в свою очередь, синтезируют в процессе алкилирования бензола этиленом:



Американские фирмы «UOP», «ABB Lummus Crest, Inc.» и «Monsanto» являются основными разработчиками процессов получения тирола. Технологии дегидрирования этилбензола в стирол Styro-plus (Стиро-плас) разработала фирма «UOP». Это классический процесс дегидрирования этилбензола в присутствии высокотемпературного водяного пара в вакууме с добавлением обработки смеси на специальном катализаторе между двумя ступенями дегидрирования. В процессе «UOP» найдено оптимальное соотношение между степенью превращения этилбензола в стирол и селективностью процесса. Полученный в процессе дегидрирования продукт проходит фракционирование, в котором получается товарный стирол, во избежание неконтролируемой полимеризации разбавляемый ингибитором.

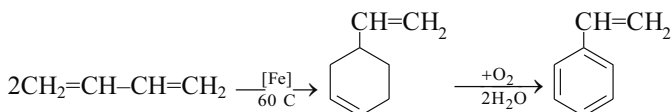
Разновидностью технологии фирм «ABB Lummus Crest, Inc.» и «UOP» является процесс дегидрирования Smart (Смарт). Реакция протекает в жидкой фазе в двухступенчатом реакторе с цеолитным катализатором. Отметим, что большинство действующих установок используют процесс Styro-plus, однако в последнее время все большее число установок проектируются и строятся по жидкофазной схеме. Особенностью процесса Smart является также то, что необходимое для реакции тепло подводится за счет селективного окисления водорода в слое катализатора.

Среди других способов получения стирола следует отметить метод совместного производства стирола и оксида пропилена (сырье для получения пропиленоксидных каучуков, некоторых ПАВ, промежуточный продукт в синтезе полиуретанов и др.), состоящий из следующих стадий:



Однако по уровню удельных капитальных вложений технология дегидрирования имеет заметные преимущества. Простота, относительно невысокая капиталоемкость, стабильный спрос на стирол для выпуска полистирола и смол АБС явились фактором быстрого роста мощностей по выпуску стирола.

Фирма «Dow Chemical Co.» разработала и испытала на полупромышленной установке двухстадийный метод получения стирола из фракции C_4 продуктов пиролиза, содержащей бутадиен, бутены и бутан. При димеризации 1,3-бутадиена по реакции Дильса–Альдера¹ первоначально образуется 4-винилциклогексен, который далее окислительным дегидрированием превращают в этилбензол или сразу в стирол, согласно приведенной ниже схеме:



Мощности по производству стирола в России в 2000 г. составляли 600 тыс. т/год. Основное производство стирола в России сосредоточено на Нижнекамском нефтехимическом комбинате, а также в Уфе, Салавате, Перми и Ангарске.

В последние годы в мире ощущался переизбыток мощностей по производству стирола. В связи с активным вводом новых мощностей в перспективе избыток мощностей еще возрастет. В период до 2005 г. мировой спрос на стирол увеличивался на 3,2% в год, а среднемировой коэффициент загрузки составлял около 90% (в 2003 г. – 83%). По мнению специалистов по анализу рынка, избыток мощностей по выработке стирола в Западной Европе окажет влияние на сбалансированность мирового рынка.

13.2.6. Производство винилхлорида

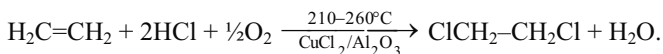
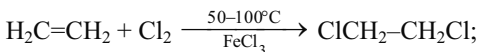
Широко известно экономическое значение винилхлорида как исходного вещества для производства полимерных материалов, прежде всего поливинилхлорида (ПВХ). Производственные мощности по выпуску винилхлорида на 2005 г. составляли 33,1 млн т/год.

Способность винилхлорида к полимеризации была исследована русским химиком И. И. Остромысленским еще в 1912 г. Им же был предложен способ получения винилхлорида дегидрохлорированием дихлорэтана в спиртово-щелочной среде, однако эти работы не получили дальнейшего развития. С начала 30-х гг. XX в. были разработаны методы получения винилхлорида гидрохлорированием аце-

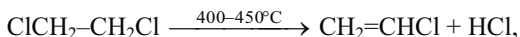
¹ Реакция диенового синтеза описана немецкими химиками О. Дильсом (Diels) и К. Альдером (Alder) в 1928 г. как общая реакция органической химии.

тилена, дегидрохлорированием дихлорэтана, пиролизом дихлорэтана, комбинированным синтезом из этилена и ацетилен. Однако все эти процессы были вытеснены сбалансированно-совмещенным синтезом винилхлорида из этилена, кислорода, хлора и хлористого водорода.

По современной технологии промежуточный дихлорэтан (ДХЭ) получают как прямым, так и окислительным хлорированием этилена. При этом прямое хлорирование проводится в жидкой фазе, а окислительное – в газовой фазе:



Благодаря использованию кислорода, оптимальному выбору технологической схемы и конструкционных материалов узел окислительного хлорирования работает при умеренном давлении и с малым числом установок; система конденсации паров продукта проста, обеспечивает высокие выходы и отличается устойчивостью к коррозии. Сырой дихлорэтан с обеих стадий хлорирования смешивается с циркулирующим дихлорэтаном со стадии выделения винилхлорида. Винилхлорид получают пиролизом (крекингом) очищенного дихлорэтана при высокой температуре:



затем полученный продукт охлаждается, из него выделяют хлористый водород, возвращаемый затем на окислительное хлорирование. Полученный винилхлорид отделяют от непревращенного дихлорэтана, который возвращается на очистку и пиролиз. Промышленные установки, созданные по этой технологии, успешно работают во многих странах мира.

Производство винилхлорида из этилена, хлора, кислорода (или воздуха) разработано, например, фирмами «PPG Industries, Inc.» (США), «European Vinyls Corp. (Americas), Inc.» (Нидерланды, США). По технологиям этих фирм построено несколько десятков установок различной мощности. Комбинированный процесс получения винилхлорида усовершенствован рядом фирм и фигурирует под названиями Vinnolit, Vintech.

Имеются данные о том, что винилхлорид может быть получен в одну стадию в присутствии силицида кремния при 450–550°C.

Сравнительно недавно одновременно в нескольких странах, в том числе в России, разработан метод получения дихлорэтана и винилхлорида непосредственно из этана, минуя стадию получения этилена. Распространение получил также Balanced Process (сбалансированный процесс), разработанный японской компанией «Mitsui Toatsu Chemical». Процесс состоит из следующих стадий: прямое хлорирование, окислительное хлорирование, очистка дихлорэтана, термическое разложение дихлорэтана, очистка винилхлорида, рекуперация хлористого водорода. Последняя стадия разработана совместно с немецкими компаниями «Lurgi» и «Hüls». По стадии пиролиза дихлорэтана имеются разработки «Lurgi».

В мировой практике производство винилхлорида и поливинилхлорида комбинируется с электролизом поваренной соли (NaCl) с получением каустика (NaOH) и хлора (Cl₂) (в частности, весьма перспективным направлением является использование в процессе электролиза ионообменных мембран). Сбалансированность получаемых в комбинированном процессе продуктов является условием снижения издержек.

В России до сих пор используются устаревшие методы гидрохлорирования ацетилена и комбинированного производства винилхлорида из этилена и ацетилена. Более совершенной является технология сбалансированного производства винилхлорида из этилена. Такая технология применена на АО «Саянскимпром», на недавно пущенной новой установке в г. Стерлитамаке (взамен устаревшей действующей установки). В России разработана собственная версия сбалансированного процесса высокотемпературного хлорирования этилена (типа процесса фирмы «Stauffer Chemical Co.», США). Кроме того, в России впервые была разработана технология прямого хлорирования этана, однако эта технология не получила распространения. Лишь позже была разработана западная технология прямого хлорирования этана (Транскат). В настоящее время интерес к этим технологиям снова возрос.

13.3. Альтернативные источники нефтехимического сырья

Основное количество добытых в мире нефти и газа «сжигается», т. е. применяется в виде различных топлив для получения электро- и тепловой энергии (рис. 4).

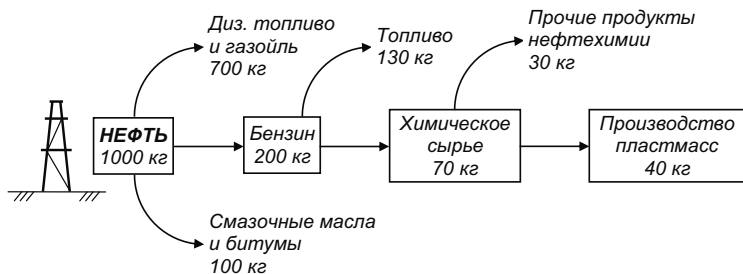


Рис. 4. Выделение промежуточных и конечных продуктов из нефти

Источник: Компания «Bayer AG» (Германия).

Здесь следует вспомнить известное высказывание русского ученого Д. И. Менделеева: *«Сжигать нефть, все равно, что топить печку ассигнациями»*, а также высказывание другого русского и советского химика-органика, одного из основоположников нефтехимии Н. Д. Зелинского: *«Химику всегда трудно примириться с тем, что он видит, когда сжигается нефть в топках»*.

В настоящее время в передовых технически развитых странах нефтехимическая промышленность потребляет 8–10% ресурсов нефти, в развивающихся странах – 2,5–5%, а в целом в мире на долю нефтехимии приходится 6,5–7,0% добываемой в мире нефти (рис. 4).

Согласно данным Минпромэнерго России (2006), отечественная химическая и нефтехимическая промышленность в 2005 г. потребила нефтяного сырья 2,4% от объемов его добычи, а, согласно прогнозу, в 2015 г. потребление нефтяного сырья составит 4,1%.

В настоящее время в качестве сырья для производства нефтехимических продуктов, традиционно получаемых из жидких углеводородов, в мире используют около 26% выделяемого из природного газа этана, в США – 42%, в РФ – всего 4% (прогнозируется, что в 2015 г. будет 4,6%).

Доля газа, используемого в России в качестве химического сырья, не превышает 1,5% от добываемого объема, переработка его в моторное топливо и ценные химические продукты находится на низком уровне. При этом химическая переработка газа открывает возможность перехода от экспорта сырья к экспорту продуктов с более высокой добавленной стоимостью. Например, стоимость этилена, пропилена, бензола и азотных минеральных удобрений примерно в 3 раза

превышает стоимость газа; стоимость каучуков, полиэтилена и полипропилена – в 7 раз, а готовых изделий из полимеров – в 10 раз. Очевидно, что создавать кратную добавленную стоимость и продавать затем продукты высокого передела государству существенно выгоднее.

Согласно последним мировым тенденциям, все шире применяются технологии, универсальные по отношению к сырью, что позволяет наряду с традиционным сырьем использовать побочную продукцию и отходы других отраслей.

Кроме того, прогнозируется преимущественная ориентация на легкое углеводородное сырье. Подобные структурные изменения в сырьевой базе характерны для стран (в том числе для России), располагающих широким видовым ассортиментом сырья. Однако определенная перестройка сырьевого баланса и удовлетворение значительно возросшего спроса связаны с серьезными трудностями.

В России существует достаточный объем углеводородного сырья, который в будущем будет увеличиваться. Текущие объемы производства нефти, СУГ и этана составляют 27,3 млн т и, по прогнозам, могут вырасти к 2030 г. более чем в 2 раза.

При этом традиционно в российской нефтехимии в качестве основных сырьевых компонентов используются в основном продукты нефтепереработки (прямогонный бензин или нафта), что более характерно для нефтеимпортирующих стран. Громадные ресурсы ценных углеводородов природного, богатого этаном газа, попутного нефтяного газа и газового конденсата в российской промышленности используются незначительно.

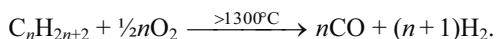
В сырьевом обеспечении мировой нефтехимии в последнее время и в перспективе все большую роль играют продукты газопереработки, прежде всего стабильный газовый конденсат, сжиженные углеводородные газы в виде различных товарных продуктов, а также этан. Причинами этого являются малая эффективность неглубокой переработки нефти с высоким выходом прямогонного бензина и мазута и растущие ресурсы продуктов газопереработки, цепочка переделов которых во многих процессах обладает экономическими преимуществами по сравнению с технологической цепочкой от нефти.

Современные достижения в области катализа позволяют в относительно мягких условиях превращать метанол и синтез-газ в этиленгликоль, этанол, ацетальдегид, винилацетат, уксусную кислоту, т. е. в продукты, производимые сегодня исключительно из нефтехимического этилена. Следует добавить, что на основе синтез-газа через

метанол можно получить и сам этилен, и низшие ароматические углеводороды.

В 70-х гг. прошлого столетия из-за роста цен на нефть возникло новое направление – «химия-С₁», которое включает четыре «строительных блока»: метанол, метан, оксид и диоксид углерода, на основе которых производится достаточно большое количество ценных продуктов. С тех пор термин прижился и вошел в оборот. Начались широкие исследования в области «химии-С₁», процессы которой позволяют ряд важных нефтехимических продуктов получить из метанола и синтез-газа.

Синтез-газ можно получить с помощью процесса парциального окисления углеводородов, заключающегося в неполном термическом окислении углеводородов при повышенных температурах



Способ применим к любому углеводородному сырью, но наиболее часто в промышленности используют высококипящую фракцию нефти – мазут.

Синтез-газ можно получить не только из нефтяных остатков и природного газа (см. главу 14), но и газификацией угля (см. главу 15).

Направление «химия-С₁» развивается и в наши дни. По прогнозам экспертов, в частности так считает академик РАН И. И. Моисеев, «химия-С₁» продолжит развиваться и в XXI в.

Кроме того, по мнению И. И. Моисеева, некоторые полупродукты нефтехимической промышленности в ближайшем будущем будут получать из биомассы.

Например, в настоящее время в ряде стран, обладающих большими запасами биомассы, применяется метод ферментативного превращения биомассы в этиловый спирт (биоэтанол) и его последующее разложение в этилен в присутствии кислотных катализаторов. Также параллельно с производством этанола из биомассы синтезируется бутиловый спирт (биобутанол).

В октябре 2010 г. было объявлено о начале сотрудничества «Bio Architecture Lab» («BAL», австралийская фирма с международными офисами) и норвежской нефтяной группы «Statoil» по коммерциализации производства этанола из морских водорослей. Партнеры собираются построить в Норвегии демонстрационную установку. Схожую программу «BAL» реализует в Чили. Также компания сотрудничает с «DuPont» в проекте по переработке морских водорослей в изобутанол.

В следующих главах будут приведены методы получения многих полупродуктов нефтехимической промышленности на основе углеводородных газов и твердых горючих ископаемых.

Контрольные вопросы

1. Что такое фирма-лицензиар?
2. В чем состоит отличие понятия «производственные мощности» от производства какой-либо продукции?
3. Какой продукт нефтехимической промышленности является наиболее крупнотоннажным?
4. В каких направлениях ведутся новые разработки в области получения пропилена?
5. Каковы новые направления использования бутадиена?
6. Какие методы производства изопрена разработаны в России?
7. Какой способ получения бензола является наиболее экономически выгодным?
8. Каково основное преимущество производства ароматических углеводородов путем дегидроциклизации пропана и бутана?
9. По какой причине в ближайшие годы прогнозируется общемировое повышение спроса на *n*-ксилол?
10. Каковы среднесрочные прогнозы по совершенствованию технологий производства ароматических углеводородов в России?
11. Перечислите основные стадии процесса получения фенола кумольным методом.
12. В чем заключается сущность технологии каталитической олигомеризации этилена?
13. Какой способ получения уксусной кислоты отличается высоким выходом продукта?
14. От каких факторов зависит конкурентоспособность метода получения анилина из аммиака и фенола?
15. Какой способ получения стирола получил наибольшее распространение?
16. По каким причинам в настоящее время возрос интерес к технологиям прямого хлорирования этана для получения дихлорэтана и винилхлорида?
17. Что означает термин «химия-С₁»?

ГЛАВА 14

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ В ОБЛАСТИ ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ И ГАЗОХИМИИ

14.1. Природный, попутный и углеводородный газы. Прогнозирование направлений их использования

Газообразные углеводороды, добываемые из газовых и газоконденсатных¹ месторождений, принято называть собственно *природным газом*, а природный газ, добываемый из нефтяных месторождений, называют *попутным нефтяным газом* (ПНГ). Газообразные углеводороды бесцветны, а при отсутствии в них сероводорода – не имеют запаха.

Основным компонентом природных газов является метан (CH_4), содержание которого в зависимости от источника колеблется в широких пределах:

- в чисто газовых – 90% (об.) и более;
- в газоконденсатных месторождениях – 80–90% (об.);
- в нефтяных месторождениях – 30–80% (об.).

В природных газах содержатся также другие газообразные углеводороды – этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10} нормальный и изостроения). Кроме перечисленных углеводородов, в состав природных газов некоторых месторождений входят азот (N_2), диоксид углерода (CO_2), сероводород (H_2S) и некоторые другие газы (например, гелий (He) – см. п. 14.6). Содержание этих компонентов колеблется от десятых долей процента до нескольких и даже десятков процентов. В частности, в природном газе Астраханского газоконденсатного месторождения содержание сероводорода достигает 24–25% (об.) и диоксида углерода 14–15% (об.).

Добытый из недр Земли природный газ подвергают очистке от примесей и осушке с последующим разделением на компоненты, которые направляются для дальнейшего использования или переработки.

Полученный таким образом метан с различным содержанием других газообразных углеводородов и примесей (разной степени очистки в зависимости от направления дальнейшего использования) применяется в основном как топливо для получения электро- и тепловой энергии, в коммунально-бытовом секторе и в меньшей степени

¹ Газовый конденсат – смесь жидких углеводородов с газом в пластовых условиях.

как моторное топливо в виде сжатого (сжатого) природного газа (СПГ) или сжиженного природного газа (СПГ).

Углубленная переработка газа заключается в извлечении таких ценных компонентов, как этан, пропан, бутан и газовый конденсат, которые являются источниками производства малотоксичных моторных топлив, развития нефтехимической промышленности, расширения производства хладагентов и т. п.

По материалам Минэнерго России, в 2016 г. в нашей стране функционировали 27 газоперерабатывающих заводов (ГПЗ) суммарной проектной мощностью 116 млрд м³/год, при этом основные мощности размещены в Приволжском и Уральском федеральных округах.

Увеличение глубины извлечения ценных компонентов связано с развитием газохимии как потребителя фракций легких углеводородов. В частности, этому способствует применение криогенной технологии переработки природного газа, обеспечивающей разделение этана, пропана, бутана и газового конденсата.

Извлеченный газовый конденсат используется в качестве сырья при получении бензина, авиакеросина, дизельного и печного топлива.

Этан направляется на переработку с получением различных химических продуктов, в том числе полимерных материалов (полиэтилена).

Большая часть пропана и бутана (или пропан-бутановая смесь) также используется как сырье для химической переработки и меньшая часть в виде сжиженного газа (сжиженный углеводородный газ – СУГ) как моторное топливо и топливо для бытовых нужд или как хладагент. Дальнейшее расширение переработки этих компонентов является основой для развития нефтегазохимии.

Российская газохимия характеризуется отставанием уровня развития от передовых зарубежных стран (по данным Минэнерго России, в 2016 г. лишь 4,7% добываемого в стране газа (31 млрд м³) использовалось в качестве сырья для газохимической переработки).

Сдерживают развитие газопереработки и газохимии в стране неразвитость отраслей – потребителей газохимической продукции и большие объемы импорта такой продукции.

В настоящее время в год потребляется более 2,5 трлн м³ природного газа, из них на долю международной торговли приходится 625–650 млрд м³, из этого количества потребителям более 70% газа поступает по трубопроводной системе и около 27% продается в виде сжиженного природного газа – СПГ. По рассмотренному на 20-й Мировой газовой конференции сценарию развития мировой газовой

промышленности потенциально мировое потребление природного газа должно возрасти до 4 трлн м^3 к 2030 г. При этом если развитые страны увеличивают долю природного газа в энергобалансе по причинам экологической безопасности и диверсификации поставок, то страны на стадии индустриального развития наращивают потребление газа вследствие роста потребности растущих экономик.

Согласно экспертам, в ближайшем будущем прогнозируется принципиальное изменение технологий и технологических систем транспортировки, хранения и переработки природного газа и ПНГ. Россия, располагающая самыми крупными ресурсами и запасами газа в мире, заинтересована в развитии технологий использования газа в качестве моторного топлива, глубокой переработки газа и газохимии. Согласно некоторым прогнозам, к 2030 г. объем перерабатываемого газа (по сравнению с 2010 г.) должен увеличиться более чем в 2,5 раза.

Согласно [34], перспективной формой организации развития нефте- и газохимии в стране являются кластеры: центры глубокой переработки УВС совместно с инновационным окружением из малых и средних компаний, использующих многотоннажные продукты ранних стадий передела для выпуска малотоннажной наукоемкой химической продукции более высоких переделов и с высокой добавленной стоимостью.

14.1.1. Перспективы использования попутного нефтяного газа

Попутный нефтяной газ (ПНГ, попутный газ) – это углеводородный газ, сопутствующий нефти и выделяющийся при ее добыче. В недрах он находится в виде «шапки» свободного газа либо растворен в нефти (на одну тонну приходится 30–300 м^3 газа).

Попутные нефтяные газы обычно представляют собой смесь различных газообразных и жидких, находящихся в нестабильном состоянии углеводородов парафинового ряда от метана до гексана (иногда до C_{10+}), включая изомеры C_4 – C_6 . Содержание в них тяжелых углеводородов составляет 20–40%, а иногда и 60–80%. В их состав также могут входить CO_2 , N_2 , Ar, He, меркаптаны, тиофены, CS_2 , H_2S (в некоторых случаях до 20% и более) и пары H_2O .

После соответствующих технологических операций газ становится более плотным и калорийным, с преобладающим содержанием углеводородов C_{3+} . С увеличением содержания последних возрастает ценность попутного нефтяного газа. В отличие от природного газа, имеющего в своем составе до 98% метана, в ПНГ преобладает пропан

и бутан либо их смесь, и сферы применения попутного нефтяного газа гораздо шире. Этот газ можно использовать не только для получения тепловой или электрической энергии, но и как ценное сырье для нефтегазохимии.

По материалам ФГБУ «Центральное диспетчерское управление топливно-энергетического комплекса» (ФГБУ «ЦДУ ТЭК»), в 2014 г. вертикально-интегрированные нефтяные компании ПАО «НК «Роснефть»», ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»» и ПАО «Газпром нефть» в совокупности извлекли 51,8 млрд м³ ПНГ, или 68% общероссийской добычи. Ожидается, что эти компании, согласно опубликованным ими планам, приблизятся к нормативным показателям использования ПНГ не ранее 2017 г.

ОАО «Сургутнефтегаз», который в 2014 г. извлек 9,5 млрд м³, уже превысил показатель 95% утилизации. В этой компании зафиксирован наименьший показатель по сжиганию попутного газа. После ввода в строй новой газотурбинной электростанции на Федоровском месторождении коэффициент использования ПНГ в ОАО «Сургутнефтегаз» составил в 2014 г. 99,1%, что является лучшим показателем в отрасли.

На долю других ВИНК приходится значительно меньшие объемы извлечения, а также масштабы планируемого роста утилизации. Ближе остальных к нормативу подошла ПАО «Татнефть» вместе со своими дочерними обществами – 94,6%. Компания в 2014 г. извлекла 0,9 млрд м³ ПНГ и разрабатывает планы по увеличению его утилизации до 97,6%.

В 2015 г., по информации ФГБУ «ЦДУ ТЭК», количество извлеченного из недр попутного (нефтяного) газа составляло 89 млрд м³, по данным Росстата – 79,5 млрд м³.

По данным группы мониторинга газовой промышленности ФГБУ «ЦДУ ТЭК», в последние несколько лет в России наблюдалась тенденция снижения объемов сжигаемого ПНГ. Так, в 2015 г. этот показатель достиг исторического минимума в 10,5 млрд м³ (по сравнению, например, с 17,1 млрд м³ в 2012 г.). Это произошло благодаря планомерным действиям государства по повышению полезного использования попутного газа. По итогам 2015 г. уровень полезного использования ПНГ в России составил 88,2%, т. е. не хватает 6,8% до установленного государством показателя 95%.

По прогнозу Минэнерго (2015), все нефтегазовые компании в России смогут перейти на уровень утилизации ПНГ в 95% лишь к 2020 г.

Важным шагом для стимулирования нефтяных компаний к действиям стало вступление в силу с 2013 г. постановления Правительства РФ от 08.11.2012 г. № 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и/или рассеивании попутного нефтяного газа». Этот документ предусматривает поэтапное повышение размера платы за сверхнормативные (свыше 5% от добычи) выбросы вредных веществ путем применения к ставкам платы за негативное воздействие на окружающую среду дополнительного коэффициента, имеющего значение на 2013 г. – 12, с 2014 г. – 25. При этом главной стимулирующей мерой глава Минприроды России С. Е. Донской назвал используемый механизм вычетов затрат на строительство перерабатывающих мощностей из установленной платы за выбросы вредных веществ в атмосферу.

Таким образом, существенный рост уровня полезного использования ПНГ был обеспечен за счет ввода в эксплуатацию в апреле 2014 г. газопровода «Ванкор-Хальмерпаютинское» максимальной проектной мощностью 5,6 млрд м³ газа в год, а также запуска установки подготовки газа на Ванкорском месторождении (Красноярский край) и газовой компрессорной станции высокого давления мощностью 4,9 млрд м³/год. Данная инфраструктура позволила отправлять добытый ПНГ в газопроводную систему для дальнейшей переработки.

Согласно материалам ежегодного обзора «Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России» в рамках проекта ИМЭМО РАН и Российского отделения Всемирного фонда дикой природы (WWF), объем сжигания ПНГ в России в 2007 г. достигал 50,7 млрд м³, что было практически сопоставимо с официальными данными об объемах добычи.

По материалам Энергетического бюллетеня¹, Россия является мировым лидером по объему сжигания ПНГ, что подтверждается как российской статистикой, так и международными данными (спутниковый мониторинг). По данным Росстата, ежегодный объем сжигания составляет 10–15 млрд м³ (около 1,5–2% суммарной добычи газа в России), а международные организации приводят цифру в 35–40 млрд м³ (на втором месте – Нигерия с объемом сжигания ПНГ около 15 млрд м³). На Россию приходится около 25% мирового объема сжигания (по меж-

¹ Энергетический бюллетень. 2015. Вып. № 25. С. 19–23.

дународным оценкам), притом что доля страны в мировой нефтедобыче составляет 13%. Также необходимо иметь в виду, что в мире основной объем сжигания ПНГ приходится на развивающиеся страны, в том числе африканские, которые не обладают возможностями по развитию его переработки.

Крупнейшие международные организации, такие как Всемирный банк¹ и ООН, озабочены проблемой сжигания ПНГ с экологической точки зрения, в рамках проведения глобальных акций по снижению эмиссии CO₂ в атмосферу. Несмотря на то что на долю сжигаемого ПНГ приходится около 1,2% от мировых выбросов CO₂, в абсолютных цифрах это огромная величина, да и во многих развивающихся нефтедобывающих странах на долю сжигаемого ПНГ приходится значительная доля выбросов CO₂.

Для оценки объемов сжигания Всемирный банк использует данные американского Национального управления по океанологии и исследованию атмосферы на основе спутниковых наблюдений. Согласно приведенным данным, за последние 5 лет отмечается положительная динамика в снижении объемов сжигания ПНГ в мире. Снижение объемов сжигания стало возможным благодаря активизации усилий нефтяных компаний в России и Казахстане.

Всемирный банк предлагает полностью покончить с практикой сжигания ПНГ на факелах к 2030 г. Для этого он разработал инициативу «Zero Routine Flaring by 2030». Она предполагает, что все начинающиеся после 2015 г. нефтегазовые проекты должны иметь технические решения, обеспечивающие использование всего объема добываемого ПНГ.

По состоянию на август 2016 г. инициативу поддержали 18 государств (в том числе Россия), 20 нефтяных компаний и 13 банков. Однако российских компаний в этом списке нет. Последствием этого обстоятельства для российских НК, по мнению некоторых аналитиков, помимо прочего, станет недоступность кредитов банков, поддерживающих «Zero Routine Flaring by 2030».

Здесь также стоит отметить, что сжигание на факелах является наиболее простым и удобным способом утилизации ПНГ для малых и удаленных месторождений, которых в России насчитывается около 70%.

¹ *Всемирный банк* (World Bank) – международная финансовая организация, созданная с целью организации финансовой и технической помощи развивающимся странам. Всемирный банк представляет собой акционерное общество, акционерами которого являются 184 стран-членов этой организации. Условием членства во Всемирном банке является членство в Международном валютном фонде. Россия стала членом этих организаций в июне 1992 г.

В настоящее время, кроме сжигания, существуют следующие основные методы использования ПНГ:

- выработка тепловой и электрической энергии для снабжения бытовых и промышленных объектов, а также производство тепло- и электроэнергии с целью реализации;
- переработка на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) с целью производства продукции с высокой добавленной стоимостью;
- химическая переработка в жидкие продукты;
- подготовка и реализация товарного газа (в том числе в сжиженном состоянии) потребителям;
- использование газа для собственных, в том числе технологических, нужд недропользователей (для печей подогрева нефти, закачки в пласт для повышения нефтеотдачи и в газлифтом способе добычи нефти).

Каждый из способов имеет свою эффективную область применения. Выбор способа переработки ПНГ во многом зависит от конкретных условий нефтедобычи.

В последние годы в России основными направлениями использования ПНГ являются потребление для собственных нужд (около 32% добычи в 2012 г.) и переработка на ГПЗ (44%). Второе направление является более приоритетным для развития; кроме того, его также принято считать наиболее рациональным.

В результате переработки ПНГ на газоперерабатывающих заводах получают сухой отбензиненный газ (СОГ), сходный с природным, и продукт под названием «широкая фракция легких углеводородов» (ШФЛУ). При более глубокой переработке номенклатура продуктов расширяется – газы (СОГ, этан); сжиженные газы (пропан, бутан и т. д.) и стабильный газовый бензин (СГБ). Все продукты, включая ШФЛУ, находят спрос как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

Среди регионов России самый высокий уровень добычи и утилизации попутного нефтяного газа – в ХМАО, который обеспечен в том числе благодаря вводу в эксплуатацию осенью 2015 г. Южно-Приобского ГПЗ, мощностью 900 млн м³ ПНГ в год¹. Завод будет производить ежегодно порядка 340 тыс. т ШФЛУ и 750 млн м³ сухого отбензиненного газа для бытовых нужд населения Ханты-Мансийска и выработки электроэнергии на Южно-Приобском месторождении. ШФЛУ поставляется для дальнейшей переработки на тобольскую промышленную площадку ПАО «СИБУР Холдинг».

¹ Oil & Gas Journal Russia. 2016. № 5 (104). С. 78–81.

Планы нефтяных компаний в ХМАО предполагают мероприятия по доведению уровня полезного использования ПНГ до 98–99%. В частности, один из проектов предусматривает создание индустриального парка, где будут обрабатываться перспективные технологии рационального использования попутного газа.

Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (ИК СО РАН) разработал новую технологию переработки ПНГ – мягкий паровой риформинг (МПР). Дочерняя компания института «БИ АЙ Технологии» под контролем экспертов научно-технического центра ПАО «Газпром нефть» и дирекции по газу и энергетике подготовила пилотную установку.

Компания «Газпром нефть» провела пилотные испытания МПР. Полученные результаты показали возможность применения новой технологии на малых и удаленных месторождениях. Технология мягкого парового риформинга (рабочее давление на входе в установку – 2–6 атм, температура процесса – 320°C) позволяет перерабатывать попутный нефтяной газ переменного состава в метано-водородные смеси и/или товарный природный газ.

Новым направлением переработки ПНГ является разработанная в ИК СО РАН его каталитическая переработка в наноуглеродные волокнистые материалы. При температурах 450–650°C на металлических частицах катализатора происходит разложение углеводородов C_1 – C_4 с образованием волокнистых углеродных материалов и выделением водорода. В зависимости от метода приготовления и состава катализатора образуются наноуглеродные материалы разной формы и структуры – нити, волокна, наноспираль. Количество образующихся наноуглеродных материалов достигает 300–400 г на 1 г катализатора.

Такие материалы могут найти применение в строительстве. Введение наноуглеродных материалов в количестве менее 1% (масс.) в бетоны повышает их прочность на 40–50%. Это соответственно будет облегчать вес строительных конструкций и снижать себестоимость строительства. Перспективным является применение таких углеродных материалов в производстве композиционных полимеров. Это придает полимерам новые свойства – электропроводность, морозостойкость и механическую прочность.

В мировой практике ПНГ, как правило, является внутренним продуктом интегрированных нефтяных компаний. Практически все зарубежные компании имеют в своей структуре производственные мощ-

ности по утилизации ПНГ и сами выбирают оптимальные направления его использования.

По данным Всемирного банка, лидерами по уровню утилизации ПНГ (благодаря передовым технологиям, используемым ведущими мировыми нефтегазовыми компаниями, и жестким экологическим требованиям) являются Норвегия (98%), США (97%), Великобритания (94%).

Примером полной утилизации добываемого ПНГ с самого начала разработки и в экстремальных природных условиях явилось месторождение Прудо-Бей (Аляска, США). Здесь ПНГ используется по двум направлениям. Он преобразуется в тепловую энергию (в различного типа печах и нагревателях обеспечения процессов добычи сбора и промысловой подготовки нефти и газа) или в механическую энергию (в газотурбинных установках и двигателях внутреннего сгорания, служащих непосредственным приводом насосов, компрессоров и электрогенераторов, обеспечивающих электроэнергией промысловые объекты).

В настоящее время 24 российских ГПЗ могут переработать 39 млрд м³/год ПНГ из добываемых 50 млрд м³/год, или около 70% производимого ПНГ (без учета факельных объемов).

Существующие в настоящий момент технологии и оборудование позволяют реализовать многие процессы переработки попутного газа на промыслах. Их использование не требует высоких затрат. В настоящее время популярностью пользуются:

- малогабаритные установки сепарации для получения товарной продукции (ШФЛУ, газового бензина, топливного метана и др.);
- микротурбинные и газопоршневые установки, используемые для выработки тепловой и электрической энергии на промыслах;
- установки (комплексы) переработки попутного газа в метанол и синтетические жидкие углеводороды (дизельное топливо, бензин и т. п.).

Наиболее перспективными, согласно исследованиям консалтинговой компании «Research.Techart» (г. Москва), являются энергетическое, химическое и криогенное направления.

Кроме того, многие эксперты высказываются о необходимости принятия в России федерального закона «О попутном нефтяном газе», инициированного Советом Федерации. При этом приоритетным положением в законе, по мнению большинства специалистов, должна стать газохимическая переработка ПНГ, которая могла бы обеспечить развитие высокотехнологичного производства с получением продукции с высокой добавленной стоимостью.

Рациональное использование попутного нефтяного газа является неотъемлемой частью эффективного энергопользования, а также одним из наиболее важных показателей уровня промышленного развития страны.

14.1.2. Природный газ, его сжатие и сжижение

В России более 40% разведанных запасов природного газа нужно рассматривать как преимущественно технологические, поскольку в их составе содержатся тяжелые гомологи метана, которые при больших концентрациях имеют значение самостоятельных полезных ископаемых.

Этан может быть получен при извлечении легких углеводородов из природного газа Валанжинских горизонтов месторождений Тюменской области и Ковыктинского месторождения Иркутской области.

С технической точки зрения реализация глубокой переработки газа с извлечением этана возможна. В настоящее время процессы глубокого извлечения этана и жидких углеводородов из природных газов хорошо изучены и широко применяются в мировой практике, главным образом – в США и Канаде. Так, в США на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) вырабатывается около 4 млн т этана и 13 млн т сжиженных газов, а число ГПЗ и отдельных установок превышает 860. При этом промышленную и заводскую подготовку или переработку газа не различают.

Имеется практический опыт эксплуатации газоперерабатывающих установок и на некоторых российских заводах. В настоящее время наиболее экономичной считается технология выделения этана из природных газов методом низкотемпературной конденсации с охлаждением газа в турбодетандерах (ТДА). При использовании такой технологии степень извлечения этана составляет 70–80%, пропана – 95%, бутанов – 98%. Соответствующее оборудование может быть произведено российскими производителями.

Потребность химического комплекса Российской Федерации в углеводородном сырье в 2015 г. по сравнению с 2005 г. по базовому варианту возрастет в 1,7 раза. При этом более интенсивно будет возрастать потребность в этане (в 4,7 раза), менее интенсивно – потребность в широкой фракции легких углеводородов – ШФЛУ (на пиролиз) и изопентане, спрос на бензиновые фракции и сжиженные газы увеличится примерно в 2,3 раза.

По оценкам специалистов Минэнерго РФ, Россия обладает огромными ресурсами легкого углеводородного сырья (этан, ШФЛУ) – свыше 11 млн т (2010). По предварительным данным, более 70% этого

сырья сосредоточено в Западной Сибири. К 2030 г. добываемый объем может возрасти до 31 млн т. Такая ситуация позволяет значительно увеличить мощности отечественной газохимии.

Следует отметить, что стоимость добычи природного газа ниже стоимости добычи нефти приблизительно в 5 раз.

Использование природного газа возможно по следующим направлениям:

- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ);
- сжиженный природный газ (СПГ);
- переработка природного газа в жидкие продукты (так называемая технология GTL¹).

Все вышеуказанное может быть проиллюстрировано схемой, приведенной на рис. 5.

Компримированный природный газ (КПГ) в настоящее время является одним из наиболее применяемых альтернативных моторных топлив. Кроме того, за рубежом наметилась тенденция к использованию на автотранспорте сжиженного природного газа (СПГ). Причем, согласно анализу, проведенному ПАО «Газпром», среди традиционных энергоносителей на мировом рынке СПГ занимает особое место. По сравнению с другими углеводородами за последние 20 лет спрос на этот энергоноситель растет наиболее динамично.

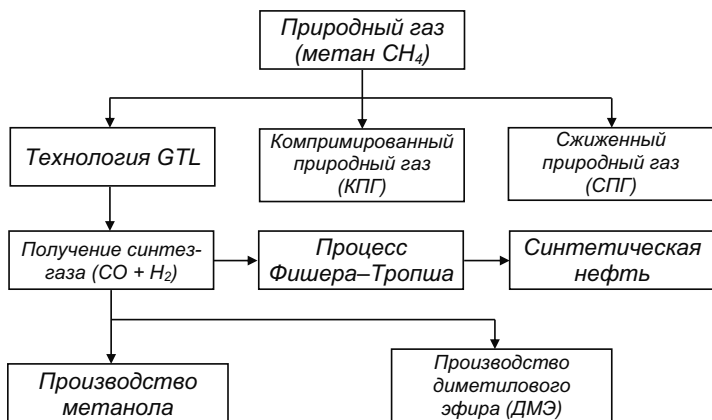


Рис. 5. Схема переработки природного газа

¹ GTL – Gas to Liquid(s) = газ в жидкость(и).

Особенность использования СПГ заключается в очень низкой температуре его кипения (-162°C), что создает определенные сложности при его получении и хранении. Однако в настоящее время разработаны установки для получения СПГ с использованием технологий производства жидких водорода и кислорода для ракетной техники. Основным достоинством применения СПГ по сравнению с КПГ является резкое снижение металлоемкости и соответственно массы газового оборудования.

Формирование глобального рынка газа произошло благодаря крупномасштабному транспорту СПГ, что, в свою очередь, стало возможным в результате разработки и внедрения энергетически и экономически эффективных технологий крупномасштабного производства СПГ и его последующей регазификации, а также специализированных крупнотоннажных судов-газовозов. Поскольку сжижение позволяет уменьшить объем исходного газа примерно в 600 раз, танкерные поставки СПГ получают экономическое преимущество перед трубопроводным транспортом газа при его передаче на большие расстояния.

Следует отметить, что еще с советского времени Россия обладает передовыми технологиями сжижения газа, использовавшимися в ракетно-космической отрасли и металлургии. Достаточно вспомнить применение для производства брони жидкого кислорода, получаемого в промышленных масштабах по оригинальному методу академика АН СССР П. Л. Капицы, разработанному еще в годы Второй мировой войны; послевоенные сверхнадежные турбины; неоспоримый приоритет СССР на технологию криогенных ракет; и, наконец, не имеющий аналогов в мире магистральный самолет на газовом топливе.

Первая промышленная установка по производству жидкого метана была сооружена в 1941 г. в Кливленде (США) для покрытия суточных «пиковых» нагрузок потребления газа в зимнее время. В Советском Союзе аналогичный процесс был освоен в 1954 г., когда на Московском заводе сжижения природного газа ввели в эксплуатацию установку, рассчитанную на производство 25 тыс. т СПГ в год. Тогда же был успешно проведен комплекс работ по применению жидкого газа в качестве топлива в автомобильных двигателях. Однако вскоре в бывшем СССР были открыты крупные нефтяные месторождения, обеспечивающие добычу дешевой нефти, и проблема использования сжиженного газа потеряла актуальность.

Мировое промышленное производство СПГ началось только с середины 70-х гг. прошлого века. Оно было в значительной степени

стимулировано более экономически выгодной формой транспортировки огромного количества природного газа морским транспортом в сжиженном виде из газодобывающих стран в страны мира, не имеющие своих энергетических ресурсов.

На начало 2009 г. в мире в эксплуатации находится 24 установки по сжижению природного газа мощностью 220,66 млрд м³, в строительстве – 17 установок мощностью 119,16 млрд м³. После ввода их в эксплуатацию общая мощность установок по сжижению природного газа может составить 339,82 млрд м³.

По прогнозам «ВР», производство СПГ может практически удвоиться к 2020 г., достигнув 476 млрд м³.

Производительность вновь вводимых установок сжижения газа возросла за последние 20 лет с 0,6 до 3 млн т СПГ в год за счет применения нового более мощного оборудования, что обеспечивает снижение расхода энергии на сжижение. Ранее в промышленных условиях СПГ получали способом охлаждения и конденсации природного газа (при этом давление его выбирают в пределах 3,5–5,0 МПа). Для охлаждения и конденсации предусматривалось сжатие природного газа в компрессорах и затем резкое снижение давления в специальных устройствах, называемых дроссельными, или сжатый газ пропускали через расширительные машины – турбодетандеры, в которых газ охлаждался при его расширении на лопатках рабочего колеса.

В настоящее время на крупных установках для получения СПГ используют каскадный способ или холодильный цикл на смешанном холодильном агенте с предварительным пропановым охлаждением. Наличие в смеси различных углеводородов (метан, этан, пропан, бутан и т. д.) позволило получить плавные очертания температурных кривых и довести разность температур «теплых» и «холодных» потоков всего до нескольких градусов. В результате энергетические затраты сократились на 20–30%.

Быстрое развитие технологий производства и перевозки сжиженного природного газа привело к снижению их стоимости, которое совпало с очередным глобальным повышением цен на энергоносители.

По мнению зарубежных экспертов, в будущем на мировом рынке газа будет доминировать именно сжиженный природный газ. В настоящее время сектор СПГ является одним из самых динамичных в энергетической отрасли: мировое потребление сжиженного газа растет на 10% в год, тогда как обычного (газопроводного) – только на 2,4%. Согласно существующим прогнозам, в 2020 г. доля СПГ в мировой

торговле газом уже составит около 35% (в 1970 г. – 3%). В 2030 г. на долю СПГ придется уже около 60% торговли природным газом, что будет соответствовать 18–20% в общем объеме потребляемого на земном шаре природного газа. Данный прогноз обусловлен, с одной стороны, повышением эффективности сжижения природного газа и постоянным снижением себестоимости технологии сжижения, а с другой стороны, высокая гибкость каналов поставки СПГ позволяет успешно варьировать обслуживание множества рынков. Технологии получения сжиженного газа превращают данный энергоноситель почти в такой же мобильный вид топлива, как и нефть.

Однако необходимо отметить, что сжижение природного газа в таких масштабах предназначено в основном для его транспортировки в танкерах от регионов добычи (Ближний и Средний Восток) в страны-потребители (Япония, США и др.). Главным поставщиком СПГ в мире является Катар (20%), на втором месте – Малайзия (12%). В настоящее время мировой флот криогенных метановозов насчитывает порядка 200 танкеров.

В этом случае технологическая цепочка СПГ состоит из трех основных этапов:

- 1) добыча природного газа и его сжижение;
- 2) транспортировка СПГ в специальных танкерах-метановозах;
- 3) хранение СПГ в специальных криогенных терминалах, с последующей регазификацией, т. е. перевод СПГ в газообразное состояние для транспортирования по газопроводам до конечных потребителей.

Самой затратной статьей в производстве СПГ является его сжижение, которое занимает до 40% себестоимости СПГ, что вызвано необходимостью строительства завода по сжижению газа стоимостью не менее 1–1,5 млрд долл. США.

В газодобывающем секторе экономики все большее значение имеет производство СПГ. Россия еще только собирается выйти на мировой рынок сжиженного газа. А между тем СПГ – это единственно возможное средство полномасштабного обращения России на рынке США и стран Азиатско-Тихоокеанского региона, поскольку сетевые поставки газа в данном случае невозможны. Это единственное средство вхождения Российской Федерации в формирующийся мировой рынок газа.

Правительство РФ утвердило комплексный план по развитию производства сжиженного природного газа на полуострове Ямал. Этот план включает в себя строительство крупного завода по сжиже-

нию газа в период 2012–2018 гг. мощностью 15 млн т/год. В настоящее время единственный в стране завод по производству СПГ на Сахалине производит порядка 8–9 млн т сжиженного газа в год. С вводом Ямалского завода по производству СПГ появится возможность значительно увеличить его производство. Уникальная ресурсная база полуострова Ямал позволяет это сделать.

В настоящее время имеются отечественные и зарубежные разработки комплексов промысловой разработки морских и прибрежных газовых месторождений шельфа арктических морей и других регионов, находящихся в ледовых и сложных метеорологических условиях и на больших глубинах морей. Эти комплексы включают в себя морскую платформу или плавучую платформу и установленные на ней системы агрегатов подготовки природного газа и получения жидкого продукта (СПГ, метанола и др.), газопроводные системы (например, гибкие системы трубопроводов) и транспортные суда для вывоза жидких продуктов потребителю (например, в сферических цистернах). Также могут присутствовать хранилища глубинного базирования для жидкого продукта.

Если глобальный рынок нефти обеспечивается мощным танкерным флотом, то рынок природного газа привязан к существующим трубопроводам, а транспортировка сжиженного природного газа (СПГ) требует инвестиций, которые пока делают этот энергоресурс доступным лишь наиболее богатым странам. По мнению профессора кафедры газохимии РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина В. С. Арутюнова, для того чтобы природный газ стал по-настоящему глобальным энергоресурсом, необходима экономически выгодная конверсия его в жидкое моторное топливо или углеводородное сырье. Поэтому, несмотря на важную роль газа в топливно-энергетическом балансе, все большая его часть идет на химическую переработку, возрастает роль газохимии, которая в последние десятилетия стала самостоятельной отраслью промышленности, а в некоторых странах даже потеснила нефтехимию.

14.1.3. Сжиженный углеводородный газ

Основными компонентами СУГ являются пропан и бутан, содержание которых варьируется в зависимости от марки.

Источниками производства СУГ являются:

- переработка на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) природного газа газовых и газоконденсатных месторождений, а такжепутных газов нефтяных месторождений (ПНГ);

- различные процессы переработки нефти на НПЗ;
- различные нефтехимические процессы, реализованные на НПЗ или нефтехимических комбинатах (НХК).

По данным компании ООО «Импэкснефтехим», по итогам 2015 г. производство СУГ в России составило 15,2 млн т, это на 930 тыс. т больше показателя, зафиксированного годом ранее. Из общего объема на дальнейшую переработку направлено всего около 30%, доминирующим сегментом сбыта является экспорт. В тройку лидеров среди производителей СУГ входят ПАО «СИБУР Холдинг», ПАО «Газпром» и ПАО «НК «ЛУКОЙЛ»». Однако, несмотря на значительные запасы нефти, доля российского СУГ в мире не превышает 4% (исходя из объемов производства).

Согласно заявлениям экспертов консалтинговой фирмы «Purvin and Gertz, Inc.» (США), в ближайшие несколько лет 75% роста объемов производства СУГ в мире будет приходиться на попутный нефтяной газ.

В структуре потребления указанных объемов российского СУГ экспорт занимает около 23%. Так, в 2010 г. 2,3 млн т СУГ было поставлено за пределы Российской Федерации, что на 28% выше уровня 2009 г. Пропана экспортировано 1,5 млн т, бутана – 161,3 тыс. т, прочих сжиженных углеводородных газов – 609 тыс. т.

В ближайшие два года производство СУГ в мире будет расти в среднем на 3,5% в год.

Европейский Союз, как потребитель СУГ, насыщен внутренними и импортными поставками. Суммарный прирост потребления СУГ в ЕС к 2030 г., по разным оценкам, не превысит 4–5 млн т/год.

По мнению экспертов, к 2030 г. Ближний Восток увеличит экспортные поставки СУГ на 20 млн т/год при росте европейского потребления лишь на 4–5 млн т/год, что снижает перспективность многих российских проектов, ориентированных на экспорт СУГ в ЕС.

В России в условиях нехватки базовых мономеров (этилен, пропилен) использование ПНГ для получения углеводородного сырья и развития на его основе нефтегазохимии не просто актуально, а является условием сохранения внутренней и внешней конкурентоспособности отечественной продукции.

Процесс пиролиза позволяет получать как базовые мономеры – этилен, пропилен, так и олефины более сложного строения (изобутилен, бутадиен), а также важный ароматический углеводород – бензол (см. п. 13.1). Эти соединения служат основой нефтехимической промышленности.

В 2010 г. рыночная цена прямогонного бензина (нафты) вдвое превышала стоимость этана, что самым серьезным образом сказывалось на себестоимости производства и в конечном счете – конкурентоспособности отечественной нефтегазохимии.

Кроме того, более полное вовлечение в переработку нефтезаводских газов, модернизация газового хозяйства ряда НПЗ могли бы дать для внутреннего и внешнего рынка дополнительно порядка 1,5 млн т углеводородов C_3 – C_4 . Согласно данным Минпромэнерго России, ресурсы нефтезаводских газов на 2006 г. составляли 11,2 млн т, из которых рентабельными к переработке являлись 7,5 млн т. В то же время на фракционирование направлялись всего 5,4 млн т.

Согласно «Плану развития газо- и нефтехимии...», предполагается увеличение потребления СУГ в нефтегазохимии в 4,5 раза, однако при этом их экспорт увеличивается в 2 раза, до 4,4 млн т/год. Однако внутренний рынок при рациональном подходе к технологиям и инвестициям смог бы поглотить «лишние» объемы, и Россия получила бы дополнительную выгоду от увеличения добавленной стоимости продуктов глубокой переработки, существенно сократила бы традиционный вывоз ценных сырьевых полуфабрикатов за рубеж.

При детальном рассмотрении баланса можно сделать вывод, что, несмотря на рост объемов потребления углеводородного сырья нефтехимической отраслью, к 2030 г. невостребованными останутся свыше 25 млн т ценнейших углеводородов. При этом нефть по-прежнему будет оставаться основным сырьем для пиролизных установок вместо газа, применение которого снижает себестоимость тонны этилена по крайней мере на 20% (см. пп. 13.1.1).

Россия располагает достаточным объемом углеводородного сырья, в том числе ПНГ, необходимо лишь обеспечить его переработку и рациональное использование, ориентируясь на мировую практику. Так, например, академик РАН И. И. Моисеев считает, что пройдет немного времени и этилен будут получать преимущественно из газа и биомассы.

14.2. Совершенствование процессов конверсии метана.

Производство синтез-газа

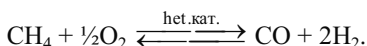
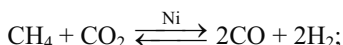
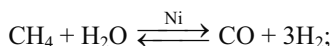
В соответствии со схемой, приведенной на рис. 5, природный газ (метан), кроме непосредственного использования в качестве газового моторного топлива в виде КПГ или СПГ, перерабатывается в жидкие продукты (технология GTL). В настоящее время технология GTL реа-

лизована только по схеме первоначального получения синтез-газа, на основе которого осуществляется синтез метилового спирта (метанола) или производство процессом Фишера–Тропша (см. п. 14.5) смеси углеводородов (синтетическая нефть, синтетическое жидкое топливо).

Синтез-газом называют смесь оксида углерода (CO) и водорода (H₂), которая может быть получена из различных углеродсодержащих видов сырья: уголь, торф, природный и попутный газы, фракции нефти, остатки от переработки нефти, а в перспективе планируется его получать из городских и сельскохозяйственных отходов. Однако наиболее широко для получения синтез-газа используются уголь (см. главу 15) и природный газ (метан).

Из синтез-газа может быть выделен водород, который также находит широкое применение в промышленности (например, в синтезе аммиака).

В других странах, в том числе и в России, сырьем для производства синтез-газа является природный газ (метан), окислительной конверсией которого получают синтез-газ с использованием водяного пара (паровая конверсия), углекислого газа (углекислотная конверсия) и кислорода (парциальное окисление) по следующим реакциям:



Данные процессы осуществляются в присутствии катализаторов при повышенных температуре (850–1000°C) и давлении (3–5 МПа). Наиболее широко в настоящее время используется паровая конверсия, вместе с тем все шире начинают использовать и другие технологии (углекислотную конверсию и парциальное окисление), а также их сочетания (пароуглекислотную, парокислородную), что позволяет решить энергетические проблемы получения синтез-газа. Эти проблемы связаны с тем, что первые две реакции эндотермические и для их проведения необходимо затрачивать большое количество тепла – 206 и 248 кДж соответственно, а третья реакция экзотермическая – протекает с выделением тепла 35 кДж.

На получение синтез-газа затрачивается от 50 до 75% энергии и общей стоимости химической переработки газа, но, несмотря на вы-

сокую энерго- и капиталоемкость, предварительная конверсия метана в синтез-газ остается основным процессом первичной стадии химической переработки природного газа и ПНГ.

В частности, в последнее время существенное внимание уделяется реакционно-мембранным процессам, которые связаны с разделением реакционных смесей в момент их образования через различного рода полупроницаемые мембраны. Примером использования полупроницаемых мембран является технология, разработанная Министерством энергетики США. По этой технологии на стадии производства синтез-газа (по третьей реакции) воздух проходит через керамическую мембрану, пропускающую кислород, который вступает в реакцию с CH_4 с образованием синтез-газа.

В зависимости от устройства реактора процессы протекают при температурах от 600 до 1000°C и давлении до 4 МПа с использованием в качестве катализатора металлического никеля (до 25%) на керамическом носителе.

Мировым лицензиаром получения синтез-газа является фирма «Haldor Topsøe» (Дания). Эта фирма использует для получения синтез-газа катализаторы собственной разработки.

По оценкам экспертов, суммарные капиталовложения в создание крупной установки (включая производство кислорода) примерно на 10% ниже, чем для стандартной установки паровой конверсии. Компания «Haldor Topsøe» разработала новую модификацию автотермического риформинга природного газа (процесс ATR). Этот процесс является автономным, в нем конверсия природного газа полностью завершается в одном реакторе с неподвижным слоем катализатора при сочетании неполного окисления и паровой адиабатической конверсии. Сотрудничающая с «Haldor Topsøe» компания «Holm Larsen» разработала три варианта процесса ATR. По технологии фирмы «Haldor Topsøe» сооружена крупная установка производительностью 2500 т/сут, которая сравнительно недавно пущена в Норвегии.

Стадия получения синтез-газа является ключевой в производстве метанола и процессе Фишера–Тропша (см. п. 14.5), поэтому совершенствованию этой стадии уделяется основное внимание при реализации технологии GTL. Одной из самых эффективных технологий проведения стадии производства синтез-газа в настоящее время считается так называемый Тандем-процесс – двухступенчатая парокислородная конверсия природного газа, которая проводится в двухтрубчатых реакторах.

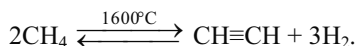
Преимущества Тандем-процесса по сравнению с паровой конверсией в шахтном реакторе заключаются в следующем:

- автотермичность процесса и замкнутый энергетический цикл;
- минимальный удельный расход природного газа на одну тонну вырабатываемого продукта – расходный коэффициент получения одной тонны метанола из природного газа составляет 850 м^3 и для обеспечения энергетики Тандем-процесса используется 150 м^3 природного газа, что значительно меньше по сравнению с другими процессами производства синтез-газа;
- низкий уровень выбросов вредных веществ (оксиды азота – NO_x , SO_2 , CO) в атмосферу.

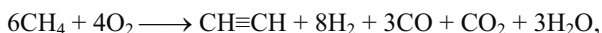
Развитие «химии- C_1 » открывает для нефтехимической промышленности возможности использовать метан, ресурсы которого в мире велики.

Огромные возможности таят в себе синтезы на основе метана, но не через известные промежуточные продукты, такие как синтез-газ и метанол (см. далее), а непосредственно приводящие к получению базовых нефтехимических полупродуктов.

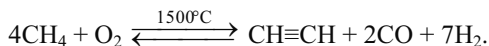
Например, с помощью электрокрекинга природного газа (метана с примесью гомологов) в электродуговых печах при нормальном давлении и повышенной температуре получают ацетилен:



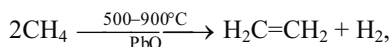
Ацетилен также можно получить путем частичного окисления природного газа (термоокислительный крекинг) благодаря теплу, выделяющемуся при частичном сгорании метана ($\text{CH}_4 : \text{O}_2 = 1 : 0,65$):



или пиролизом природного газа:

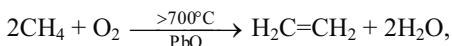


Разработан метод получения этилена из метана:



реакцию проводят на оксидах в присутствии кислорода. Газы пиролиза разделяют дробной абсорбцией, глубоким охлаждением и ректификацией под давлением.

Также весьма перспективными можно назвать методы окислительной конденсации, окислительного сочетания (димеризации) метана с получением этилена:

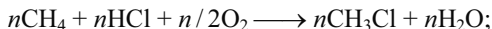


а также бензола, бутадиена, стирола.

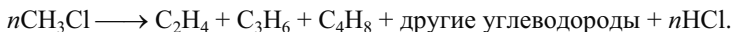
Кроме реакций с образованием целевых продуктов, параллельно будут протекать и побочные – это реакции окисления (с образованием CO , CO_2 , H_2O и H_2), которые идут с выделением тепла. В случае если на заводе имеется потребность в тепловой энергии, то этот способ позволит снизить затраты на производство тепла. Таким образом, вместо того, чтобы просто сжигать метан, можно одновременно получить и этилен, и высокопотенциальное тепло.

В научно-исследовательском инженерном центре «Синтез» (НИИЦ «Синтез») разрабатывается процесс, заключающийся в пиролизе хлористого метила в смесь этилена и пропилена. При этом образующийся хлористый водород возвращается в процесс на окислительное хлорирование метана с получением исходного хлористого метила:

- оксихлорирование метана



- превращение хлористого метила в олефины



При этом конверсия хлористого метила в продукт составляет 75–80%, селективность по этилену и пропилену – 85%. Процесс протекает при средних температурах – 450–500°C. В качестве катализатора можно использовать SAPO-34 (силикоалюмофосфатный катализатор, см. п. 14.4).

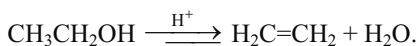
Хлористый водород из реакционной массы выделяется в сухом виде ректификацией под давлением (процесс известный и реализованный в промышленности).

Ключевой стадией является окислительное хлорирование метана – процесс с использованием реакторов псевдосжиженного слоя, трубчатого и адиабатического, который подробно исследовался еще в Советском Союзе. В качестве катализатора использовался хлорид меди на носителе, реакция проводилась в интервале температур 300–400°C.

Процесс пиролиза хлористого метила может быть использован в первую очередь на хлорных заводах. Дело за малым – разработка целевой программы для развития газохимии.

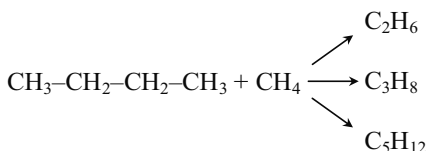
Этот же коллектив ученых занимается прямым синтезом хлористого винила из метана, процесс также является перспективным.

В настоящее время также разрабатываются различные методы окислительной конденсации, окислительного сочетания и другие при превращении метана в этилен. В ряде стран, обладающих большими запасами биомассы, применяется метод ферментативного превращения биомассы в этиловый спирт и его последующее разложение в этилен в присутствии кислотных катализаторов:



В частности, дегидратацией этанола при 400–450°C над Al_2O_3 получают наиболее чистый этилен; этот метод пригоден для лабораторного получения этилена.

За рубежом появились сообщения о новой реакции – метанолизе алканов, принципиальная схема которой приведена ниже.



Реакция интересна и с точки зрения перевода полимеров в короткоцепные углеводороды. Если представить вместо бутана длинную молекулу полиэтилена, то с помощью метанолиза можно из неразлагающегося в природе полиэтилена получить короткоцепные углеводороды, которые далее можно перерабатывать традиционным путем. Таким образом, полиэтилен может стать возобновляемым сырьем, и метанолиз поможет защитить окружающую среду.

Эксперты полагают, что разработка и реализация этих технологий могут быть осуществлены уже в первой четверти XXI в., что даст возможность говорить о наступлении «эры метана» в нефтехимической промышленности.

Согласно прогнозам, доля нефтегазохимии в мировом ВВП к 2030 г. достигнет 7%. За относительно короткий период газохимия завоевала прочные позиции во многих странах мира, их доля в экономике лидирующих стран возросла до 10%.

14.3. Новейшие мировые достижения в процессах синтеза метанола

Метанол относится к числу основных крупнотоннажных продуктов химической промышленности. На его основе вырабатывается большое количество важнейших химических соединений – органические химикаты, синтетические смолы и пластмассы, волокна, пестициды, фармацевтические препараты, эфиры МТБЭ и ТАМЭ, используемые в качестве октановых усилителей, антидетонационных присадок и оксигенатов. Метанол применяется также в качестве топлива и как заменитель, частично или полностью, автомобильных топлив – бензина, дизельного топлива и топливного масла.

Долгое время, вплоть до 30-х гг. XX в., единственным промышленным методом производства метанола являлась сухая перегонка древесины. Поэтому очень часто до сих пор метанол называют древесным спиртом, хотя получают из древесины не более 0,1% от общего объема производства метанола.

В настоящее время практически единственным промышленным методом производства метанола является его получение из синтез-газа по обратимой реакции с выделением теплоты:



Условия проведения этого процесса определяются в основном каталитической системой. При использовании катализаторов на основе оксидов цинка и хрома процесс протекает при температуре около 400°C и давлении до 35 МПа; более современные катализаторы на основе оксида меди позволяют проводить процесс в значительно более мягких условиях – температуре около 250°C и давлении до 5 МПа.

Наиболее известны технологии производства метанола фирм «Lurgi» (Германия), «Kellogg» (США), «ICI» (Великобритания), «Haldor Topsøe» (Дания).

По технологии фирмы «Lurgi» предусматривается возможность получения метанола из самых разнообразных видов сырья (природного газа, жидких углеводородных смесей, включая тяжелые нефтяные остатки, а также из угля).

Часть природного газа после сероочистки конвертируется в реакторе в смеси с паром, полученный газ смешивается с природным газом и конвертируется в другом реакторе (автотермическом) с кислородом в метанольный синтез-газ, в котором отношение водорода и

оксида углерода близко к двум. После котла-утилизатора (где получают пар высокого давления) и компрессора газ поступает в метанольный трубчатый реактор вместе с циркулирующим газом. Полученный метанол-сырец отгоняют в реакционных колоннах. Преимуществом этого метода является совмещение реакций конверсии и синтеза, низкий расход природного газа, компактность оборудования.

По технологии фирмы «Kellogg» в метанол перерабатываются легкие углеводороды. Основа технологии – каталитическая паровая конверсия природного газа и синтез метанола под низким давлением 5–10 МПа.

По технологии фирмы «ICI Catalco» метанол также получают под низким давлением 8–10 МПа, катализатор – на базе меди. Сырьем могут быть самые разнообразные углеводороды (природный газ, нефтяные тяжелые остатки, уголь). Отметим, что фирма «ICI Catalco» проводит консалтинговое обслуживание клиентов, включающее лицензирование технологий, технологическое обслуживание предприятий, поставку катализаторов.

Технология фирмы «Haldor Topsø» рассчитана на переработку природного или попутного нефтяного газа в метанол. Компания «Haldor Topsø» использует для синтеза метанола катализаторы собственной разработки (как и на стадии получения синтез-газа). Фирма «Haldor Topsø» является лицензиаром стадий получения синтез-газа и очистки метанола, «Lurgi» – стадии синтеза метанола.

Оригинальную технологию получения метанола разработала фирма «Foster Wheeler» (в 2014 г. была приобретена компанией «Amec» (Великобритания) и в настоящее время называется «Amec Foster Wheeler») – процесс Starchem. Суть технологии состоит в сочетании процессов подготовки обогащенного кислородом воздуха, неполного окисления природного газа, синтеза метанола и извлечения продувочного водородсодержащего газа.

В последние годы на передовые позиции в разработке технологий, проектировании и строительстве метанольных установок выдвинулась норвежская компания «Kværner», создавшая процесс Kværner Process Technology, представляющий собой сочетание конверсии природного газа без кислорода и синтеза метанола под низким давлением.

Крупнейшая компания по производству метанола «Methanex» (Канада) разработала процесс Compact Methanol. Имеется предложение о создании на базе этого процесса гигантской установки мощно-

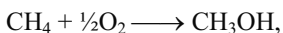
стью 2 млн т/год, что позволит обеспечить снижение удельных капитальных затрат и текущих издержек на 20% по сравнению с самыми крупными из ныне действующих установок.

Во многих странах сегодня активно ведутся работы по осуществлению одностадийного процесса синтеза метанола, который получается непосредственно из метана, минуя стадию получения синтез-газа или совмещая с ней. В области прямого газофазного окисления метана в метанол важно воспроизведение в масштабах пилотной установки высокой (до 70,8%) селективности процесса при значительных (более 5%) степенях конверсии, которые были достигнуты в ряде лабораторных исследований. Достижение подобных показателей в производственном масштабе позволит создать, безусловно, рентабельный процесс.

Сегодня отмечается резкий всплеск исследовательских работ по альтернативным процессам конверсии углеводородных газов, а американская компания «Dow Chemical Co.» в 2008 г. учредила грант на сумму свыше 6 млн долл. в области исследования процессов конверсии метана в базовые химические продукты, в том числе этилен и пропилен. Причем заранее было оговорено, что исключаются предложения, основанные на получении синтез-газа. Собрав более 100 предложений различных научных школ со всего мира, «Dow Chemical Co.» оценила состояние работ в данной области и оптимизировала направление собственных исследований.

Не исключено, что арсенал разработок по химической переработке природного газа и НПГ пополнится новыми исследованиями российских ученых.

Таким образом, в последнее время значительное внимание уделяется процессу получения метанола прямым окислением метана:



что значительно выгоднее синтеза метанола из синтез-газа при условии высоких значений конверсии и селективности процесса прямого окисления. Однако в настоящее время не удастся реализовать эти условия, и далее опытно-промышленных установок процесс прямого окисления не продвинулся.

Появились сообщения о том, что компания «Catalytica, Inc.» (США) получила метанол прямым окислением метана на комплексном платиновом катализаторе с выходом метанола 70% против 43% с использованием ранее разработанного ртутного катализатора (при

прямом газофазном процессе окисления метана выход метанола не превышает 5%). Реакция протекает при 220°C и 3,3 МПа в жидкой фазе. Промышленная реализация планируется через 5 лет. Аналогично может быть осуществлено окисление этана в этанол и бензола в фенол.

Следует отметить, что практически все компании, занимающиеся совершенствованием действующих и разработкой новых технологий производства метанола, используют комплексные компьютерные модели для определения оптимальной конструкции агрегатов, прогнозирования последствий изменения рабочих условий процесса, вида используемого сырья, типа катализатора, вероятности коксообразования и отравления катализатора. Немаловажным фактором снижения издержек производства метанола является включение в состав метанольного комплекса газотурбинных установок на основе комбинированного цикла совместного производства метанола и электроэнергии. Важным в уменьшении затрат по доставке метанола потребителям является совершенствование танкерного флота для транспортировки метанола, а также применение системы фрахтовки тайм-чартер.

Как видно из многочисленных примеров нового строительства метанольных установок, их дислокация тяготеет к крупным месторождениям природного газа. Учитывая тот факт, что многие вновь открытые газовые месторождения являются морскими, а также принимая во внимание значение транспортной составляющей в конечной цене метанола, специалисты норвежской фирмы «Solco» (г. Ставангер) разработали проект создания специального судна для автономного производства метанола в открытом море. Это комбинированный плавучий агрегат, ведущий одновременно морскую добычу природного газа и производство метанола (мощность – около 1 млн т/год). Одно из преимуществ предлагаемого проекта – максимальное приближение производства к источнику сырья. Специалисты фирмы полагают, что издержки производства метанола на борту судна будут в 2 раза ниже, чем для аналогичного производства на суше.

По сообщению РИА «Новости» (2010), ПАО «НОВАТЭК» ввел на Юрхаровском газоконденсатном месторождении новую метанольную установку мощностью 40 тыс. т метанола в год. Первая установка мощностью 12,5 тыс. т/год была введена в эксплуатацию на Юрхаровском месторождении осенью 2007 г. Установки являются уникальными малотоннажными производствами, интегрированными

в процесс подготовки газа, при создании которых использовались идеи и технические решения специалистов ПАО «НОВАТЭК». В мировой практике нет подобных малотоннажных производств на газоконденсатных месторождениях.

Получение метанола предусматривает двухстадийный процесс: получение синтез-газа в процессе паровой конверсии метана и собственно синтез конечного продукта. Существенное снижение капитальных затрат и себестоимости метанола обеспечивает интегрирование производства метанола в установку комплексной подготовки газа, основного объекта газовых и газоконденсатных промыслов.

Метанол используется для предотвращения гидратообразования в скважинах и газосборных сетях в условиях низких температур, что особенно актуально для Юрхаровского газоконденсатного месторождения, расположенного за Полярным кругом. Использование обеих установок позволяет полностью обеспечить потребности Юрхаровского и всех других месторождений ПАО «НОВАТЭК» в этом продукте.

Производство метанола непосредственно в месте добычи позволяет исключить экологические риски, связанные с транспортировкой химически активного продукта по акватории северных рек, а также снизить операционную себестоимость добычи и повысить стабильность производства. За счет интеграции установки по производству метанола в состав установки комплексной подготовки газа достигается существенное снижение капитальных затрат.

Согласно исследованию Академии конъюнктуры промышленных рынков, на начало 2007 г. мировые мощности по выпуску метанола составляли 47,5 млн т/год. Производство метанола в мире в настоящее время достигло уровня около 38 млн т/год (для сравнения в 1980 г. – 20 млн т/год). Согласно данным департамента аналитики компании «Креон», в 2006 г. мощности по производству метанола в России составляли 4,2 млн т/год, а фактический выпуск – 3,1 млн т/год (более 50% произведенного метанола Россия отправила на экспорт). Прогнозируется, что значение и производство метанола по изложенным выше причинам с каждым годом будут возрастать. Согласно прогнозам аналитического департамента «Креона», к 2014 г. объем потребления метанола в мире достигнет 45 млн т/год, притом что мировые мощности по выпуску этого продукта будут составлять порядка 72 млн т/год (с учетом законсервированных мощностей и тех, которые предполагается ввести в Китае, Саудовской Аравии и России). Таким обра-

зом, даже в 2014 г. в мире сохранится избыток мощностей и предложение будет превышать спрос.

По мнению многих экспертов, производство метанола как способ химической переработки газа является более привлекательным и конкурентоспособным по сравнению с синтезом Фишера–Тропша (см. п. 14.5).

Необходимо также предусмотреть и развитие сопряженных с газохимией отраслей. Например, транспортировка метанола в танкерах принципиально выгоднее, чем транспортировка сжиженного природного газа. Еще более прибыльны переработка метанола в конечные продукты и их экспорт.

14.4. Получение продуктов на основе метанола

В свете того, что в мире (и в России в частности) существует перепроизводство метанола, очень актуальной является тема поиска новых путей использования этого продукта.

Согласно исследованиям академика Международной академии организационных наук О. Б. Брагинского (заведующего лабораторией стратегии развития отраслевых комплексов ЦЭМИ РАН), в настоящее время перспективными являются следующие направления использования метанола:

- производство топлива для электростанций;
- превращение метанола в олефины;
- получение диметилового эфира и биотоплива для транспорта;
- новые химические синтезы на базе метанола;
- использование метанола как одного из вариантов при монетизации труднодоступных месторождений газа.

Лабораторией стратегии развития отраслевых комплексов ЦЭМИ РАН определены несколько сценариев развития мировой индустрии метанола. Согласно пессимистическому сценарию, в ближайшие годы будет сохраняться тенденция перепроизводства метанола при слабом развитии новых направлений его использования. При этом произойдет падение цен и стагнация.

Вероятный сценарий, по мнению О. Б. Брагинского, предполагает рост спроса на метанол на 4% в год при выведении пилотных проектов по новым направлениям использования.

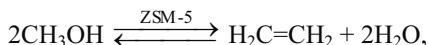
Оптимистический прогноз обещает активный рост новых направлений использования метанола. В частности, развитие производства чистых моторных топлив из метанола, использование метанола для

синтеза олефинов и полиолефинов, а также как энергоносителя, особенно в Азии. Спрос вырастет до 100 млн т/год. Ожидается интенсивный ввод установок-миллионников.

Основными потребителями метанола традиционно считаются производства формальдегида, метилметакрилатов, алкиламинов, растворителей, а в последнее время уксусной кислоты и МТБЭ.

Более трети произведенного метанола перерабатывается в формальдегид, на основе которого получают различные химические продукты, в том числе полимеры; на производство метил-*трет*-бутилового эфира (МТБЭ) расходовалось около 26% выработанного метанола; в качестве растворителя – 3%; компонента моторного топлива – 2%; на прочие цели (производство диметилтерефталата, метилметакрилата и т. п.) – 26%.

Одной из последних разработок фирмы «Mobil» (США), осуществляемых в рамках процессов МТО¹, является технология получения на основе метанола самого распространенного полупродукта нефтехимии – этилена; процесс осуществляется на цеолитсодержащих катализаторах:

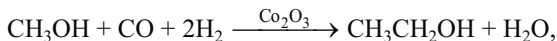


и несмотря на то что по стехиометрии реакции теоретический выход этилена 44% (56% – вода), данный процесс считается экономически выгодным.

При использовании технологической схемы МТО не требуются дорогостоящие колонны разделения этилена/этана и пропилена/пропана, в процессе образуется ограниченное количество побочных продуктов по сравнению с паровым крекингом, что упрощает аппаратное оформление секции отбора продуктов.

Компанией «Norsk Hydro» (Норвегия) совместно с «UOP» (США) разработан процесс получения этилена и пропилена из природного газа через метанол (UOP /Hydro).

Данные технологии основаны на совершенствовании реакций гомологизации (впервые осуществленных в Германии в 1940 г.), проходящих при давлении 60 МПа:



и последующей дегидратацией соответствующих спиртов в олефины.

¹ МТО – Methanol to Olefine = метанол в олефин.

В настоящее время в процессе UOP/Hydro применяется катализатор МТО-100 – кремний алюмофосфатный на основе синтетических молекулярных сит. Катализатор отличается устойчивостью к истиранию и стабильностью, поэтому его можно многократно регенерировать и использовать в условиях псевдооживленного слоя в течение длительного периода. Катализатор обладает высокой селективностью к этилену и пропилену.

Кроме того, имеются сведения об использовании в технологической схеме МТО катализатора SAPO-34 (силикоалюмофосфатного, см. п. 14.2), размер пор которого обеспечивает селективную конверсию в олефины и удаление тяжелых компонентов; низкое давление в реакторе (от 1 до 3 атм); температуры от 400 до 500°C; отсутствие разбавителя; возможность регулирования производства пропилена и этилена в широких пределах.

Эти исследования продолжила компания «Mobil». Процесс может оказаться привлекательным для ряда развивающихся стран, обладающих ресурсами природного газа.

По имеющейся информации, на заводе французской компании «Total» в Бельгии построена и во 2-м квартале 2009 г. запущена опытно-промышленная установка процесса МТО мощностью 10 т метанола в сутки по технологии UOP/Hydro. Такие технологии могут быть реализованы и в России, тем более что огромный объем исследований был проведен в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева под руководством академика С. Н. Хаджиева и в НИИЦ «Синтез» (см. п. 14.2).

Компания «Lurgi» разработала процесс производства пропилена из метанола – МТР¹. В процессе МТР метанол и диметилвый эфир поступают в адиабатический реактор со стационарным слоем катализатора, где они превращаются в углеводороды и воду при высокой степени селективности по пропилену. Получены заводские результаты, свидетельствующие об успешности технологии: при конверсии более 94% метанола выход пропилена составил 68% при цикле работы цеолитового катализатора разработки «Lurgi» свыше 600 часов.

Технология превращения метанола в олефины (МТО) позволяет увязать рынки олефинов и полиолефинов с производством метанола и обеспечивает высокие выходы продуктов и гибкость производства. К тому же технология МТО успешно конкурирует с процессом

¹ МТР – Methanol to Propylene = метанол в пропилен.

пиролиза нефти, обладая лучшими возможностями интеграции и более высокой рентабельностью. Так, процесс МТО по технологии UOP/Hydro конкурентоспособен по сравнению с пиролизом нефти при ценах на нефть более 15 долл. США за баррель.

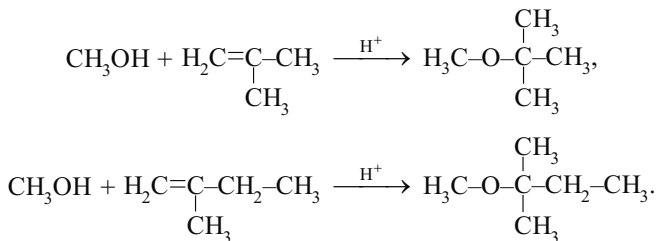
На основе метанола вырабатываются различные кислородсодержащие продукты – простые эфиры, которые широко применяются в качестве высокооктановых добавок к автомобильным бензинам; в последние годы значительное внимание уделяется производству из метанола простого эфира – диметилового, который некоторые ученые считают дизельным топливом XXI в.

14.4.1. Производство простых эфиров

Простые эфиры, полученные на основе метанола, обладают высокими антидетонационными свойствами, что позволяет их использовать в качестве высокооктановых добавок к автомобильным бензинам.

Первым из таких эфиров начали применять метил-*трет*-бутиловый эфир (МТБЭ). Использование МТБЭ как компонента бензинов (ОЧ смешения – 117, по исследовательскому методу – 115–135) позволяет получить высокооктановое топливо. Однако МТБЭ характеризуется пониженной теплотой сгорания, и его концентрация в бензине ограничена на уровне 10% (об.) (не более 2,7% кислорода), что соответствует повышению ОЧ на 4–8 единиц.

Также для этих целей применяется метил-*трет*-амиловый эфир (МТАЭ) и другие процедуры, получение которых протекает по реакциям:



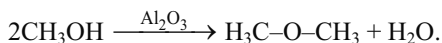
Получение этих продуктов протекает при температуре около 100°C и небольшом избыточном давлении до 5 МПа в присутствии катализаторов (серной кислоты или более современных – ионообменных смол).

Процессы каталитической этерификации изобутилена метанолом в МТБЭ разработаны американскими компаниями «Phillips Petroleum»,

«ARCO Chemical Technology», «CD-TECH» (процесс CD МТБЭ) и «UOP» (процесс Ethermax). Первая промышленная установка по производству МТБЭ была пущена в Италии в 1973 г., и в настоящее время объем производства МТБЭ в мире превышает 25 млн т/год, при этом в США вырабатывается около 60% мирового производства МТБЭ. В России производство МТБЭ находится на уровне 500–600 тыс. т/год при мощности установок порядка 1 млн т/год: 50–60%-ная загрузка мощностей обусловлена отсутствием достаточных количеств изобутилена.

Однако многочисленные исследования (проведенные в США) показали, что МТБЭ является причиной более 20 заболеваний, в том числе астмы, кратковременной потери памяти, головной боли, раздражения кожи и т. п. В связи с этим в США в конце 90-х гг. XX в. началась мощная кампания за запрет использования МТБЭ в составе автомобильных бензинов. В остальных регионах мира, наоборот, потребление МТБЭ либо остается неизменным (в странах Западной Европы), либо растет и будет расти, например в Восточной Европе и странах Азии. По мнению аналитиков ОАО «ВНИИ НП», в России оксигенаты, а именно эфиры типа МТБЭ, будут непременно компонентом высокооктановых бензинов, несмотря на конъюнктурные запреты в США и их последователях.

В основе существующего процесса промышленного синтеза диметилового эфира (ДМЭ) лежит экзотермическая реакция дегидратации метанола:



Процесс протекает при температуре 300–400°C, давлении около 1 МПа в присутствии катализатора – оксида алюминия. Мировое производство ДМЭ этим методом находится на уровне 150 тыс. т/год, и ДМЭ применяется в основном в качестве пропеллента взамен различных фторорганических продуктов.

Эта технология не может быть рекомендована для установок большой мощности, предназначенных для производства десятков миллионов тонн ДМЭ как дизельного топлива, так как его себестоимость вдвое выше себестоимости метанола.

Поэтому в настоящее время разработаны и реализуются в промышленном масштабе установки по прямому синтезу ДМЭ из синтез-газа, когда наряду с метанолом в реакторе образуется ДМЭ и далее необходима стадия разделения этих продуктов. Учитывая значительную разницу в температурах кипения метанола и ДМЭ (56 и –25,3°C

соответственно), проведение этой стадии осуществляется достаточно просто ректификацией или, что лучше, последовательной конденсацией. Для реализации такого метода производства ДМЭ необходим бифункциональный катализатор, позволяющий осуществлять получение метанола из синтез-газа с одновременной его дегидратацией в ДМЭ.

ДМЭ как дизельное топливо обладает высоким цетановым числом, практически отсутствием токсичных веществ в отработавших газах и низкой температурой застывания (около -138°C), что особенно важно для климатических условий России и существующем дефиците низкозастывающих дизельных топлив. Последнее обстоятельство позволит, вероятно, использовать ДМЭ не только как таковой, но и как компонент дизельного топлива.

Недостатками ДМЭ как дизельного топлива являются его низкая температура кипения (около -25°C) и неудовлетворительные противозносные свойства – худшие из всех дизельных топлив. Эти свойства ДМЭ требуют решения определенных проблем, связанных с его хранением на АЗС и на борту автомобиля, а также с системой подачи топлива в камеру сгорания.

14.4.2. Переработка метанола в бензин

Компанией «Mobil Oil» (США) был разработан процесс производства бензина из метанола, и в Новой Зеландии была построена установка мощностью 570 тыс. т целевого продукта/год. Процесс протекает при температуре около 400°C и давлении до 2 МПа на цеолитном катализаторе ZSM-5 по схеме:



Из одной тонны метанола получают 390 кг бензиновой фракции $47-170^{\circ}\text{C}$, 23,4 кг пропан-бутановой фракции, 20,6 кг сухого газа и 560 кг воды. Бензиновая фракция имеет ОЧ около 87 по моторному и 96 по исследовательскому методу, содержание ароматических углеводородов до 60% при содержании бензола менее 1%. Недостатками этого бензина являются высокое содержание ароматических углеводородов, которое не укладывается в современные требования к автомобильным бензинам по этому показателю, а также высокое содержание ароматического углеводорода дурола (1, 2, 4, 5-тетраметилбензола), имеющего температуру плавления около 80°C , что оказывает отрицательное влияние на низкотемпературные свойства бензина.

Кроме того, его стоимость в 1,8–3,7 раза дороже по сравнению с бензином, производимым из нефти. Дальнейшее развитие технологии производства синтетического бензина из метанола направлено на повышение эффективности путем применения более дешевых катализаторов и уменьшение себестоимости выпускаемой продукции.

Однако в настоящее время из-за этих недостатков компания была вынуждена прекратить производство бензина по этому процессу и перевести установку на производство метанола.

При условии разработки катализатора, который обеспечит в составе бензина преимущественное содержание изопарафинов, Mobil-процесс может быть конкурентоспособным с процессом Фишера–Тропша, и по расчетам стоимость бензина, полученного этими процессами, будет соответственно составлять 300–350 и 330–370 долл. США за тонну.

В заключение следует отметить отечественные разработки, созданные ООО «Новые газовые технологии – синтез» (НГТ-синтез). Компания разрабатывает несколько нефтехимических процессов, позволяющих получать автомобильный бензин и концентрат ароматики из широкого спектра низкооктановых углеводородов, обладая при этом рядом преимуществ.

Компания сосредоточилась на развитии двух наиболее перспективных направлений: это процесс Метаформинг – получение высокооктановых бензинов или основы для его производства, и процесс Ароформинг – синтез концентрата ароматических углеводородов с высоким содержанием ксилолов.

Основой инновации является уникальный цеолитный катализатор, позволяющий в одну стадию при малом давлении в совместной реакции с метанолом перерабатывать нефту, ШФЛУ, СУГ, бензин пиролиза, катализа и прочие низкооктановые фракции. Катализатор не содержит драгоценных металлов, а реактор используется простой адиабатический, что обеспечивает низкую капиталоемкость и низкие операционные затраты.

В результате получается технология с вдвое меньшими издержками, чем у конкурентов при сопоставимых мощностях, в продукте сокращается содержание серы в 10–15 раз, в отходящем газе низкое содержание C_1 – C_2 .

Согласно информации Фонда «Сколково», по проекту Ароформинг – наиболее выгодной технологии переработки низкооктановых углеводородов и другого сырья в высокооктановый бензин или концентрат аренов проводятся следующие мероприятия:

- испытания на масштабированном реакторе (16 т/год) на реальном сырье потенциальных заказчиков (АО «Объединенная нефтехимическая компания» (ОНК), ПАО «Газпром нефть» и ОАО «AzMeCo», Азербайджан);

- запущено создание офиса в США совместно с Houston Technology Centre для демонстрации технологии на рынке Северной Америки.

14.5. Процесс Фишера–Тропша

Огромное значение имеет освоенный в 20-е гг. XX в. процесс получения из синтез-газа метанола – важнейшего продукта химической промышленности. В то же время прямой синтез других кислородсодержащих соединений из синтез-газа также представляется весьма привлекательным.

В 1923 г. немецкими химиками Ф. Фишером (Fischer) и Г. Тропшем (Tropsch) была разработана технология прямого синтеза углеводородов из синтез-газа, которая впоследствии была названа их именами – синтез Фишера–Тропша, или процесс Фишера–Тропша. Основное достоинство этого процесса, которое обусловило значительный интерес к его реализации, заключается в возможности получения углеводородов практически из любого углеродсодержащего сырья (угля, торфа, природного газа, органических отходов и т. д.). Таким образом, стало возможным производство продуктов, которые традиционно получались из нефти, и тем самым открылся путь для реальной экономии нефтяных ресурсов.

Полная схема установки процесса Фишера–Тропша включает три стадии:

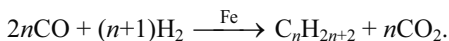
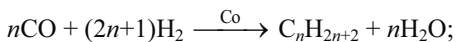
- получение синтез-газа (см. п. 14.2);
- синтез углеводородов из синтез-газа (собственно процесс Фишера–Тропша);
- разделение газожидкостных продуктов с выделением целевых продуктов и их дальнейшая переработка с получением товарных продуктов, в том числе моторных топлив.

В случае получения моторных топлив из продуктов синтеза Фишера–Тропша третья стадия включает известные процессы нефтепереработки – гидрокрекинг, гидроизомеризация и т. д.

Капитальные затраты на действующих установках, использующих в качестве исходного сырья природный газ, распределяются примерно следующим образом: первая стадия – 60%; вторая – 25% и третья – 15%.

Это соотношение может меняться в зависимости от используемых технологий и процессов, особенно на третьей стадии, но, как правило, основные капитальные затраты связаны с первой стадией – получением синтез-газа, и поэтому основное внимание уделяется совершенствованию именно этой стадии.

Основные реакции, по которым протекает синтез Фишера–Тропша, осуществляются на металлических катализаторах под давлением и с большим выделением теплоты (165–205 кДж на каждую CH_2 -группу углеводорода). В качестве катализаторов обычно выступают металлы VIII группы Периодической системы элементов: железо (Fe), кобальт (Co), а также рутений (Ru). На кобальтовом катализаторе реакция протекает с выделением воды, а на железном – диоксида углерода:



Синтез углеводородов из CO и H_2 является сложным каталитическим процессом, включающим большое число параллельных и последовательных реакций.

На кобальтовых катализаторах при температуре 170–250°C и давлении 0,1–3 МПа преимущественно образуются парафиновые углеводороды с нормальной цепью, с числом углеродных атомов от 1 до 60 (широкая фракция углеводородов).

На железных катализаторах при температуре 230–240°C и давлении 2–3 МПа образуются олефины, парафины и кислородсодержащие продукты (в основном альдегиды).

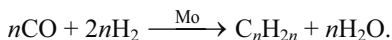
Использование рутениевых катализаторов, которые активны только при высоких давлениях 10–100 МПа и температуре 120–130°C, позволяет получать нормальные парафины с очень высокой молекулярной массой.

Перечисленные катализаторы проявляют значительную активность в процессах образования высших углеводородов из синтез-газа.

В промышленности практически используются только кобальтовые и железные катализаторы.

Среди новейших разработок следует отметить технологию фирмы «Dow Chemical Co.» (США) по превращению синтез-газа в олефины по реакции Фишера–Тропша на промотированных¹ молибденовых катализаторах:

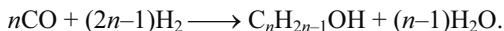
¹ *Промоторы* (от лат. *promoveo* – продвигаю) – активаторы, вещества, добавление которых к катализатору увеличивает его активность, избирательность или устойчивость.



В литературе описано применение синтез-газа для получения предельных спиртов состава $\text{C}_1\text{--C}_4$ (низших спиртов), из которых затем дегидратацией получают низшие олефины. В 70-е гг. XX в. были предложены катализаторы сложного состава, состоящие из оксидов меди, кобальта, хрома, ванадия, марганца и солей щелочных металлов, которые позволили получить из синтез-газа спирты нормального строения состава $\text{C}_1\text{--C}_4$ при температуре 250°C и давлении всего 0,6 МПа:



В СССР под руководством члена-корреспондента АН СССР А. Н. Башкирова в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева был разработан процесс получения высших алифатических спиртов на плавленных железных катализаторах. Процесс проводится при высоком давлении 20–30 МПа и температуре $170\text{--}190^\circ\text{C}$, плавленный железный катализатор содержит 3–4% промоторов (V_2O_5 , Al_2O_3 , SiO_2 и др.). Синтез высших алифатических спиртов протекает по общей схеме:



Кроме того, в литературе описано образование из синтез-газа самых различных кислородсодержащих соединений, например ацетальдегида, уксусной кислоты, этиленгликоля и др.

Все эти реакции представляются вполне реальными. К сожалению, эти способы в настоящее время не могут конкурировать с уже освоенными промышленными процессами, поскольку протекают в очень жестких условиях и с небольшой селективностью.

В настоящее время из продуктов реакции Фишера–Тропша наибольшую ценность представляют углеводороды с числом атомов углерода в углеродной цепи более пяти и α -олефины. При этом основную часть получаемых продуктов составляют неразветвленные углеводороды. В связи с этим бензиновая фракция углеводородов характеризуется низким ОЧ (менее 60 при использовании традиционных катализаторов) и требует дальнейшей переработки для коммерческой реализации. С другой стороны, дизельная фракция углеводородов синтеза Фишера–Тропша представляет собой готовый коммерческий продукт с очень высоким цетановым числом (более 70), ис-

пользование которого обеспечивает высокий КПД двигателя и ничтожное содержание СО, оксидов азота и сажи в выхлопных газах.

При полном превращении синтез-газа максимальный выход жидких продуктов составляет 208,5 г из 1 м³ (при нормальных условиях) смеси $\text{CO} + 2\text{H}_2$.

Исследование теоретических основ процесса показало, что выход фракций углеводородов, соответствующих бензиновой ($\text{C}_5\text{--C}_{11}$) и дизельной ($\text{C}_{12}\text{--C}_{16}$), не может превышать 48 и 30% (масс.).

Особым достоинством продуктов процесса Фишера–Тропша, в отличие от продуктов, полученных из нефти, является практически полное отсутствие в их составе серо- и азотсодержащих соединений и незначительное содержание ароматических углеводородов, что устраняет образование токсичных оксидов серы и азота при сгорании таких моторных топлив в двигателях и тем самым решает экологические проблемы моторных топлив.

В промышленных условиях процесс Фишера–Тропша был впервые реализован в Германии в 30-е гг. XX в., и во время Второй мировой войны в Германии вырабатывалось до 600 тыс. т моторных топлив, главным образом бензина, который назывался «синтин» («sintin»). Он обладал неудовлетворительными низкотемпературными свойствами и низкими ОЧ, что объяснялось высоким содержанием нормальных парафинов.

После окончания Второй мировой войны промышленное производство моторных топлив из синтез-газа практически прекратилось, что объяснялось открытием и освоением крупных нефтяных месторождений в странах Ближнего и Среднего Востока, в Тюмени и других регионах.

В середине 70-х гг. XX в. нефтяной кризис и быстрый рост цен на нефть возродили интерес к этому процессу, который особенно возрос в последние годы в связи с надвигающимся истощением нефтяных запасов и реальной возможностью замены нефти в производстве моторных топлив из альтернативных источников сырья.

При получении углеводородов из синтез-газа всегда образуется смесь углеводородов – газообразных, жидких и твердых. Варьируя условия процесса и набор технологических установок на третьей стадии процесса, можно существенно менять ассортимент полученных продуктов. Так, на заводе компании «Royal Dutch Shell» в Малайзии реализован такой вариант процесса Фишера–Тропша. На первой стадии из примерно 1 млрд м³ природного газа получают синтез-газ. На

второй стадии при 2,8 МПа и 230°C на кобальтовом катализаторе получают высокомолекулярные парафины (церезин), которые далее подвергают гидрокрекингу и гидроизомеризации с получением бензина, дизельного топлива и газойля. Соотношение этих продуктов в зависимости от проведения процессов колеблется в следующих интервалах: (15–25):(25–50):(60–25), т. е. с преимущественным получением средних дистиллятов, поэтому процесс называют MDS¹.

В настоящее время суммарная мощность заводов по производству углеводородов процессом Фишера–Тропша из разных источников сырья (уголь, природный газ и др.) составляет 5,8 млн т/год, в том числе в Южно-Африканской Республике – порядка 4,5 млн т/год преимущественно из угля.

Существует несколько прогнозов по развитию производства углеводородов процессом Фишера–Тропша. По одному из них в ближайшие 10–15 лет производство достигнет уровня от 40 до 95 млн т/год, что составит от 1 до 2,4% мировой добычи нефти. По другому – возможны три варианта развития процесса Фишера–Тропша к 2015 г.:

- медленный – достижение производства 25 млн т/год;
- средний – 50–75 млн т/год;
- ускоренный – 100–150 млн т/год.

Если развитие пойдет по медленному или среднему сценарию, то производство углеводородов по Фишеру–Тропшу будет уравнивать баланс спроса и предложений на нефтепродукты. Развитие по ускоренному сценарию окажет заметное воздействие на мировой рынок нефтепродуктов.

Производство моторных топлив процессом Фишера–Тропша становится конкурентоспособным с производством нефтяных моторных топлив при цене нефти на уровне 16–20 долл. США за баррель. По заявлению представителей ЮАР, технология Фишера–Тропша настолько усовершенствована на предприятиях компании «Sasol», что моторные топлива, произведенные на предприятиях этой компании по методу Фишера–Тропша, конкурентоспособны с нефтяными при цене нефти даже 12 долл. за баррель.

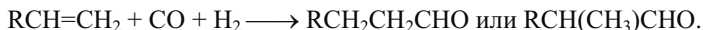
Успехи компании «Sasol» – мирового лидера в области технологий получения синтетических топлив – в совершенствовании метода Фишера–Тропша связаны с режимом апартеида в ЮАР, имевшим место во второй половине XX в. Международные санкции и отсутствие собствен-

¹ MDS – Middle Distillate Synthesis = синтез газойля.

ных нефтяных запасов побудили правительство ЮАР искать решение топливных проблем путем использования природного газа и угля.

14.5.1. Гидроформилирование олефинов

Одним из наиболее важных примеров промышленных процессов с участием синтез-газа является реакция *гидроформилирования* (*оксо-синтез*). В 1938 г. немецкий химик О. Релен (Roelen), исследуя механизм синтеза Фишера–Тропша, открыл эту реакцию, значение которой трудно переоценить. В этом процессе алкены в присутствии катализаторов, главным образом кобальтовых или родиевых, при давлениях свыше 10 МПа и температурах 140–180°C взаимодействуют с синтез-газом и превращаются в альдегиды – важнейшие полупродукты в производстве спиртов, карбоновых кислот, аминов, многоатомных спиртов и др. В результате реакции гидроформилирования получают альдегиды с прямой и разветвленной цепью, содержащие на один атом углерода больше, чем в исходной молекуле:



Наиболее ценными являются нормальные альдегиды, тогда как альдегиды изостроения можно рассматривать как нежелательные побочные продукты. Мировое производство альдегидов по процессу гидроформилирования достигает 7 млн т/год, при этом около половины приходится на *n*-масляный альдегид, из которого получают *n*-бутиловый спирт. Альдольной конденсацией с последующим гидрированием получают 2-этилгексанол, используемый для производства пластификаторов поливинилхлорида.

В качестве катализаторов гидроформилирования наиболее широко используются карбонилы кобальта, в последнее время описано применение родиевых катализаторов, которые позволяют проводить процесс в более мягких условиях.

Следует надеяться, что поиски новых эффективных методов промышленного использования синтез-газа будут интенсивно продолжаться, и нет сомнений, что у этой области большое будущее.

14.6. Современное состояние и перспективы развития производства гелия

Как было указано в п. 14.1, в некоторых месторождениях в состав природных газов, кроме углеводородов, входят некоторые другие газы, в частности гелий (He).

Гелий – один из наиболее распространенных элементов космоса – занимает второе место после водорода. Этот инертный газ – редкое и невозпроизводимое минеральное сырье, которое отечественное законодательство относит к категории стратегических ресурсов.

Содержание гелия в атмосфере образуется в результате α -распада актиния (Ac), тория (Th), урана (U) – $5,27 \cdot 10^{-4}\%$ (об.). Запасы гелия в атмосфере, литосфере и гидросфере оцениваются в $5 \cdot 10^{14} \text{ м}^3$. Гелионосные природные газы могут содержать до 2% (об.) гелия, обычно 0,06–0,6% (об.). Гелий содержится также в минералах: клевете, монаците, торинаните (до 10,5 л/кг). Единственный экономически оправданный способ его добычи – извлечение из углеводородных газов, природного и попутного.

По запасам гелия наша страна занимает второе место в мире (табл. 24), максимальное скопление наблюдается в недрах Восточной Сибири.

Мировое производство гелия составляет 157 млн м^3 /год, причем наша страна по объему добычи (6,5 млн м^3 /год) занимает третье место после США (77 млн м^3 /год) и Алжира (23 млн м^3 /год). Между тем годовое потребление гелия сегодня держится на уровне 154 млн м^3 /год, а основными его покупателями остаются США и Канада (в общей сложности 61%), Европа (22%) и страны Азиатско-Тихоокеанского региона (15%).

В настоящее время крупномасштабное производство гелия в мире сосредоточено на 17 заводах, из которых 13 находятся на территории США (70% производства), и по одному заводу находятся: в Алжире (г. Арзев, 13,5% производства), в Катаре (г. Рас-Лаффан, 13,5% производства) и Оренбурге (3% производства). Еще один завод имеется в Польше (г. Одолянов), но сейчас он закрыт.

Таблица 24

Ведущие страны мира по запасам гелия

Страна	Доказанные запасы, млрд м^3	Доля в мировых запасах, %
Всего в мире	45,00	100
США	20,25	45
Россия	14,40	32
Алжир	3,15	7
Канада	3,15	7
Китай	1,80	4
Польша	1,35	3
Нидерланды	0,90	2

Источник: ПАО «Газпром».

Между тем стратегическое значение этого сырья ни у кого не вызывает сомнений. Гелий обладает по-настоящему уникальными свойствами – низкими показателями плотности, температуры замерзания и кипения, малой растворимостью, высокой тепло- и электропроводностью. Он инертен: не вступает в реакции ни с одним химическим элементом, а его атомы не соединяются даже между собой. Эти свойства и обусловили его использование.

Впервые гелий был применен немцами в годы Первой мировой войны, они в 1915 г. заправляли им дирижабли, бомбившие Лондон, после чего легкий и негорючий гелий стал незаменимым наполнителем воздухоплавательных аппаратов. Постепенно он приобретал все большее значение и теперь является ключевым компонентом многих высокотехнологичных производств. Его используют в электронике, хроматографии, машиностроении, медицине, металлургии, атомной энергетике, космонавтике, метеорологии, дайвинге и т. д.

Например, гелий нашел применение в механизмах активации зарядов ракет и управляемых снарядов, на отдельных стадиях получения ядерного горючего, в технологиях выявления возможных утечек в атомных реакторах и других системах, находящихся под давлением.

В 70-х гг. XX в. в нашей стране на предприятиях Министерства среднего машиностроения были выполнены и получили необходимое научно-техническое обоснование и экспериментальное подтверждение проекты высокотемпературных гелиевых реакторов (ВТГР) атомных энерготехнологических станций (АЭТС) для химической промышленности и черной металлургии. При проведении этих исследований использовался опыт, накопленный при разработке ядерных ракетных двигателей. ВТГР – это новый тип экологически чистых универсальных атомных энергоисточников, обладающих способностью вырабатывать тепло при температурах более 1000°C и имеющих высокий уровень безопасности, что определяет широкие возможности их использования, в частности для производства водорода и водородсодержащих смесей, а также метанола и аммиака.

В настоящее время Российский научный центр (РНЦ) «Курчатовский институт» при участии ряда отечественных и зарубежных организаций разрабатывает международный проект модульного гелиевого реактора, предназначенного для производства электроэнергии с КПД около 50%. Эта энергоустановка может применяться также и для

производства водорода (см. пп. 6.1.2) на основе использования термохимических циклов.

Кроме того, созданные благодаря гелию сверхпроводники сегодня жизненно необходимы для электроники. Они входят в конструкции детекторов инфракрасного излучения, молекулярных усилителей (мазеров), оптических квантовых генераторов (лазеров), приборов для измерения сверхвысоких частот. Кроме того, в гелиевой среде продукты очень долго сохраняют свои первоначальные пищевые качества, вкус и аромат.

В настоящее время мировой спрос на это редкое сырье постоянно растет, в основном благодаря его использованию в активно развивающемся производстве жидкокристаллических мониторов и дисплеев.

К сожалению, в нашей стране при переработке газа (особенно попутного) теряется около половины добытого гелия.

Единственной компанией в России, добывающей гелий, является ПАО «Газпром». Этот ценный продукт выпускает только Оренбургский гелиевый завод (ООО «Газпром добыча Оренбург», входящее в структуру ПАО «Газпром»).

На гелиевом заводе применяется классическая технология выделения газообразного гелия, состоящая из двух стадий:

- 1) выделяется гелиевый концентрат с содержанием гелия не менее 80%;

- 2) получается гелий высокой чистоты с содержанием гелия не ниже 99,99%, который и является товарной продукцией.

Экономический кризис, разразившийся после распада Советского Союза, привел к резкому сокращению потребления гелия в России. Правительство отказалось оплачивать излишки производства, закачиваемые в подземные хранилища в виде гелиевого концентрата, зато разрешило отправлять ценное сырье на экспорт. По соглашению с ПАО «Газпром» была организована поставка жидкого гелия, производимого на Оренбургском гелиевом заводе, за пределы страны – главным образом в Западную Европу. В результате доля российского сырья на европейском рынке достигла 40%.

Потребление гелия особенно связано с транспортированием этого продукта. До 1970 г. основное количество гелия транспортировалось в газообразном виде в баллонах, оборудованных мембранными вентилями, обеспечивающими высокую герметичность, специализированных контейнерах и железнодорожных агрегатах. В 1972 г. в США

был создан сосуд Дьюара¹ вместимостью 40 тыс. литров жидкого гелия. Сейчас это основное транспортное средство при крупных поставках жидкого гелия на дальние расстояния. Для мелких поставок гелия используются сосуды Дьюара вместимостью 500, 450, 250, 100, 60 и 30 литров жидкого гелия.

С 2008 г. ООО «Газпром добыча Оренбург» ведет планомерную работу по разработке отечественного образца гелиевой транспортной цистерны ЦТГ-40/0,45 объемом 40 м³ с высокими эксплуатационно-экономическими показателями. Целью разработки является создание цистерны контейнерного типа для перевозки без потерь (с закрытым газосбросом) жидкого гелия автомобильным и морским транспортом в течение не менее 30 сут при давлении не более 0,45 МПа. Для сравнения: длительность хранения гелия в цистерне американского производства не превышает двух недель.

Россия на собственные нужды пока использует только 1,2 млн м³/год (18%) добываемого гелия. Главными покупателями здесь являются предприятия машиностроения (около 30%), атомной энергетики (14%) и авиапрома (10,3%). Однако сегодня наблюдается некоторое увеличение потребления гелия вследствие общего оживления отечественной экономики. При этом его производство в нашей стране держится на постоянном уровне. Дело в том, что США и Алжир продолжают оставаться главными поставщиками этого продукта на европейские рынки как минимум до 2020 г., вследствие чего рост экспорта из России будет ограничен на фоне медленного повышения внутреннего потребления.

Большие перспективы связываются со стремительным развитием стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Спрос на гелий особенно динамично растет именно здесь: на 5–10% в год в течение трех последних лет. Поэтому значительное расширение производства гелия в России в скором времени может приобрести реальный смысл, ведь нефтегазовые месторождения Восточной Сибири отличаются высоким содержанием этого ценного сырья.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные направления использования природного газа.
2. Какой фактор является основным достоинством применения сжиженного природного газа по сравнению с компримированным?

¹ Сосуд Дьюара – резервуар типа сосуд в сосуде, межстенное пространство которого заполнено многослойной изоляцией и отвакуумировано; назван в честь шотландского физика и химика Д. Дьюара (Dewar), создавшего его в 1892 г. путем усовершенствования контейнера для хранения сжиженных газов.

3. Каковы источники производства сжиженного углеводородного газа?
4. Из какого сырья может быть получен синтез-газ?
5. Какие базовые нефтехимические продукты можно получить на основе метана (без промежуточных продуктов)?
6. Какие факторы позволят снизить себестоимость производства метанола, получаемого на малотоннажных установках?
7. Каковы перспективы развития ассортимента продуктов на основе метанола?
8. С чем связан вновь возникший в настоящее время повышенный интерес к процессу Фишера–Тропша?
9. Чем обусловлен растущий в последние годы мировой спрос на гелий?

ГЛАВА 15

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В ОБЛАСТИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Ископаемые угли относятся к классу твердых горючих ископаемых растительного происхождения (гумусовой природы) и являются разновидностью каустобиолитов¹. По степени углефикации (метаморфизма) угли делятся на следующие виды: бурые, каменные и антрациты. *Бурые угли* имеют невысокую степень углефикации (содержание углерода – около 70%), являясь переходной формой от торфа (содержание углерода – 50–60%) к каменным углям (содержание углерода – около 82%). Они характеризуются наличием меньшего, чем в торфе, количества различных глазом растительных остатков и большей плотностью. В отличие от каменных углей, имеют бурую окраску разных тонов.

Каменные угли – это разновидность каустобиолитов, занимающая промежуточное положение (по метаморфизму) между бурыми углями и антрацитом.

Антрацит – ископаемый уголь наиболее высокой степени углефикации (содержание углерода – до 95%). Имеет серовато-черный или черно-серый цвет с металлическим блеском. Высокая удельная теплота сгорания антрацита 33,8–35,2 МДж/кг обуславливает его основное использование в качестве энергетического топлива.

По данным Минэнерго России, внутреннее потребление угля уже много лет держится на уровне 200–220 млн т в год. Это объясняется стабилизацией спроса на уголь со стороны основных его потребителей – угольной электрогенерации и коксохимии, доля которых в структуре внутреннего потребления угля в стране составляет примерно 49 и 22% соответственно. В структуре добываемых углей в настоящее время более 26% (75 млн т) приходится на коксующиеся угли и свыше 5% (14,7 млн т) – на антрациты. Их добыча в последние годы изменялась незначительно вследствие стабилизации производства чу-

¹ *Каустобиолиты* (от греч. kaustos – горючий, bios – жизнь и lithos – камень) – горючие ископаемые органического происхождения, представляющие собой продукты преобразования остатков растительных, реже – животных, организмов под воздействием геологических факторов.

гуна и соответственно потребления кокса. Доля бурого угля в общей добыче сокращается. За период 1991–2014-х гг. она уменьшилась с 38,5 до 23%. При этом абсолютные объемы добычи бурого угля последние 10 лет оставались достаточно стабильными – около 70–80 млн т в год, в то время как в 1991 г. они достигали почти 135 млн т. Это объясняется тем, что основным потребителем бурых углей является электроэнергетика, где спрос на них длительное время не растет [34].

15.1. Коксование и полукоксование твердых топлив

В термолитических процессах полукоксования и коксования происходит перераспределение имеющихся в исходном топливе водорода и углерода с получением основных продуктов – обогащенного водородом газа и твердого продукта с повышенным содержанием углерода.

Коксованием называется разложение при высокой температуре без доступа воздуха твердых и жидких горючих ископаемых с образованием летучих веществ и твердого остатка – *кокса*. Последний представляет собой твердый пористый продукт серого цвета, содержащий 96–98% углерода, остальное – H, S, N, O. Кокс применяют для выплавки чугуна (доменный кокс) как высококачественное бездымное топливо, восстановитель железной руды, разрыхлитель шихтовых¹ материалов и т. д. Сырье для коксования – в основном каменный уголь, в значительно меньших масштабах перерабатывают другие горючие ископаемые, а также высококипящие остаточные продукты дистилляции нефти, каменноугольный пек и т. д.

Термическая переработка углей продолжительное время развивалась главным образом с целью производства металлургического кокса. Получаемую при этом в качестве побочного продукта высокотемпературную коксовую (например, каменноугольную) смолу применяли как сырье для химической промышленности, в строительстве, а также в небольших опытных масштабах в Великобритании (40–50-е гг. XX в.) – для выработки моторных топлив, что определяется трудностью гидрогенизации высокоароматизированной коксовой смолы.

Коксование каменного угля заключается в его переработке при 900–1100°C с целью получения каменноугольного кокса, коксового газа, каменноугольной смолы и других продуктов. Коксование осуществляется в раскаленных коксовых печах – горизонтальных аппа-

¹ *Шихта* (от нем. Schicht) – смесь исходных материалов, подлежащих переработке в металлургических, химических и других агрегатах.

ратах щелевидного типа. В зависимости от ширины камеры, влажности шихты и ее насыпной массы, а также температуры в простенках (обычно 1300–1370°C) нагревание шихты длится 14–18 ч. Для обогрева печей используют доменный, коксовый, генераторный и другие газы или их смеси. Коксование характеризуется одновременностью процессов, происходящих в отдельных слоях (слоевое коксование). Вследствие этого в коксуемом массиве длительно находятся одновременно слои кокса, полукокса, тестообразной пластической массы, сухой и влажный уголь.

Из 1 т угольной шихты получают 650–750 кг кокса, 340–350 м³ коксового газа (H₂ – 58–62% (об.), CH₄ – 24,5–26,5% (об.), а также этилен, пропилен, CO, CO₂, N₂, O₂), 30–40 кг смолы, 10–12 кг сырого бензола, 2,5–3,4 кг NH₃.

В состав каменноугольной смолы входит около 10 тыс. соединений, из которых выделено и идентифицировано более 480 (до 50% от общей массы), среди которых, например: нафталин – 8–12% (масс.), фенантрен – 4–5% (масс.), флуорантен – 1,6–3% (масс.), антрацен – 1–1,8% (масс.) и др.; всего из них в качестве товарных продуктов коксования производят около 250 химических веществ. Переработка каменноугольной смолы состоит в разделении ее на фракции ректификацией с последующей кристаллизацией, экстракцией и повторной ректификацией полученных фракций. Из всех содержащихся в каменноугольной смоле индивидуальных веществ наибольший интерес представляет нафталин.

Из фракций каменноугольной смолы (выход 30% от ее массы) или масел, полученных переработкой этих фракций, выделяют каменноугольные масла, вязкие жидкости от светло-желтого до темно-коричневого цвета с характерным фенольным запахом. Их используют для производства углеводородов: фенолов, нафталина, лаков, а также как топливо. На основе этих масел получают технические каменноугольные масла для производства технического углерода (сажи) и дорожных покрытий, консервирования древесины, тяжелых растворителей.

Технология коксования предусматривает переработку только определенной группы каменных углей (коксовых, жирных, отощенных, спекающихся), способных при нагревании переходить в пластичное состояние. Поскольку запасы и добыча этих типов углей ограничены, в состав шихты все в больших количествах начинают вводить слабоспекающиеся угли малой (газовые) и высокой степени

метаморфизма и даже тощие. При этом, чтобы не ухудшить качество (особенно прочность) кокса, технологию слоевого коксования несколько изменяют. В частности, получает распространение метод частичного брикетирования шихты перед коксованием. Примерно $1/3$ количества шихты, состоящей из слабоспекающихся углей, брикетируют со связующим нефтяного или каменноугольного происхождения и добавляют брикеты к остальной массе шихты, направляемой в угольную башню. Эта технология дает возможность снизить содержание в шихте спекающихся углей от 64% и более (требуемый уровень при обычной подготовке) до 50%. В некоторых странах шихту загружают в печи в виде трамбованных прочных угольных блоков плотностью 1,10–1,15 т/м, трамбование шихты осуществляют с помощью специального устройства, смонтированного на коксовыталькователе.

Эффективный метод совершенствования слоевого коксования шихты с большим содержанием слабоспекающихся компонентов заключается в том, что хорошо измельченную шихту сначала нагревают газообразным теплоносителем до 150–250°C и только после этого загружают в печи. Термическая подготовка шихты позволяет увеличить в ней долю газовых углей до 70–75%, повысить на 30–40% производительность печей (благодаря увеличению разовой загрузки шихты вследствие повышения ее насыпной массы от 0,7 до 0,85 т/м³ и сокращению длительности процесса на 1,5–2,0 ч), увеличить прочность кокса.

Принципиально новая технология непрерывного коксования — метод получения формованного кокса: скоростное нагревание шихты до пластичного состояния, формование под небольшим давлением с получением так называемых формовок и их последующее прокаливание в вертикальных печах. Метод дает возможность использовать слабоспекающиеся угли, получать кокс желаемых размеров и формы, снизить до минимума загрязнение окружающей среды и автоматизировать технологические операции.

Кроме метода коксования, существует другой способ термической переработки твердых горючих ископаемых, называемый *полукоксованием*, который заключается в нагревании сырья без доступа воздуха при 500–600°C (т. е. при температуре, примерно вдвое более низкой, чем температура коксования) с целью получения главным образом твердого остатка (полукокса), а также летучих продуктов. Сырье — обычно бурые угли и горючие сланцы, реже — каменные угли и торф.

Переработка углей при пониженных (полукоксование) по сравнению с коксованием температурах дает более высокий выход смолы, называемой первичной или полукоксовой. При получении моторных топлив последняя гораздо более пригодна как сырье, чем коксовая смола, для гидрооблагораживания (обработка водородом для удаления гетероатомов, а также уменьшения соотношения С : Н с целью приближения состава синтетических жидких топлив (СЖТ по технологиям CTL¹) к составу топлив нефтяного происхождения).

Полукокс – углеродсодержащий продукт пористостью 40–60% по объему, обладает высокой реакционной способностью, легко воспламеняется. Используют как энергетическое и бытовое бездымное топливо, а также для газификации с целью получения синтез-газа. Выход полукокса – 500–700 кг на 1 т сухого топлива. Летучие продукты полукоксования – первичная смола (100–220 кг и более) и первичный газ (80–200 м³) – выделяются на начальных стадиях, а также газовый бензин (6–10 кг) и подсмольная вода.

Первичная смола содержит парафиновые, олефиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, фенолы, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, асфальтены, сераорганические вещества и др. Ее применяют для получения жидких топлив и смазочных масел, бензола и толуола, лаков, красителей, клеев, пластических масс, антисептических средств (например, ихтиола), шпалопропиточного масла, искусственного горного воска, углещелочных реагентов, дубителей, дорожных битумов, электродного кокса и др.

Первичный газ – горючий газ, содержащий CH₄ – 18–50% (об.), олефины (главным образом этилен) – 8–18% (об.), H₂ – 14–19% (об.) и др. Применяется как отопительный газ на установках полукоксования и для коммунально-бытовых целей. Присутствующие в газе олефины могут быть использованы для получения спиртов, водород – в синтезе аммиака.

Газовый бензин – смесь низкокипящих ароматических (до 70% по массе), нафтоароматических и олефиновых углеводородов, остающихся в парообразном состоянии в первичном газе после конденсации из него первичной смолы и воды. Улавливается из первичного газа парафином или соляровым маслом. Используется как компонент высокооктановых бензинов.

Подсмольная вода образуется из влаги, содержащейся в исходном топливе, и пирогенетической воды. Это один из наиболее вредных

¹ CTL – Coal to Liquid(s) = уголь в жидкость(и).

видов промышленных сточных вод, основные компоненты: NH_3 , фенолы, карбоновые кислоты.

В 80-е гг. XX в. полукоксование углей и переработка смол (в основном используемых для выработки химических продуктов) сохранялись в мире лишь на единичных заводах (Мост, Чехословакия; Цейц, ГДР; Ангарск, СССР). Кроме того, в опытно-промышленных масштабах продолжалось изучение различных вариантов получения СЖТ с включением разных термических процессов. Например, в США в 70-е гг. XX в. на установках производительностью 3,6–300 т/сут углей были исследованы скоростной пиролиз и гидрогенизация смолы, гидропиролиз в псевдоожиженном слое, полукоксование во вращающихся ретортах с теплоносителями (фарфоровыми шарами), ступенчатое полукоксование с повышаемой от реактора к реактору температурой (полукокс использовался для производства водорода, а последний – для гидрогенизации смолы). В бывшем СССР были изучены (также на опытных установках) скоростной пиролиз, гидропиролиз и термодиффузионное коксование углей с последующей переработкой смол в СЖТ.

Первый патент на термическую переработку сланцев был выдан в Англии еще в 1694 г. В первой половине XIX в. на сланцеперерабатывающих заводах Великобритании, США, Австралии, Франции и Швеции вырабатывали ламповый (осветительный) керосин. Развитие добычи и переработки нефти сделало эти производства нерентабельными, и после Второй мировой войны предприятия в перечисленных странах были закрыты. Однако в России и КНР полукоксование сохраняется; в последние десятилетия небольшие предприятия начали функционировать вновь в США, а также пущены в Бразилии.

В настоящее время масштабы переработки сланцев ничтожны в сравнении с добычей и использованием нефти. Наиболее развита переработка сланцев в России и Эстонии, где их добыча составляет около 40 млн т/год; при этом только 1/5 их часть подвергается полукоксованию с выработкой 1,2–1,3 млн т/год смолы (большая часть сланцев используется как энергетическое топливо). Переработка сланцевой смолы ориентирована на получение большой гаммы химических продуктов: электродного кокса, масла для пропитки древесины, мягчителей резины, строительных мастик, а также СЖТ. В России освоены мощные генераторы с газовым теплоносителем производительностью по кусковому сланцу 1000 т/сут; проходит испытания установка полукоксования сланцевой мелочи с твердым теплоносителем.

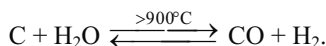
лем (сланцевой золой) производительностью 3000 т/сут. В США (штат Колорадо) в 80-е гг. XX в. работало опытное предприятие мощностью 10 тыс. баррелей в сутки (0,5 млн т/год) сланцевой смолы; в Бразилии аналогичное предприятие имеет мощность по сланцам около 0,8 млн т/год.

В перспективе полукоксование может стать одним из головных процессов комплексной энерготехнологической переработки твердых горючих ископаемых. В России на базе бурых углей Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса намечено создание энерготехнологических комбинатов (ЭТК) для производства жидкого топлива, полукокса, газа-восстановителя в металлургических процессах, строительных материалов, электроэнергии и т. д. ЭТК на основе горючих сланцев (главным образом в Ленинградской и Самарской областях) будут включать установки полукоксования в кипящем слое топлива мелких классов крупности, парокислородную газификацию полукокса и сланцевой пыли, а также полукоксование кускового топлива в мощных газогенераторах с получением химических продуктов, электроэнергии и водяного пара.

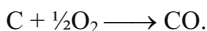
15.2. Газификация твердых топлив

Как было указано выше, для получения синтез-газа можно также использовать уголь или другие твердые топлива. Процесс превращения органической массы твердых топлив (углей, торфа, сланцев) в горючий газ, состоящий главным образом из CO и H₂, при высокой температуре (800–1600°C) в присутствии окислителя (газифицирующего агента) называется *газификацией*. Процесс проводится в газогенераторах, поэтому получаемые газы называются *генераторными*.

Газификация угля (при обработке угля водяным паром) протекает по реакции:



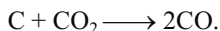
Эта реакция является эндотермической, равновесие сдвигается вправо при температурах 900–1000°C. Разработаны технологические процессы, использующие парокислородное дутье, при котором наряду с упомянутой реакцией протекает экзотермическая реакция сгорания угля, обеспечивающая нужный тепловой баланс:



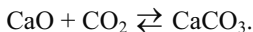
Газификация угля с получением синтез-газа и углеводов на его основе наиболее широко используется в Южно-Африканской Республике (ЮАР) компанией «Sasol», на трех заводах которой расход угля на эти цели достигает 36 млн т/год и вырабатывается до 4,5 млн т/год различных углеводородных продуктов.

В промышленности используются газогенераторы трех основных типов, различающиеся характером взаимодействия твердого топлива с дутьем. Интенсивность процессов в газогенераторе оценивается удельным расходом газифицируемого топлива или его расходом на единицу площади аппарата в единицу времени. Данные процессы различаются способом подачи парокислородной смеси и другими параметрами.

Наряду с усовершенствованием описанных типов газогенераторов, заключающемся, в частности, в применении повышенного давления (в газогенераторах «Lurgi» до 10 МПа, в других – 3–4 МПа), разрабатываются новые, более экономичные и производительные агрегаты. Например, интересна схема газификации, в которой окислителем служит CO_2 :



Для компенсации эндотермического эффекта этого процесса используется промежуточная реакция:



Образовавшийся CaCO_3 направляется в специальный реактор, где благодаря теплу, выделяющемуся при сгорании топлива, разлагается на CaO и CO_2 , которые вновь поступают в газогенератор. Достоинства метода: не требуется дорогостоящий кислород (O_2); сжигание топлива в воздухе (при разложении CaCO_3) происходит вне газогенератора, поэтому получаемый газ не содержит азот (N_2) и имеет высокую теплоту сгорания. Недостаток: необходимость сепарации и циркуляции твердых горючих реагентов (CaO и CaCO_3), что приводит к усложнению и возрастанию стоимости установки. Разрабатываются также процессы газификации с использованием тепла, получаемого от ядерных реакторов и передаваемого газообразным или твердым теплоносителем, в расплаве железа (Fe) и др.

В нашей стране газификация различных твердых топлив была распространена достаточно широко лишь до 60-х гг. XX в., затем вследствие быстрого роста добычи природного газа и организации

общесоюзной сети газоснабжения применять газификацию практически перестали.

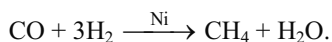
В последний период в связи с необходимостью экономии углеродородных топлив интерес к газификации возрос. В отличие от таких процессов термической переработки твердых топлив, как коксование и полукоксование, при газификации в газ превращаются обычно до 80% органической массы. К достоинствам газификации следует отнести также и то, что низкокачественные твердые топлива, содержащие много балласта (минеральные компоненты, влага), превращаются в топливо, при сжигании которого выделяется незначительное количество соединений, загрязняющих окружающую среду.

В настоящее время широкая производственная реализация газификации твердых топлив (углей) будет определяться в первую очередь эффективностью начальной стадии газификации углей.

В середине 80-х гг. XX в. в промышленном масштабе в мире действовало несколько сотен газогенераторов различных типов, многие из которых совершенствуются в основном путем применения повышенных давлений и температур. В крупных опытно-промышленных масштабах испытываются нетрадиционные методы газификации (в присутствии катализаторов, в комплексе с атомными реакторами, в расплавах железа или солей и др.); многие новые конструкции газогенераторов опробываются в составе небольших предприятий по производству аммиака, уксусного ангидрида, а также в составе ТЭЦ.

Применение CO и H₂ в производстве метанола и других органических веществ открывает более широкий путь использования различных видов горючих ископаемых (уголь, сланцы, торф и др.), а также возобновляемого растительного сырья. Потребление нефти и природных газов при получении моторных топлив и других органических энергоносителей должно быть сведено к минимуму. В противном случае расхитительное потребление природных богатств Земли может привести к необратимым отрицательным экологическим и техногенным последствиям.

В 1902 г. французский химик П. Сабатье (Sabatier) открыл реакцию метанирования. Этот процесс заключается во взаимодействии CO и H₂ при температурах 200–300°C на никелевом катализаторе с получением метана:



Процесс метанирования разрабатывался для получения бытового газа из угля, который предвательно подвергают газификации.

Соотношение $\text{CO} : \text{H}_2$ существенно зависит от применяемого способа получения синтез-газа. При газификации угля и парциальном окислении это соотношение близко к 1 : 1, тогда как при конверсии метана соотношение $\text{CO} : \text{H}_2$ составляет 1 : 3. В настоящее время разрабатываются проекты подземной газификации, т. е. газификации угля непосредственно на пласте.

15.2.1. Подземная газификация твердых топлив

Превращение твердых топлив (угля, горючих сланцев) непосредственно на месте их залегания в недрах земной коры в горючий газ, который выводят на поверхность через буровые скважины, называется *подземной газификацией*.

В промышленном масштабе осуществлена подземная газификация угля. Идея ее была предложена Д. И. Менделеевым (в 1888 г.), который писал: *«...настанет, вероятно, со временем даже такая эпоха, что угля из земли вынимать не будут, а там в земле его сумеют превращать в горючие газы...»*; позднее (в 1912 г.) эту же идею высказал английский химик и физик У. Рэмзи (Ramsay).

Подземная газификация угля осуществляется под действием высокой температуры (1000–2000°C) и подаваемого под давлением дутья окислителя (как правило, воздуха, O_2 и водяного пара, реже – CO_2). Для подвода дутья и отвода газа газификацию проводят в скважинах, расположенных в определенном порядке и образующих так называемый подземный генератор. В нем идут те же химические реакции, что и в обычных газогенераторах. Однако условия подземной газификации специфичны. Вмещающие пласт топлива горные породы представляют собой своеобразные стенки реактора и одновременно материал, заполняющий выгазованное пространство. В газификации участвуют подземные воды, а также влага угля и горных пород.

Существует несколько методов подземной газификации угля. Основой ее практической реализации явился предложенный в СССР (1933–1934) и впоследствии развитый (1945–1948) поточный метод газификации в целике пласта топлива. Метод состоит в газификации пласта в искусственно созданном канале (так называемом канале газификации) с регулируемым расходом дутья и газа. В эксплуатации могут находиться сразу несколько таких каналов. В соответствии с горно-геологическими условиями до встречи с пластом бурят верти-

кальные, наклонные и криволинейные скважины, обсаживаемые трубами, причем затрубное пространство цементируют. Для соединения (сбойки) скважин между собой используют следующие способы: фильтрационный, электрический, а также бурение скважин по угольному пласту с последующим расширением созданных щелей гидро-разрыва или каналов посредством выжигания угля.

Помимо поточного метода, известен метод газификации, который базируется на использовании природных трещин и пор угольного пласта. Данный метод не нашел применения из-за малой и неравномерной проницаемости большинства пластов твердых топлив, повышенных расходов энергии и потерь дутья и газа, особенно при обрушении кровли над выгзованным пространством.

Газ, производимый путем подземной газификации угля, применяют для энергетических нужд (в основном как котельное топливо). Себестоимость газа (в пересчете на условное топливо) ниже себестоимости угля, добываемого шахтным способом, и выше себестоимости угля открытой добычи. Техничко-экономические показатели подземной газификации угля определяются масштабами производства газа. При подземной газификации отпадает необходимость в труде людей под землей, улучшаются его условия и состояние воздушного бассейна, не нарушается плодородный слой почвы. Однако газ, полученный на воздушном дутье, по теплотехническим свойствам существенно уступает природному.

Освоенность процесса на воздушном дутье и глубиной до 250–300 м открывает перспективу подземной газификации угля при повышенном давлении и на парокислородном дутье с получением газа, содержащего значительные количества CH_4 и других горючих компонентов.

Дальнейшее развитие при определенных условиях (малая глубина залегания, наличие небольших количеств минеральных примесей и т. д.) получают также исследования в области подземной газификации горючих сланцев.

15.3. Процесс прямой гидрогенизации углей

Деструктивной гидрогенизацией называется переработка бедных водородом низкосортных топлив (каменных и бурых углей, сланцев, каменноугольной смолы, мазутов) с целью превращения их в обогащенные водородом топлива и масла или в сырье, пригодное для дальнейшей переработки. В процессах гидрогенизации угля происходит

присоединение к органической массе угля водорода, так, чтобы соотношение «углерод : водород» (показатель $[C : H]$) уменьшилось до величины, характерной для жидких топлив (см. п. 15.4). В результате ожижения путем прямой гидрогенизации получается так называемая угольная нефть, выход которой составляет до 60–65% от органической массы угля (в случае термической переработки общий выход жидких продуктов составляет не более 20%). Гидрогенизацию проводят при 400–560°C и давлении H_2 20–70 МПа в присутствии катализаторов, содержащих железо, молибден, никель или вольфрам, в две или три стадии в зависимости от характера перерабатываемого сырья. Для сланцев данное направление практически нецелесообразно, так как золы в них значительно больше, чем органических веществ.

Принципиальные основы химии и технологии гидрогенизации органических веществ и угля под давлением водорода были разработаны еще в начале XX в. известными российскими и немецкими учеными В. Н. Ипатьевым, Н. Д. Зелинским, Ф. Бергиусом (Bergius) и Ф. Фишером (Fischer). Первая крупная установка для получения бензина из бурого угля (100 тыс. т/год по бензину) была введена в Германии в 1927 г. В 30–40-х гг. XX в. крупные установки работали также в Великобритании, СССР и северной части Кореи. Наибольшее развитие гидрогенизация получила в Германии, где были сооружены шесть заводов общей мощностью 2,5 млн т/год. Следует отметить, что в период Второй мировой войны 95% от общего объема авиационного бензина Германии были получены за счет процесса гидрогенизации угля (процесс Бергиуса – Нобелевская премия в области химии в 1931 г.).

В последние годы во многих странах мира продолжают проводиться научно-исследовательские и опытно-промышленные работы по совершенствованию технологий и улучшению показателей отдельных стадий разрабатываемых процессов переработки угля и продуктов ожижения, что значительно повышает эффективность метода в целом. Исследования по гидрогенизации углей в настоящее время широко проводятся в Австралии, Великобритании, Германии, Индонезии, Испании, Китае, Колумбии, Пакистане, США, ЮАР и Японии.

В Германии фирмами «Veba Oil», «Ruhrkohle», «Saarbergwerke» и другими разработана и проверена в условиях опытно-промышленных установок (производительностью по сырью до 200 т/сут) «новая немецкая технология» гидрогенизации угля под давлением 20,0–30,0 МПа, в которой по сравнению с промышленным процессом 40-х гг. XX в. усовершенствованы стадии подготовки угля, переработки про-

дуктов ожижения, в том числе с применением процесса гидропиролиза для переработки твердых остатков. На опытно-промышленном предприятии в г. Боттропе переработано в жидкие продукты более 350 тыс. т углей различных месторождений Германии, а также опробованы угли месторождений США и Австралии. Разработаны технические проекты для получения 1,0–3,0 млн т моторных топлив и химических продуктов из угля в год.

В США фирмами «ExxonMobil Corp.», «Gulf Oil Corp.», «Pittsburgh and Midway Coal Mining» и другими отработана технология гидрогенизации угля под давлением 20,0 МПа с рециркулирующим пастообразователем-донором водорода в присутствии суспензированного Al-Co-Mo-катализатора (процесс SRC), а также модификация процесса H-Oil – процесс H-Coal, реализованного фирмой «Hydrocarbon Research», некаталитический процесс EDS и др.

Наиболее интенсивно работы по созданию новых технологий гидрогенизации в последние годы проводятся в Японии, где в рамках государственной программы фирмой «Nippon Coal Oil Co.» и корпорацией «NEDO» сооружена и начата успешная эксплуатация опытно-промышленной установки производительностью 150 т угля в сутки (г. Кашима). Процесс осуществляется под давлением 17,0–19,0 МПа с применением железосодержащего катализатора (3,0–5,0% в расчете на сырье).

Совместные работы с Японией по созданию промышленных установок гидрогенизации углей проводятся в Индонезии, Австралии и Китае. В качестве катализаторов, в частности, там используются натуральный и синтетический пирит (FeS_2), а также Fe_2O_3 . Процесс гидрогенизации бурого угля из Австралии, Японии и суббитуминозного¹ угля из Индонезии предложено осуществлять в двух реакционных стадиях: на первой – при 380–420°C происходит глубокое превращение углей в жидкие высокомолекулярные соединения, а на второй стадии – окончательная гидрогенизация (стабилизация водородом) при температуре 450–460°C. При этом увеличивается выход жидких дистиллятных продуктов и снижается газообразование.

Процессы прямого ожижения (гидрогенизации) углей при высоких давлениях водорода (более 20 МПа), обладая универсальностью

¹ Данные угли являются весьма благоприятным сырьем для переработки в жидкие продукты, так как содержат мало золы, значительное количество водорода и умеренное – кислорода.

по получаемым продуктам, многостадийны¹ и требуют сложного оборудования, что определяет высокие удельные капиталовложения в сооружение соответствующих промышленных установок.

В последние годы в России разработана экономически эффективная перспективная универсальная технология переработки угля методом гидрогенизации под невысоким давлением водорода 6–10 МПа, вместо 20–30 МПа в зарубежных процессах, позволяющая рентабельно производить из бурых и низкосортных каменных углей высококачественный бензин, дизельное и реактивное топливо, фенолы, бензол, ксилолы и другие продукты углехимии. Снижение давления до 10 МПа позволит повысить безопасность производства и уменьшить капиталовложения и эксплуатационные расходы (примерно в 5 раз по сравнению с давлением 30 МПа), использовать существующую машиностроительную базу для создания основных агрегатов и комплектных линий большой единичной мощности и применять выпускаемые отечественной промышленностью емкости, трубопроводы, компрессоры и другое оборудование. Кроме того, превосходство российской технологии над зарубежными определяется также высокоскоростной сушкой угля в вихревых камерах, разработанных отечественными учеными, по сравнению с барабанными сушилками, применяемыми ранее, снижает удельные капвложения в термообработку угля в 22 раза. Регенерируемый катализатор (наночастицы солей некоторых металлов) с учетом отечественного ноу-хау его применения по активности оказывается многократно выше, чем соединения железа в зарубежной технологии.

Практика строительства, изготовления и опытно-промышленной эксплуатации оборудования завода СТ-5 при шахте Бельковская ОАО «Тулауголь» еще в 1986–1992 гг. доказала техническую возможность и высокую экономическую эффективность производства. Из 3 т каменного угля или 5,5 т бурого угля дешевых марок тогда получалась одна тонна моторного топлива. Ныне доработанная технология обеспечивает расчетную выходную цену светлой синтетической нефти при рентабельности 15% не выше 100 долл. США за тонну. При пересчете на баррель выходная цена с завода составляет 15–16 долл. При этом важно добавить, что ожижение углей на месте добычи исключает перевозку сырья.

Технология гидрогенизации требует использования энергоисточника, обеспечивающего производство тепла довольно высокой тем-

¹ При проведении процесса в одну стадию требуется большой расход водорода и применение дорогих катализаторов.

пературы – до 500–550°C. Наиболее распространенная в настоящее время реакторная технология – реакторы с водой под давлением (кипящие и некипящие) могут вырабатывать тепло на уровне 300°C. Ядерные реакторы с гелиевым охлаждением генерируют тепло с температурой до 750–800°C. Именно этот тип реактора был использован для энергообеспечения процесса газификации угля¹ (реактор Peach-Botton в 60-е гг. XX в. в США), что является первым прецедентом совмещения в едином комплексе химической и ядерной технологий. Однако новое поколение указанных реакторов пока находится в стадии разработки. Анализ показывает, что наиболее подходящими для процесса гидрогенизации по термодинамическим параметрам являются ядерные энергетические установки (ЯЭУ) с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением.

Наиболее существенное повышение эффективности переработки угля может быть достигнуто при использовании высоконадежных экологически безопасных ядерных реакторов типа БН в составе промышленного комплекса для энергообеспечения и интенсификации технологического процесса получения синтетического жидкого топлива (СЖТ). Это позволит резко улучшить экологическую обстановку в районе добычи и переработки углей.

Институтом горючих ископаемых (ИГИ, г. Москва) и ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт» (ФЭИ, г. Обнинск) совместно с другими организациями ведутся совместные работы по созданию типового атомного энерготехнологического комплекса (АЭТК) экологически чистого производства синтетического моторного топлива производительностью 500 тыс. т/год и более. Главной особенностью предлагаемой новой технологии является ее высокая экономическая эффективность, отличающаяся от соответствующих разработок, выполненных в США, Японии, Великобритании и других странах в последнее время. Кроме того, при ее реализации имеется возможность получения жидкого топлива из угля прямой гидрогенизацией по конкурентоспособным ценам в сравнении с производством их из нефтяного сырья.

Создатели АЭТК считают, что на обозримую перспективу может получить развитие не водородная (см. пп. 6.1.2), а углеводородная

¹ По сравнению с газификацией и последующим синтезом моторных топлив из синтез-газа гидрогенизация энергетически выгоднее, поскольку большая доля теплосодержания сырья переходит в целевой продукт: 58 и 52% вместо 44–52 и 45–50% в случае соответственно каменного и бурого углей.

энерготехнология, основу которой составит гидрогенизация углеводородного сырья, в частности углей.

Экономическая целесообразность производства жидкого топлива из углей определяется достаточными запасами угля, экологически приемлемым уровнем загрязнения окружающей среды и коммерческой эффективностью, сопоставимой с перегонкой нефти. Себестоимость полученных таким способом индивидуальных углеводородов в настоящее время превышает аналогичные показатели при их производстве из нефти. Однако с истощением запасов нефти и ростом ее стоимости, а также с учетом значительности запасов каменного угля гидрогенизация кажется весьма перспективной.

15.4. Прогноз возможностей использования угольного сырья по различным направлениям

Для того чтобы сделать вывод о целесообразности и эффективности использования угольного сырья по различным направлениям: получение электроэнергии, производство моторного топлива, химический синтез, следует рассчитывать для каждого направления затраты энергии на целевую продукцию, т. е. *энергетический КПД*.

При превращении в бензин энергетический КПД нефти 90%, а угля 55%. Если учесть, что КПД двигателей с принудительным воспламенением 25%, получается следующая конечная эффективность применения этих топлив в автомобилях: нефть – 22,5%, уголь – 13,8%.

Однако в производстве электроэнергии и уголь, и нефть по энергетическому КПД эквивалентны друг другу – 35% и для мазута, и для порошкообразного угля. Таким образом, использование угольного сырья наиболее эффективно именно в этой области, а не в какой-либо иной.

Химическая промышленность – последняя в очереди по переходу к угольному сырью. Энергетический КПД производства, например, этилена (это ключевой продукт современной нефтехимии) из нефти 84%, а из угля – 42%.

Дело в том, что нефтяное сырье отличается от угля фундаментальным для химической переработки отношением числа атомов углерода к числу атомов водорода $[C:H]$. Так, для нефтей показатель $[C:H]$ составляет около 0,83, а для углей – порядка 1,43. Для бензина, который получают прямой перегонкой нефти, это отношение равно 0,5, а для каменноугольной смолы – 1,5. Этилен, для которого это отношение более 1, эффективно производится почти исключительно из нефтяного сырья, а химические продукты с $[C:H] > 1$ – из камен-

ноугольной смолы. Для бензола $[C : H] = 1$, поэтому получение его из угольного и нефтяного сырья одинаково эффективно.

Основываясь на энергетических КПД, замену нефти на уголь целесообразно вести по принципу наименьших потерь энергии. При общем дефиците энергии минимальный ее расход будет там, где энергетические КПД использования угля и нефти одинаковы, т. е. в производстве электроэнергии.

Если это не улучшит нефтяной баланс, придется последовательно заменять нефть и в тех областях, где использование угля вызывает все большие расходы энергии на его реакции в целевую продукцию. Энергетический КПД превращения угля в моторное топливо на 35% ниже, чем у нефти, в этилен – на 42% ниже. Таким образом, порядок уменьшения использования нефти по мере ее удорожания и сокращения ресурсов представляется таким: уголь замещает нефть прежде всего в производстве электроэнергии, затем – в производстве моторных топлив, в последнюю очередь – в производстве химических продуктов.

С каждым последовательно оставляемым рубежом затраты на замену нефти углем будут расти (по мере перехода от производства электроэнергии к производству химической продукции).

Существующие технологии производства синтетического топлива из угля и газа, во-первых, требуют дополнительных объемов добычи угля и газа, которые нужны сами по себе, и, во-вторых, значительных производственных инвестиций, что в итоге оказывается проблемой для масштабного производства. Так, прогноз производства жидкого топлива из угля (CTL) на 2030 г. составляет 1,1 млн баррелей в сутки (около 65 млн т / год) и из газа (GTL) – 0,4 (около 23 млн т / год).

Контрольные вопросы

1. Каковы перспективы развития процессов полукоксования твердых горючих ископаемых?
2. С чем связан возникший в настоящее время интерес к газификации твердого топлива?
3. Каковы преимущества использования подземной газификации твердых топлив?
4. Какие перспективные технологии переработки угля методом гидрогенизации разработаны в России в последние годы?
5. В чем заключается сущность понятия «энергетический КПД»?
6. Каким образом можно определить, какие продукты эффективнее производить из нефтяного сырья, а какие – из твердых горючих ископаемых?

ГЛАВА 16

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ СИНТЕЗА АММИАКА И ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

16.1. Горно-химическое сырье

Большую роль в развитии мировой экономики играют неметаллические полезные ископаемые. Они широко используются в строительной индустрии, агропромышленном, агрохимическом, металлургическом комплексах и обеспечении экологической безопасности. В мире растет потребление агрохимического сырья, обеспечивающего стабильные урожаи всех сельскохозяйственных культур. По объему наиболее важным среди них является фосфатное и калийное сырье. В настоящее время ежегодно производится более 170 млн т концентратов фосфорных руд, которые содержат 55–60 млн т P_2O_5 . Около половины этого количества приходится на долю США (45 млн т) и России (35 млн т). Крупными производителями и экспортерами фосфатного сырья являются также страны Северной Африки (Марокко, Тунис, Алжир, Египет), Ирак, Иран и остров Рождества в Тихом океане.

Помимо фосфоритовых и апатитовых руд для приготовления удобрений широко используют шлаки (отходы) металлургической переработки фосфоритовых железных и марганцевых руд. На поля Западной Европы ежегодно вносится около 9 млн т таких шлаков. Многие страны и даже континенты (Западная Европа, Англия, Канада, Япония, Австралия, Индия) практически лишены этого вида минерального сырья и вынуждены импортировать его во все возрастающих объемах. Добыча и потребление фосфатов – наиболее динамично развивающаяся отрасль мирового хозяйства. Общий объем получаемых концентратов удваивается через каждые 10–15 лет. С 1937 г. отмечено пятикратное возрастание объемов добычи фосфатного сырья.

Вторым по значению и объему добычи агрохимическим видом сырья являются калийные соли. В мире ежегодно из них производят 17–20 млн т K_2O , из которых 95% используется для приготовления удобрений. Лидерство в калийной индустрии занимают пять стран: Канада, Германия, Россия, Франция и США, на долю которых приходится почти 85% мировой добычи этого вида сырья.

Химическая промышленность России в качестве горно-химического сырья в настоящее время использует фосфатное, калийное, карбонатное сырье и поваренную соль.

Балансовые запасы фосфатных руд в России, учтенные на 44 месторождениях по категории А + В + С₁, составляют 877 млн т в пересчете на 100% Р₂О₅, из них на долю апатитовых руд приходится 76%, а фосфоритовых – 24%. Из общего объема балансовых запасов фосфатного сырья в России в настоящее время разрабатывается немногим более 40%, к освоению подготовлено 14%, а доля резервных разведанных месторождений составляет около 40%. Фосфатная промышленность России, имеющая на своей территории крупнейшего производителя фосфатного сырья (АО «Апатит»), может полностью обеспечить фосфатным сырьем заводы, производящие фосфорные удобрения.

Калийные соли являются важнейшим сырьем для производства калийных удобрений. Кроме основного назначения – производства минеральных удобрений – калийные соли используются в промышленности для получения более 30 видов химических продуктов, где основной составной частью является калий. Обеспеченность России подтвержденными запасами калийных солей составляет более 100 лет.

16.2. Научно-технический прогресс в области синтеза аммиака

Аммиак (NH₃) применяют в производстве азотной кислоты (HNO₃), мочевины ((NH₂)₂CO), нитрата аммония (NH₄NO₃), карбоната аммония ((NH₄)₂CO₃), сульфата аммония (NH₄)₂SO₄, а также аммофоса, уротропина как жидкое удобрение, в качестве хладагента. Аммиак выпускается в жидком виде либо в виде 25%-ного водного раствора – аммиачной воды. Жидкий аммиак можно перевозить в стальных баллонах, железнодорожных и автомобильных цистернах, по воде – в специальных танкерах, а также транспортировать по трубопроводам.

В настоящее время в связи с увеличением потребления минеральных удобрений сельским хозяйством спрос на аммиак в мире растет. Ежегодное его мировое производство достигает 150–175 млн т/год (в 1982 г. около 89 млн т/год). Доля России на мировом рынке производства аммиака составляет около 8%. Отечественная продукция направляется в основном в США (наибольший мировой импортер), Западную и Восточную Европу, Африку, а также в страны Среднего Востока. Потребность в импорте будет возрастать и в дальнейшем по причине закрытия заводов, производящих аммиак, во многих странах

Америки и Европы, что связано с высокими ценами на сырье. Потребителям дешевле покупать аммиак на Ближнем Востоке и в СНГ, нежели производить его на месте. Мировые производственные мощности постоянно расширяются, например за счет введения в эксплуатацию в 2009 г. заводов мощностью 1,5 млн т/год в Тринидаде и Тобаго, 1,1 млн т/год в Алжире, а в 2010 г. мощностью 1 млн т/год в Катаре, а также в Китае.

Спрос на аммиак коррелирует с глобальным спросом на удобрения. Например, в 2014 г. около 77% потребляемого во всем мире аммиака было использовано в производстве удобрений. При этом более 60% пришлось на производство карбамида, около 10% – на производство аммиачной селитры и 9% – на производство MAP/DAP¹ (моноаммонийфосфат/диаммонийфосфат, см. п. 16.3).

Мировой спрос на аммиак в период 2000–2012 гг. вырос на 30,8 млн т, то есть рынок рос в среднем на 2% год. С 2016 по 2025 г. мировое потребление аммиака может вырасти на 20 млн т, рост примерно на 1,2% ежегодно.

В 2015 г. примерно половина всего аммиака потреблялась в Азии, причем около трети – в Китае. Вторым по объемам рынком остаются США (18 млн т), далее идут Индия (17 млн т), Россия (11,5 млн т) и Индонезия (5,5 млн т). Таким образом, перечисленные выше страны потребляют около двух третей потребляемого в мире аммиака.

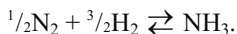
Баланс мирового рынка аммиака практически не меняется: потребление на 90% продолжает обеспечиваться внутренним производством, а доля мировой торговли составляет соответственно 10% (около 20 млн т). Крупнейшими нетто-экспортерами являются Тринидад и Тобаго, Россия и Индонезия, а крупнейшими нетто-импортерами – США, Индия и Южная Корея.

Китайский рынок аммиака сегодня является практически профицитным: ожидается, что китайские мощности не будут загружены больше чем на 60%, общий уровень недоиспользованных мощностей в Китае в 2016 г. составил 40 млн т аммиака в год¹.

Чистый аммиак впервые был получен английским ученым Дж. Пристли (Priestley) в 1774 г.

В настоящее время основной промышленный способ получения аммиака – синтез из элементов: азота и водорода, предложенный в 1908 г. немецким химиком Ф. Габером (Haber), по реакции:

¹ The Chemical Journal. 2016. № 3. С. 38–41.



Сдвигу равновесия вправо способствуют повышение давления и понижение температуры. Тепловой эффект реакции при 29,4 МПа составляет 52,38 кДж/моль при 500°C и 51,29 кДж/моль при 400°C (с учетом теплоты смешения газов). Процесс проводят в присутствии Fe в качестве катализатора, активированного K₂O, Al₂O₃, CaO и др. Каталитические яды – сернистые и кислородсодержащие соединения.

Способы производства синтетического аммиака различаются по применяемому давлению: системы низкого (~10 МПа), среднего (25–30 МПа) и высокого (50–100 МПа) давления. В нашей стране и в мировой практике наиболее распространены системы среднего давления (30 МПа и 500°C).

При давлении около 30 МПа и температуре около 500°C равновесная концентрация аммиака в газовой смеси составляет примерно 30%. Однако равновесие на выходе из колонны синтеза, как правило, не достигается, поскольку с целью увеличения производительности единицы объема катализатора процесс проводят при высоких объемных скоростях (около 15 000 ч⁻¹). Поэтому при однократном прохождении через массу катализатора возможно превращение в аммиак лишь 15–25% исходной газовой смеси. Для полного превращения необходима многократная циркуляция, которую осуществляют с помощью компрессора. В цикл непрерывно вводят свежую газовую смесь взамен пошедшей на образование аммиака.

Основное сырье (90%) для получения водорода (H₂) в производстве аммиака – природный газ, перерабатываемый в основном методом двухступенчатой паровой конверсии; незначительную долю (менее 10%) составляет коксовый газ и электролитический водород (см. пп. 6.1.2 и п. 14.2). Мощность установок по производству аммиака из природного газа 200 и 420 тыс. т/год.

Таким образом, на данный момент основным конкурентным преимуществом российских производств аммиака является сравнительно дешевый природный газ. Показатель потребления природного газа является одним из важнейших факторов, определяющих рентабельность производства аммиака. Например, в России на одну тонну аммиака расходуется 1300 м³ природного газа, а в зарубежных странах – 800 м³. Зачастую высокое потребление природного газа связано с тем, что большинство российских агрегатов являются устаревшими и значительно уступают используемым в передовых странах по энерго- и ма-

териалоёмкости (в среднем на 20–25%) и экологическим требованиям. Этот факт говорит о том, что без модернизации существующих производств, ввиду вероятного роста цен на исходное сырьё, себестоимость аммиака существенно возрастет.

В последние годы на большинстве предприятий проводятся работы по реконструкции и модернизации производств, в результате которых расход природного газа и электроэнергии снижается.

Производство аммиака в агрегатах мощностью 1360 т/сут осуществляется в одной технологической линии и включает следующие стадии:

1) очистку природного газа от сернистых соединений каталитическим гидрированием их до H_2S с последующим его поглощением ZnO ;

2) паровую конверсию природного газа под давлением 3,8 МПа при 860°C на Ni-Al-катализаторе в трубчатой печи (первичный риформинг);

3) паровоздушную конверсию остаточного метана в шахтном конверторе (вторичный риформинг) при $990\text{--}1000^\circ\text{C}$ и 3,3 МПа, на Ni-Al-катализаторе; на этом этапе водород обогащается азотом воздуха для получения смеси состава $\text{H}_2 : \text{N}_2 = 3$, поступающей на синтез NH_3 ;

4) конверсию CO до CO_2 и H_2 сначала при 450°C и 3,1 МПа на Fe-Cr-катализаторе, затем при $200\text{--}260^\circ\text{C}$ и 3,0 МПа на Zn-Cr-Cu-катализаторе;

5) очистку H_2 от CO_2 абсорбцией раствором моноэтаноламина или горячим раствором K_2CO_3 при 2,8 МПа;

6) очистку газа путем гидрирования от остаточных CO и CO_2 в присутствии Ni-Al-соединений при 280°C и 2,6 МПа;

7) компримирование очищенного газа до 30 МПа и синтез аммиака на железном промотированном катализаторе при $420\text{--}500^\circ\text{C}$.

Выше представлена традиционная современная технологическая линия получения аммиака, в связи с которой следует отметить, что именно история развития технологии получения этого крупнотоннажного продукта (а точнее, экономические аспекты технологии) побудила к созданию концепции предельно эффективной технологии (ПЭТ) (см. п. 4.4).

Со времени пуска первых установок по производству аммиака, т. е. примерно с 1935 г., при переходе от одного способа производства этого продукта к другому с течением времени удельные затраты на производство снижались. Для получения сопоставимых по годам величин себестоимость тонны аммиака рассчитывалась в одинаковых ценах.

Кроме того, в текущих издержках производства аммиака учитывались затраты на добычу первичного сырья. После всех этих операций данные наносились на график, изображенный на рис. 1 (см. п. 2.1).

Производство аммиака характеризуется двумя резкими снижениями себестоимости. В середине 50-х гг. XX в. произошел массовый переход на использование сырья, получаемого конверсией природного газа в реакторах шахтного типа. До этого применялось сырье, получаемое в процессах газификации угля. В 60-х гг. XX в. началось внедрение новой технологии, основанной на паровом риформинге метана. Каждый раз после внедрения процессы совершенствовались по всей цепочке – от сырья до конечного продукта, и себестоимость аммиака снижалась до некоторого предела.

Для компримирования очищенного газа, подаваемого в колонну синтеза (седьмая стадия производства аммиака), для агрегата, производящего 1360 т NH_3 в сутки, требуется мощный четырехступенчатый компрессор с номинальной мощностью 32 МВт. Турбина этого компрессора производит, а компрессор потребляет наибольшее количество механической энергии.

В настоящее время, чтобы сократить производство механической энергии и производство пара в рамках концепции энергосбережения и уменьшения инвестиций, предлагаются новые схемы синтеза, в частности каскадный синтез аммиака при низком давлении. Энергопотребление является одним из важнейших параметров, определяющих рентабельность производства аммиака. В течение времени производителями ведутся работы по модернизации производства, которые в том числе ведут к снижению энергозатрат. По данным Института катализа им. Г. К. Борескова Сибирского отделения РАН, в России с 60-х гг. XX в. энергопотребление при производстве аммиака снизилось на 29%.

В настоящее время существуют различные технологические решения, предложенные различными лицензиарами для усовершенствования процесса синтеза аммиака. Разработкой технологий синтеза аммиака занимаются фирмы: «Ammonia Casale» (Италия), «Haldor Topsø» (Дания), «ICI» (Великобритания), «Kellogg Brown & Root» («KBR», США), «Linde» (Германия), «Lurgi» (Германия) и др.

Разработанная «Ammonia Casale» радиальная колонна синтеза аммиака предусматривает уменьшение давления синтеза (на 30%) и энергопотребления, а радиальная насадка колонны синтеза, предложенная «Haldor Topsø», позволяет увеличить конверсию до 40% и снизить перепад давления до 60%.

Один из методов повышения производительности установки риформинга без увеличения ее размеров заключается в использовании установки предриформинга. Это хорошо отработанная технология, впервые примененная компанией «British Gas» под названием «Каталитическое обогащение газа» при производстве бытового газа из лигроина в 60-х гг. XX в. Предриформинг позволяет снизить соотношение пар/газ, улучшить показатели сероочистки, достичь экономии топлива на 5–10% и повысить мощность собственно риформинга на 15–25%.

Использование предриформинга предлагает, в частности, «Haldor Торсøе» (процесс Low Energy), где традиционная схема синтеза дополнена оптимизированными стадиями. Фирма «ICI» предлагает процессы: AMV (давление синтеза 8–11 МПа) и LCA (давление синтеза 8 МПа); в последнем используется первичный риформинг с газовым обогревом.

Некоторые технологии связаны с уменьшением нормы загрузки катализатора (процесс LAC фирмы «Linde», где общее количество катализатора снижено в 2 раза) или используют новые катализаторы синтеза, в частности вместо традиционного железного применяется рутениевый (процесс КААР/KRES фирмы «Kellogg Brown & Root»). Кроме того, процесс КААР/KRES (давление синтеза 9 МПа), а также процесс Megammonia компании «Lurgi» (давление синтеза 20 МПа) организованы без первичного риформинга.

В 2016 г. в Республике Татарстан на площадке завода по производству минеральных удобрений ООО «Менделеевсказот» по проекту компании «Haldor Торсøе» был построен новый комплекс «Аммоний» (АО «Аммоний»). Сборку технологических линий обеспечил консорциум из японских компаний «Mitsubishi Heavy Industries» («МНН»), «Sojitz Corp.» и китайской компании «China National Chemical Engineering Co.».

Завод будет выпускать 2050 т аммиака и до 680 т метанола в сутки. Потребителями метанола станут нефтехимические предприятия Татарстана, например ПАО «Нижнекамскнефтехим». Из аммиака для сельского хозяйства планируют производить карбамид и аммиачную селитру. Выпущенные на заводе азотные удобрения будут продавать в России (30%) и в странах СНГ, Европы и Северной Америки (70%).

Согласно исследованию Академии конъюнктуры промышленных рынков, в ближайшие годы растущий спрос на мировом рынке будет способствовать дальнейшему росту объемов экспорта российского

аммиака. При этом новые мощности, вводимые в первую очередь на Ближнем Востоке, составят серьезную конкуренцию российским производителям. Здесь именно совершенствование технологий позволит снизить себестоимость продукта. Также прогнозируется, что и внутренний рынок, емкость которого в последние годы росла хорошими темпами, будет и дальше демонстрировать рост. При этом фактором, определяющим спрос на аммиак на внутреннем рынке, останется конъюнктура мирового рынка азотных минеральных удобрений. В целом можно сказать, что в ближайшие годы ожидается рост объемов производства аммиака.

16.3. Состояние и направления развития промышленности минеральных удобрений

Минеральные удобрения, неорганические вещества, главным образом соли, содержащие необходимые для растений элементы питания. В частности, минеральные удобрения подразделяют на *односторонние* и *комплексные*. Односторонние содержат преимущественно какой-либо один питательный элемент; к ним относятся: азотные, фосфорные и калийные удобрения. Комплексные удобрения (двойные и тройные) содержат два и более питательных элементов.

В *азотных минеральных удобрениях* азот может находиться в различных формах:

- аммиачной (NH_3), например сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, хлористый аммоний (NH_4Cl), бикарбонат аммония (NH_4HCO_3), жидкий безводный аммиак (NH_3), водный аммиак (NH_4OH), аммиакаты (комплексные соединения, продукты присоединения аммиака к другим веществам);

- аммиачно-нитратной (NH_3 и NO_3), например аммиачная селитра (NH_4NO_3);

- нитратной (NO_3), например натриевая селитра (NaNO_3) и калийная селитра (KNO_3);

- амидной (NH_2), например мочеви́на (карбамид, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$).

Обычная аммиачная селитра (34,4% азота) остается основным азотным удобрением, потребляемым сельским хозяйством России, 45% от общего производства российской аммиачной селитры реализуется на внешнем рынке.

В производстве азотсодержащих удобрений существенным ограничением является прежде всего высокий расход природного газа в производстве аммиака, что при повышении внутренней цены на при-

родный газ приведет к убыточности производства. Технический уровень действующих агрегатов в России уступает уровню аналогичных производств как в промышленно развитых, так и в развивающихся странах. Это особенно заметно при сравнении экологических показателей, а также энерго- и материалоемкости производств.

К *фосфорным минеральным удобрениям* относятся:

- суперфосфат (смесь $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и до 50% (масс.) CaSO_4);
- двойной суперфосфат ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$);
- орто- и метафосфаты калия (соответственно K_3PO_4 и $(\text{KPO}_3)_n$,

где $n \geq 3$);

- преципитат ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- томасшлак (примерно $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaO}$);
- фосфоритная мука (получают при тонком размоле фосфоритов) и др.

Фосфорные удобрения являются единственным источником пополнения запасов фосфора в почве.

Основные направления научно-технических исследований по переработке апатит-нефелиновых руд – доведение до коммерческой стадии прикладных разработок по получению ценной продукции из всех сырьевых компонентов, содержащихся в этих рудах.

С целью расширения сырьевой базы для производства фосфорсодержащих удобрений разрабатываются технологии обогащения и переработки бедных фосфоритовых руд, месторождения которых расположены в европейской части России. Перспективным здесь может стать производство фосфатов кальция и азотно-фосфорных удобрений.

Калийные удобрения – минеральные вещества, используемые как источник калия для питания растений. Сырые калийные соли: сильвинит (осадочная горная порода, состоящая из чередующихся слоев сильвина KCl и галита NaCl), карналлит ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) и концентрированные удобрения: хлористый калий (KCl), сульфат калия (K_2SO_4) и др., а также зола.

Основные направления для калийных предприятий – увеличение извлечения из руд полезного компонента – хлористого калия, повышение качества продукции, природоохранная деятельность.

Объем производства удобрений выражают цифрой валового выпуска или пересчитывают на 100%-ное содержание N , P_2O_5 или K_2O .

Как было указано выше, удобрения, содержащие в своем составе не менее двух основных питательных элементов (N , P_2O_5 , K_2O), называются комплексными.

Например, комплексными удобрениями являются:

- аммофос – в основном состоит из $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (моноаммоний-фосфат, MAP) с примесью $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$;
- диаммофос (диаммонийфосфат, DAP, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$);
- нитрофос (смесь преципитата, аммиачной селитры и гипса);
- нитрофоска (NPK, смесь преципитата, аммофоса и аммиачной селитры) и др.

Кроме того, в последние годы предложены односторонние удобрения с модифицирующими добавками (например, гранулированный суперфосфат с добавкой, содержащей сульфат аммония). Значительное конкурентное преимущество комплексных удобрений заключается в том, что их состав может меняться в зависимости от требований рынка.

В период 2000–2010-х гг. в мировом производстве минеральных удобрений наблюдалась тенденция к снижению относительных объемов выпуска фосфорных и росту производства калийных удобрений.

Начиная с 2012 г. темпы роста рынка азотных удобрений замедлились до 1,4% в год, тогда как рынок фосфатных удобрений растет на 1,7% в год, а калийных удобрений – на 2,7%¹.

При этом в Китае в качестве азотных удобрений чаще всего используют карбамид, в США – непосредственно аммиак и карбамидно-аммиачную смесь (КАС). В Западной Европе популярны кальций-нитратные смеси, тогда как для Индии, помимо карбамида, очень важен сектор DAP/MAP. Похожая ситуация и в странах Южной Америки. В Западной Европе и США также популярны комплексные NPK-удобрения.

По уровню концентрации производства отечественная промышленность минеральных удобрений занимает третье место в мире, уступая США и Китаю, единичные линии производства по своей мощности соответствуют зарубежным аналогам, в остальном уступая оборудованию современных зарубежных предприятий. Существенные различия наблюдаются в техническом состоянии основных фондов и эффективности их использования.

Производство минеральных удобрений является крупнейшей отраслью химического комплекса России. От уровня и направлений развития этого крупного блока химической индустрии зависит решение очень многих важных проблем в экономике России, и в первую очередь насыщение рынка продуктами питания и товарами первой

¹ The Chemical Journal. 2016. № 3. С. 38–41.

необходимости, создание необходимых условий для обеспечения независимости внутреннего рынка России от импорта сельскохозяйственной продукции.

В последние годы в результате дефицита финансовых ресурсов снизились инвестиции на реконструкцию и модернизацию производства, ввиду этого производители минеральных удобрений в значительной степени утратили конкурентоспособность. В целом техническое состояние основных промышленных фондов характеризуется износом (60–65%). Сроки эксплуатации значительной части оборудования – 20–25 лет. Уровень загрузки действующих мощностей по выпуску удобрений снизился на 16,3% по сравнению с 1990 г., что в значительной степени способствовало росту энерго- и материалоемкости производства. В себестоимости товарной продукции эти затраты составляют 60–72%.

Уровень внесения минеральных удобрений под посевы сельхозугодий снизился с 9 млн т в 1990 г. до 1,4 млн т в 2005 г. (по данным Минпромторга России, 2008 г.). В настоящее время в России объем потребления минеральных удобрений сельским хозяйством снизился до критически низкого уровня – 8–10 кг/га (в 1965 г. – в начале процесса химизации агропромышленного сектора – в СССР вносилось 19,8 кг/га; в 1987 г. – 122,1 кг/га в целом по СССР и 106 кг/га в РСФСР), тогда как в Германии, Нидерландах, Франции вносится более 200 кг/га. Кроме того, объемы продаж удобрений в СНГ снизились более чем в 5 раз.

Изначально промышленность минеральных удобрений СССР создавалась для удовлетворения внутреннего рынка, а не для экспорта. В последние два десятилетия минеральные удобрения занимают ведущие позиции в экспортных поставках продукции химического комплекса Российской Федерации. В настоящее время это наиболее высокая экспортная составляющая по причине низкой покупательной способности отечественного сельского хозяйства. На мировой рынок поступает от 70 до 90% объема производства минеральных удобрений (в 1991 г. – 59%). В настоящее время импорт минеральных удобрений составляет менее 0,1% от емкости всего внутреннего рынка.

По данным Минпромторга России (2016), минеральные удобрения составляют порядка 40% в структуре экспорта продукции российского химического комплекса.

В последние годы отрасль минеральных удобрений оказалась в сложной ситуации, столкнувшись с резким падением спроса на миро-

вом рынке. На рынок вышли новые игроки – Китай, Саудовская Аравия, Марокко и др. Правительства этих стран создали благоприятные условия для своих производителей в части цен на энергоресурсы, перевозки и поддержки экспорта.

По данным компании АО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим»», Министерство торговли США в 2016 г. отменило антидемпинговые пошлины на российский карбамид (размер пошлины составлял 64,93%) и аммиачную селитру (размер пошлины составлял 253,98%). Антидемпинговые пошлины на российские удобрения были введены в конце 80-х гг. с открытием СССР для международной торговли. В это время импорт дешевой химической продукции из СССР считался угрозой для рынка США.

При этом на Украине с 2014 г. действуют антидемпинговые пошлины на импорт российской аммиачной селитры, а с 28.02.2017 г. – на импорт российских азотных удобрений (карбамид и КАС) в размере от 4,19 до 31,83%. Срок действия этих антидемпинговых пошлин – пять лет.

Основной задачей развития российской промышленности минеральных удобрений в перспективе является максимально возможное обеспечение потребностей внутреннего и внешнего рынка конкурентной продукцией отечественного производства.

К приоритетным направлениям относятся:

- поддержание и расширение рудной сырьевой базы отрасли за счет развития и технического обновления существующих предприятий горно-химического комплекса (фосфатного, калийного, борсодержащего сырья) как на стадии добычи руды, так и на стадии ее обогащения, а также за счет вовлечения в переработку местных видов фосфорсодержащего сырья;

- поэтапная модернизация цехов по выпуску полупродуктов для производства минеральных удобрений и продукции общерыночного спроса (аммиак, азотная и серная, экстракционная фосфорная кислоты и др.), в том числе создание и укрепление отечественной технической базы по выпуску необходимых полупродуктов, ранее закупавшихся по импорту (различные марки фосфорной кислоты, азотные продукты органического синтеза для производства пластмасс, лакокрасочных материалов, химволокон и пр.);

- реконструкция и расширение производства конечной продукции – минеральных удобрений на базе использования более прогрессивных технологий и оборудования с частичным перепрофилированием действующих цехов на выпуск продукции повышенного спроса.

Особое внимание в развитии промышленности минеральных удобрений будет уделено фосфорным и калийным видам, увеличению их доли в общем объеме выпуска удобрений, что диктуется крайне низким обеспечением почв фосфором и калием, ухудшающим их плодородие и снижающим эффективность использования других видов удобрений.

В основу развития и перестройки ассортиментной структуры производства минеральных удобрений закладывается тенденция к возобновлению и расширению выпуска их остродефицитных одинарных видов (бесхлорные калийные, фосфоритная мука, двойной суперфосфат), унифицированных двойных (аммофос, диаммонийфосфат), тройных сложных (преимущественно бесхлорных), органоминеральных на основе местного и нетрадиционного сырья. Кроме того, прогнозируется расширение ассортимента минеральных удобрений: органоминеральных, пролонгированного действия с микроэлементами и других видов на основе местных источников сырья.

В перспективе предусматривается: создание технологий производства микроэлементных добавок для сухого тукосмешения применительно к почвам различных регионов России, использование отработанных серных кислот для производства калийно-магниевых и комплексных удобрений, выпуск чистых солей и специальных удобрений для гидропонного выращивания овощей в закрытом грунте, получение новых видов азотно-кальциевых удобрений из отходов производства экстракционной фосфорной кислоты и азофоски. Также прогнозируется создание и внедрение в производство таких новых видов удобрений, как органоминеральные, водорастворимые, пролонгированного действия, с микроэлементами.

Техническая политика отрасли будет направлена на реконструкцию и модернизацию действующих производств с целью снижения энерго-, материалоемкости и себестоимости продукции, повышения ее конкурентоспособности, а также частичное перепрофилирования мощностей на выпуск новых видов остродефицитной продукции.

Наряду с традиционными в отрасли должны получить развитие мероприятия, направленные на улучшение экологического состояния предприятий (переработка и утилизация отходов с последующим выпуском дефицитной продукции, новые безотходные технологии и т. д.).

Кроме того, в соответствии с единой государственной политикой в области экологии, направленной на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, предусматривается разра-

ботка мероприятий, в частности направленных на снижение токсичных выбросов загрязняющих веществ (аммиак, хлор, ртуть и др.) и отходов при увеличении объемов производства за счет внедрения передовых технологических процессов, нового оборудования и материалов.

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», потребление минеральных удобрений в Российской Федерации возрастет с 39,2 кг/га в 2012 г. до 55,7 кг/га в 2030 г., что, однако, существенно ниже прогнозируемого объема потребления минеральных удобрений в развитых странах. В реалистичном сценарии Стратегии производство минеральных удобрений прогнозируется увеличить в 2030 г. по сравнению с 2005 г. на 80% – до 32 млн т.

Мировой рынок минеральных удобрений, подобно другим товарным рынкам, остро ощутил негативное влияние спада в глобальной экономике и кризиса кредитной системы, однако эксперты прогнозируют последовательный рост потребления удобрений. Общее состояние и конъюнктурные тенденции мирового производства и поставок удобрений в перспективе будут зависеть от комплекса порой разнонаправленных факторов, способных изменить условия конкуренции и торговли данным товаром.

В настоящее время корпоративная стратегия российских производителей минеральных удобрений – освоение новых нишевых продуктов и формирование нового спроса – в определенной мере схожа с экономической политикой химических компаний развитых стран. Это оказалось возможным благодаря прочным позициям на мировом рынке и значительной финансовой базе подотрасли, на долю которой приходится до 75% прибыли эффективно работающих крупных и средних предприятий химического комплекса. Лавинообразное сворачивание экспорта минеральных удобрений, поглощающего 80–90% их производства, привело к падению выпуска продукции в этом отраслевом сегменте в 2008 г. на 5,6%, а в 2009 г. – еще на 20,7%.

Следует подчеркнуть, что темпы восстановления объемов отечественного производства минеральных удобрений будут определяться не только ходом развития мировой экономики, но и динамикой производства в странах-конкурентах, прежде всего в Китае, который стремится отказаться от их импорта, а в перспективе и потеснить Россию на внешних рынках. Чтобы смягчить вероятные последствия новых рисков и поддержать внешний спрос, компании осваивают новые продукты и ассортиментные линейки, концентрируя внимание не

только на краткосрочной перспективе, но и учитывая посткризисный подъем и изменение структуры предложения.

Одним из перспективных российских проектов является первое в России малоотходное производство кальций-аммиачной селитры с 24%-ным содержанием азота на АО «Новомосковская акционерная компания “Азот”» компании АО «Минерально-химическая компания “ЕвроХим”». Этот вид удобрений востребован в Англии, Венгрии, Испании, Италии, Мексике, Канаде и странах СНГ. В компании перешли на выпуск еще одного нового для страны продукта – гранулированного карбамида, более удобного при транспортировке и действенного при внесении в почву. В случае успеха этих продуктов на внешнем рынке «ЕвроХим» сможет резко сократить или даже полностью отказаться от экспорта аммиака – сырья для производства азотных удобрений, конкурентная ситуация на рынке которого постоянно обостряется.

Большая работа по развитию предприятий и вводу новых мощностей идет в вертикально интегрированных структурах. Уникальные инвестиционные проекты были осуществлены в АО «ФосАгро-Череповец». Введено в строй новое производство карбамида, идет предпроектная деятельность по строительству предприятия по переработке аммиака мощностью 750–800 млн т.

Кроме того, практически сразу после открытия нового завода АО «Аммоний» (см. п. 16.2) подписал с японскими подрядчиками меморандум о строительстве второго завода. Второй завод минудобрений «Аммоний-2» планируют строить ПАО «Татнефть», японские «МНИ» и «Sojitz Corp.». По мнению руководства Татарстана, повторное применение ранее разработанной документации и опыт, накопленный во время строительства первого комплекса в Менделеевске, позволят снизить стоимость и сократить сроки реализации нового проекта.

Исходя из существующих реалий, можно выделить следующие приоритетные направления повышения эффективности производства удобрений:

- внедрение новых эффективных методов добычи и комплексное использование апатит-нефелиновых руд;
- внедрение новых эффективных способов обогащения калийных руд;
- создание и освоение технологий переработки низкосортного фосфатного сырья в минеральные удобрения;
- создание новых экономичных методов производства удобрений;

- совершенствование технологии глубокой очистки экстракционной фосфорной кислоты от соединений фтора для использования ее в производстве кормовых и пищевых фосфатов и других продуктов;
- переход на энергосберегающие технологии и энергосберегающее аппаратное оформление технологических процессов;
- повышение степени использования вторичных энергоресурсов;
- расширение ассортимента и повышение качества удобрений, обеспечение их отличительных признаков, которые возможно получить в силу высокого качества перерабатываемого апатитового сырья;
- совершенствование системы транспортировки и хранения удобрений;
- охрана окружающей среды и аттестация уровня управления производством по международным стандартам;
- развитие систем автоматизированного управления производством;
- совершенствование организации производства и управления на предприятиях.

Выпуск минеральных удобрений – это капиталоемкое производство. Обновление мощностей обходится дорого, поэтому предпочтительными являются те технологии, которые могут быть реализованы в рамках существующего аппаратного оформления.

Контрольные вопросы

1. Какие виды горно-химического сырья использует российская химическая промышленность?
2. Какой параметр является основным при определении рентабельности производства аммиака?
3. Назовите фактор, который определяет спрос на аммиак на внутреннем российском рынке.
4. Какую долю экспорта российских химических товаров составляют минеральные удобрения?
5. Перечислите приоритетные направления развития отечественной промышленности минеральных удобрений.
6. Какие тенденции закладываются в основу развития и перестройки ассортиментной структуры производства минеральных удобрений в Российской Федерации?

ГЛАВА 17

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

17.1. Общие перспективы развития производства высокомолекулярных соединений

Высокомолекулярными соединениями называются вещества, молекулы которых содержат сотни и тысячи атомов, соединенных между собой химическими связями. Характерная особенность большинства высокомолекулярных соединений (или полимеров) – наличие в их молекуле многократно повторяющихся звеньев.

По мнению экспертов, в перспективе не только цены, но и объем мирового рынка полимеров будет расти быстрее рынка нефти и нефтепродуктов. До 2020 г. среднегодовые темпы прироста выпуска крупнотоннажных полимеров составят 5–6%, тогда как, по оценке МЭМО РАН, среднегодовой прирост спроса на нефть составит 0,5–1,0%. Таким образом, относительный рост эффективности и прибыльности нефтехимического бизнеса высоких переделов в перспективе будет носить устойчивый и долговременный характер.

Этой тенденции в значительной мере способствует эволюция его географической структуры, сосредоточение производства в регионах со сравнительно дешевыми ресурсами и динамично растущим спросом.

Таким образом, развитие мировой химической промышленности в ближайшей перспективе будет в значительной мере связано с ростом нефтехимического производства в новых отраслевых центрах.

В России, исходя из наличия потенциальных ресурсов углеводородного сырья и эффективности его переработки, дальнейшее развитие химического комплекса ориентировано преимущественно на производство синтетических смол и пластмасс, синтетических каучуков, химических волокон и нитей, лакокрасочных материалов.

Ассортимент и масштабы потребления углеводородного сырья определяют производство исходных базовых полупродуктов органического синтеза.

Российское производство пластмасс характеризуется преобладанием термопластичных пластмасс (продукция полимеризации) в пер-

вичных формах и дефицитом или полным отсутствием передовых эластомеров. При этом даже в секторе базовых крупнотоннажных термопластов в товарной структуре выпуска отсутствуют многие прогрессивные сорта продукции, наиболее востребованные как на мировом, так и на российском рынке (например, линейный полиэтилен низкой плотности).

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», к 2030 г. в РФ особое развитие получат сегменты производства изделий из пластмасс, высокотехнологичных пластиков. Большая доля химической продукции высоких переделов в производстве будет поддерживаться активным ростом потребления изделий из пластмасс (до 79,4 кг/чел. к 2030 г. по сравнению с 30,2 кг/чел. в 2012 г.). Среднедушевое потребление изделий из пластмасс в России к 2030 г. вырастет до уровня развитых стран.

Наибольшие темпы роста среди сегментов потребления продемонстрируют строительство (включая дорожное), жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ), автомобильная промышленность, пищевая промышленность. Полимерные трубы будут вытеснять металлические, к 2030 г. доля их потребления достигнет уровня развитых стран. При строительстве автомобильных дорог будут активно применяться полимерно-битумные вяжущие и геосинтетика. Значительно вырастет использование защитных дорожных ограждений и различных элементов дорожной инфраструктуры из пластиков.

Благодаря локализации производств в России возрастет спрос на изделия из пластмасс со стороны автомобильной промышленности. Продолжится рост доли полимерной тары в общем потреблении гибкой тары. Изделия из пластмасс будут плавно вытеснять бумагу и фольгу из пищевой упаковки. Опережающие темпы роста производства позволят сократить долю импорта во внутреннем потреблении до 5–10%. В производстве изделий из пластмасс возрастет доля полимерных труб, профилей, плит и листов.

Для реализации стратегических планов в сфере промышленности пластмасс и синтетических смол основными приоритетами являются в первую очередь:

- модернизация действующих и строительство новых производств крупнотоннажных полимеров с новыми свойствами и сырья для их производства на базе агрегатов большой единичной мощности;
- резкое увеличение мощностей по переработке пластмасс с расширением марочного ассортимента товаров народного потребления и

изделий для потребляющих секторов экономики (машиностроение, строительство, сельское хозяйство, медицина и т. д.).

Затем планируется разработка и организация производств прогрессивных видов полимерных композиционных материалов инженерно-технического назначения и способов их переработки в изделия.

17.2. Перспективы развития производств по получению некоторых полимерных продуктов

Синтетические смолы, пластмассы, синтетические волокна, синтетический каучук, СМС, лакокрасочные материалы и прочие относятся к группе конечных нефтехимических продуктов полимерно-нефтехимического комплекса. Ниже приведено описание некоторых технологий производства полиэтилена ($[-CH_2CH_2-]_n$), полипропилена ($[-CH_2CH(CH_3)-]_n$), полистирола ($[-CH_2CH(C_6H_5)-]_n$) и поливинилхлорида ($[-CH_2-CHCl-]_n$).

Россия, к сожалению, сильно уступает развитым странам как по объемам производства, так и по объемам потребления данных продуктов. Так, среднелюдское потребление базовых полимеров (полиэтилена и полипропилена) составляло: в США и Канаде в 2010 г. – от 68 до 72 кг, в Западной Европе – 56 кг/чел., Восточной Европе – 24 кг/чел. В России на душу населения приходится 15 кг базовых полимеров в год. Отставание отмечается и в использовании других полимерных материалов, особенно в строительном секторе. Так, для строительства дорог в США и Европе используется полимеров на душу населения больше, чем в России, в 10 раз, для производства труб – в 5 раз.

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», к 2030 г. в мире ожидается рост удельного потребления полимерной продукции на душу населения, который приведет к повышению уровня потребления до 128 долл. США на человека вместо 61 долл./чел. в 2013 г.

В России спрос на нефтехимическую продукцию также продолжает расти и обладает потенциалом увеличения в четыре раза к 2030 г. по сравнению с 2010 г. Уже сегодня спрос не удовлетворяется внутренним производством. Очень высока доля импорта в российском потреблении основных видов пластиков, по отдельным видам – более 70%.

Ситуацию можно исправить, увеличив объемы производства полимеров, однако имеющиеся мощности базового сырья (этилена) не позволяют это сделать. Этиленовые мощности находятся на уровне 2,5 млн т/год, мощности по пластикам в России составляют

2,8 млн т/год, по основным каучукам – около 1,4 млн т/год. По объему производства пластиков и каучуков Россия находится во второй десятке в мире.

Спрос на внутреннем рынке продолжает расти и к 2030 г. может увеличиться практически в 4–5 раз по сравнению с уровнем 2010 г. С текущим уровнем ВВП на душу населения Россия должна потреблять в 1,5–3 раза больше пластиков, чем в настоящее время.

17.2.1. Производство полиэтилена

За сравнительно короткий исторический период полиэтилен превратился в наиболее массовый конечный нефтехимический продукт, получив широкое распространение во всем мире. Долгое время бытовало «золотое» правило (не потерявшее актуальности и теперь), которое формулируется так: *«если хотите, чтобы нефтехимический комплекс работал эффективно, включите в его состав производство полиэтилена»*. По темпам роста мощностей полиэтилен занимает одно из первых мест среди нефтехимических продуктов. За относительно короткий период мощности по производству полиэтилена в мире возросли с 34,2 млн т/год в 1990 г. почти до 65 млн т/год в 2004 г.

В зависимости от способа получения различают полиэтилен высокого давления, или низкой плотности, молекулярной массой $3 \cdot 10^4$ – $4 \cdot 10^5$ и полиэтилен низкого давления, или высокой плотности, молекулярной массой $5 \cdot 10^4$ – 10^6 . Они отличаются друг от друга структурой макромолекул (наличием у полиэтилена высокого давления длинноцепочечных ответвлений), а следовательно, и свойствами (например, от молекулярной массы и плотности зависит химическая стойкость). Степень кристалличности 60% (полиэтилен высокого давления) и 70–90% (полиэтилен низкого давления). В настоящее время в мире производятся три основных вида полиэтилена – полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности и линейный полиэтилен низкой плотности; каждый из видов полиэтилена насчитывает десятки марок.

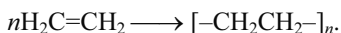
Свойства полимеров определяются молекулярно-массовым распределением цепей полимера, наличием в нем сомономеров, спецификой применяемого катализатора, изменением условий реакции полимеризации, типом используемого оборудования. Ряд производителей ориентируются на выпуск относительно узкой номенклатуры марок полиэтилена (универсальные марки), но большинство все же стараются расширить номенклатурный ряд выпускаемой продукции,

производя специализированные марки полиэтилена, рассчитанные на строго определенного потребителя.

Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) применяется главным образом в производстве пленок для сельского хозяйства (укрытие теплиц, парников, защита сенажа, силоса, мульчирование почв, облицовка ирригационных и дренажных сооружений, упаковка минеральных удобрений и др.), упаковки для изделий пищевой и легкой промышленности, литьевых и выдувных изделий различного назначения, в основном товаров народного потребления. Линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП) применяется для пленок, пластин, литьевых изделий, оболочки проводов и кабелей, изделий, получаемых формованием и экструзией¹ покрытий. При этом обеспечивается более высокое качество и более длительные сроки эксплуатации, чем при использовании ПЭНП.

Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) используется для производства низконапорных труб, применяемых в строительстве, мелиорации, сооружения газоразводящих сетей, жесткой тары для различных отраслей промышленности, пленок и листов для покрытия каналов, теплиц, а также для производства деталей машин и оборудования в отраслях машиностроения, приборостроения, электротехники, товаров народного потребления.

Впервые полиэтилен получен в 1932 г. методом высокого давления [18] в Великобритании, методом низкого давления – в 1953 г. в ФРГ. В промышленности полиэтилен получают полимеризацией этилена:



Процесс при высоком давлении (130–250 МПа при 190–300°C) протекает по радикальному механизму под действием O_2 , пероксидов, например лаурила или бензоила, или их смесей. Процесс при низком давлении (1–5 МПа) осуществляют в условиях гетерогенного или гомогенного катализа. Процесс получения полиэтилена низкого давления в суспензии катализатора (например, $\text{Ti}(\text{OR})_n\text{Cl}_{4-n}$, нанесенного на MgCl_2 или MgO) проводят при 70–95°C, давлении 1,5–3,3 МПа. Процесс получения полиэтилена в растворе (чаще в гексане) проводят при 160–250°C, давлении 3,4–5,3 МПа, время контакта с катализатором

¹ *Экструзия* (от позднелат. extrusio – выталкивание) – технология получения изделий путем продавливания расплава полимера через формирующее отверстие.

(например, CrO_3 на силикагеле) – 10–15 мин. Преимущества метода перед суспензионным: исключение стадий отжима и сушки полимера, возможность утилизации теплоты полимеризации для испарения растворителя, более легкое регулирование молекулярной массы полиэтилена. Газофазную полимеризацию этилена проводят при 90–100°C и давлении 2 МПа (катализатор – хромосодержащее соединение на силикагеле).

Так называемый линейный полиэтилен, полученный всеми способами полимеризации этилена при низком давлении, представляет собой сополимер этилена с высшими α -олефинами, например α -бутеном, α -гексеном, 4-метилпентеном (название «линейный» в данном случае условно, так как этот полиэтилен содержит боковые ответвления сомономера). Плотность полиэтилена регулируют количеством α -олефина. По свойствам он близок полиэтилену низкого давления, но превосходит его по прочности и стойкости к растрескиванию.

Полиэтилен можно перерабатывать при 120–280°C всеми известными методами, применяемыми для переработки термопластов.

Основными лицензиарами процессов получения полиэтилена являются фирмы «BP Chemicals» (Великобритания), «Union Carbide Chemicals and Plastics» (США), «Phillips Petroleum» (США), «Mitsui Petrochemical Industries» (Япония), «Exxon Chemical Co.» (США), «EniChem» (Италия).

В частности, фирмой «BP Chemicals» разработано производство полиэтилена высокой, средней и низкой плотности из этилена и сомономеров в газовой фазе в присутствии уникальных высокоэффективных катализаторов Циглера–Натты¹. В этом процессе этилен с сомономерами подвергается сополимеризации в мягких условиях при температуре 60–100°C и давлении 1,5–3,0 МПа в реакторе с псевдоожиженным слоем катализатора (например, сополимеризацией этилена с пропиленом на подобных катализаторах получают этилен-пропиленовые каучуки, обладающие повышенной устойчивостью к окислению и истиранию). В процессе «BP Chemicals» на одном и том же катализаторе можно получать полиэтилен плотностью от 916 до 965 кг/м³. В процессе получают двух- и трехкомпонентные сопо-

¹ Катализаторы Циглера–Натты – каталитические комплексы, разработанные совместно К. Циглером (Ziegler) и Дж. Наттой (Natta), образующиеся при взаимодействии соединений переходных металлов (TiCl_4 , TiCl_3 , VOCl_3 , $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{TiCl}_2$ и т. п.) с алкильными производными (R) и другими соединениями металлов I–III групп (AlR_3 , AlR_2Cl , LiR , MgRCl , ZnR_2 и др.

лимеры, отличающиеся высокой прочностью, однородностью и отсутствием гелей. По лицензии «BP Chemicals» построены установки по производству полиэтилена в Великобритании, США, Франции, Китае, Индии, Таиланде, Иране.

Среди положительных отличительных особенностей различных способов получения полиэтилена других фирм можно выделить, например, технологию фирмы «Phillips Petroleum», где в процессе полимеризации не образуются парафины или другие побочные продукты, что сводит до минимума загрязнение окружающей среды; процесс СХ, разработанный фирмой «Mitsui Petrochemical Industries», позволяет получать полиэтилен с бимодальным молекулярно-массовым распределением, причем параметры такого распределения регулируются путем изменения устройства реактора без замены катализатора. Преимуществом производств, организованных фирмой «Exxon Chemical Co.», является возможность перевода процесса с производства гомополимера на выпуск сополимеров, а также осуществление выпуска полиэтилена различных марок.

Крупнейший производитель полиолефиновых эластомеров – компания «Montell» (США) – разработала технологию производства с использованием металлоценовых¹ катализаторов, которую апробировала на полупромышленной установке. Компания планирует разработать металлоценовую технологию для процесса производства полиэтилена Spherilene и процесса производства полипропилена Spheripol. Технология с использованием металлоценовых катализаторов позволяет получить полимер заданного состава с узким молекулярно-массовым распределением и исключить побочные реакции.

Эксперты считают, что оживление мировой экономики и стабилизация цен на энергоресурсы создадут устойчивую базу для дальнейшего развития производства и использования полиэтилена в мире.

Следует также отметить, что сложившаяся тенденция эволюции географической структуры нефтехимического бизнеса (т. е. сосредоточение производства в регионах со сравнительно дешевыми ресурсами и динамично растущим спросом) может быть проиллюстрирована современными планами размещения и введения в строй новых мощностей по производству полиэтилена, спрос на который служит одной из основных характеристик нефтехимического рынка.

¹ Металлоцены – дициклопентадиенильные соединения переходных металлов (М) общей формулы $(\eta\text{-C}_5\text{H}_5)_2\text{M}$.

Согласно многочисленным прогнозам, к 2020 г. на долю Азиатско-Тихоокеанского региона и стран Ближнего Востока, располагающих существенными ресурсными преимуществами и значительным рынком сбыта, будет приходиться не менее 80% мощностей по выпуску полиэтилена.

В Европе, где спрос на полиэтилен относительно насыщен, предполагается в ближайшие годы закрыть нерентабельные установки, по эффективности и прибыльности уступающие конкурентам из новых отраслевых центров. В США вследствие снижения спроса и сокращения экспорта возможно до 2015 г. уменьшение выпуска полиэтилена на 0,5 млн т.

В Южной и Центральной Америке наибольшим потенциалом развития производства полиэтилена обладает Бразилия, на долю которой приходится 52% спроса и 70% всех региональных мощностей.

17.2.2. Производство полипропилена

Полипропилен является одним из самых крупнотоннажных пластиков, спрос на который растет наиболее высокими темпами из всех пластмасс. Мировые мощности по производству полипропилена растут стремительно (млн т/год): 1987 г. – 10,0; 1992 г. – 17,1; 2000 г. – 33,9; 2005 г. – 42; 2010 г. – 59,8. Основными сферами применения полипропилена является производство пленок, пластин, жесткой упаковки, синтетической бумаги, деталей автомобилей и бытовых приборов, а также ковровых изделий, канатов, волокон и филаментных нитей. Как видно из перечисления, полипропилен во многом взаимозаменяем с полиэтиленом и в ряде областей использования благодаря своим эксплуатационным качествам вытесняет или уже вытеснил полиэтилен и другие виды пластиков.

В структуре потребления пропилена в США преобладают жесткая упаковка потребительского назначения (37%), волокна и текстильные изделия (34%), автодетали и детали бытовых приборов (16%), пленки и листы (13%). В западноевропейских странах упаковка бытового назначения также является наиболее крупной сферой потребления полипропилена (36%), далее идут промышленность химических волокон (25%), производство деталей для автомобилей и бытовых приборов (21%), пленок и листов (18%).

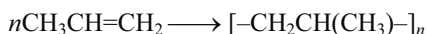
Полипропилен является самым многообразным из пластиков по возможностям применения. Будучи наиболее дешевым полимером, полипропилен завоевывает свою долю на рынке благодаря вытесне-

нию им других полимеров из некоторых областей применения, например полистирола в производстве изделий методом экструзии, нейлона – в производстве ковровых изделий, пластик АБС – в производстве товаров широкого потребления, поливинилхлорид – в производстве пленки и медицинских изделий.

В зависимости от пространственного расположения групп CH_3 известны изотактический, синдиотактический, атактический и стереоблочный полипропилен. Наибольшее промышленное значение имеет изотактический полипропилен (степень изотактичности 95–99%), макромолекулы которого имеют спиральную конформацию. Он устойчив в воде (вплоть до 130°C) и агрессивных средах. Для изотактического полипропилена характерны высокая ударная вязкость, стойкость к многократным изгибам, хорошие износостойкость (сравнима с износостойкостью полиамидов), повышающаяся с ростом молекулярной массы, и диэлектрические свойства. Атактический полипропилен хорошо растворим в гептане; на этом свойстве основано извлечение при 20°C этого полипропилена из промышленного изотактического полипропилена. Из последнего кипящим гептаном экстрагируют и стереоблочный полипропилен (его макромолекулы построены из чередующихся блоков изотактического и атактического строения). Атактический полипропилен – пластификатор, добавка к гидрофобным композициям.

Впервые высокомолекулярный кристаллический полипропилен получил итальянский химик-органик Дж. Натта (Natta) в 1954 г.

Изотактический полипропилен в промышленности получают стереоспецифической полимеризацией пропилена:



главным образом в массе, а также в растворе или псевдоожигенном слое (катализаторы чаще всего – TiCl_3 с $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ или $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$). Полимеризацию в растворе (растворитель – гептан или низкооктановые фракции бензина) проводят при $70\text{--}80^\circ\text{C}$ и давлении 0,5–1,0 МПа. Реакцию в массе осуществляют в среде жидкого мономера при $70\text{--}80^\circ\text{C}$ и 2,7–3,0 МПа. Благодаря отсутствию растворителя упрощаются выделение и сушка пропилен. При использовании титаномагниевого катализатора из технологии цикла исключаются стадии отмычки полимера от катализатора и грануляции пропилен, так как он получается в виде сферических частиц. Технология получения полипропилена в псевдоожигенном слое ($70\text{--}80^\circ\text{C}$, 1,8–2,5 МПа) почти такая же, как полиэтилена в газовой фазе.

В настоящее время в области технологических разработок производства полипропилена конкурируют компании «Himont, Inc.» (США), «BASF» (Германия), «Union Carbide» (США), «BP Amoco/Chisso» (Великобритания, США/Япония), «Mitsui» (Япония), «ExxonMobil Corp.» (США), «Dow Chemical Co.» (США), «Borealis» (Австрия).

Одной из наиболее распространенных технологий производства полипропилена является технология Spheripol (Сферипол), разработанная американской фирмой «Himont, Inc.» и японской компанией «Mitsui Petrochemical Industries». Spheripol – это гибкий процесс, в котором могут быть получены как гомополимер, так и сополимеры с другими мономерами, например с этиленом. Процесс протекает в среде жидкого пропилена в трубчатом реакторе с циркулирующим контуром. В процессе полимеризации возможно управление долей изотактических и атактических молекул полимера и распределением частиц полимера по их размерам. В высокопроизводительном, высоко-стереоспециальном процессе полимеризации в среде жидкого мономера экономится до 40% капиталовложений по сравнению с мало-производительным суспензионным процессом. Промышленные установки по технологии Spheripol работают в большинстве стран – крупных производителях полипропилена.

Разновидностью процесса Spheripol является технология, разработанная самостоятельно японской компанией «Mitsui Petrochemical Industries». В процессе полимеризации применяется катализатор, обеспечивающий высокий выход целевых продуктов. В процессе не используется растворитель, отсутствует система удаления остатка, исключено образование атактического полимера. Другой разновидностью процесса является технология Hipol (хайпол) американской фирмы «Himont, Inc.». По сути дела эта технология весьма близка к процессу Spheripol.

Конкурентом технологии Spheripol является газофазный процесс Unipol PP (Юнипол) фирмы «Union Carbide Chemicals and Plastics». В этом процессе различные типы полипропилена (гомополимер, статистический и ударопрочный полимер) получают методом газофазной полимеризации пропилена и сополимеризации пропилена и этилена в реакторе с псевдооживленным слоем запатентованного фирмой катализатора. Свойства получаемого полипропилена (индекс расплава, степень атактичности, молекулярно-массовое распределение) регулируются путем изменения условий проведения реакции, подбором катализатора, добавлением веществ, влияющих на молекуляр-

ную массу полимера. Разновидностью газофазного процесса являются технологии немецкой фирмы «BASF» (процесс Targor) и японской фирмы «Chisso». Процесс газофазной полимеризации компании «BASF» с высокоэффективным катализатором Циглера–Натты обеспечивает высокий выход гомополимера и статистических сополимеров, а также полимеров с высокой ударной вязкостью и термополимеров.

В последнее время компании-разработчики технологии получения полипропилена достигли успехов в области так называемого металлоценового катализа, который дает возможность получать новые виды полипропилена и сополимеров полипропилена с другими мономерами. Это новый полипропилен изотактической структуры, блок-сополимеры, сополимеры с α -олефинами, стиролом, акрилатами и ацетатами, а также нонборнены.

По оценкам экспертов, полипропилен останется самым многообразным из пластиков по возможностям применения. Будучи самым дешевым полимером, полипропилен завоевывает свою долю на рынке, вытесняя другие полимеры из некоторых областей использования. Например, полипропилен вытесняет полистирол в производстве изделий методом экструзии, нейлон – в производстве ковров, пластики АБС – в производстве товаров широкого применения, поливинилхлорид – в производстве пленок и в медицине. В перспективе рынок полипропилена будет испытывать комбинированное воздействие роста мощностей, изменения торговых потоков и общего замедления темпов экономического роста.

В нашей стране Республика Татарстан, занимающая лидирующие позиции в российской нефтехимии и переработке пластмасс, решила организовать и газохимические производства. На территории республики планируется строительство газохимического комплекса (ГХК) переработки природного газа в полиолефины мощностью в 2,6 млрд $\text{м}^3/\text{год}$. Комплекс будет производить 400 тыс. т/год полиэтилена и 700 тыс. т/год полипропилена. Полученные этилен и пропилен в случае необходимости можно направлять в трубопровод, который связывает Салават, Стерлитамак, Уфу, Нижнекамск и Казань, что позволит обеспечить олефинами многие предприятия, и не только татарстанские. Газохимический проект в Татарстане, помимо экономического эффекта, имеет выраженный социальный аспект: 2000 рабочих мест на производстве и 2600 рабочих мест в смежных отраслях. ГХК предполагается расположить недалеко от Казани с

учетом логистики и возможности доставки рабочей силы. Наиболее подходящим для этой цели является г. Арск.

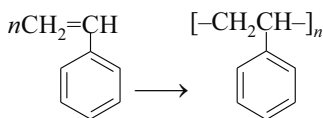
Пилотную установку, опыт которой при стабильной работе можно растиражировать по всей стране, предложено дислоцировать «на трубе» магистрального газопровода Уренгой–Помары–Ужгород.

17.2.3. Производство полистирола

Как было указано выше, полистирол занимает около 2/3 в структуре потребления стирола. На 2003 г. производственные мощности по выпуску полистирола составляли 13,4 млн т/год. В свою очередь, полистирольные пластики используются для производства деталей холодильников, кондиционеров, радио-, телевизионной и осветительной аппаратуры, облицовочной плитки, бытовых товаров, тары и упаковки, игрушек, защитных покрытий, труб и других видов продукции.

В настоящее время сегмент современных высококачественных форм полистирола специального назначения (жаро-, механо-, химикостойкого и с другими специальными свойствами) совершенно не обеспечен российским производством и удовлетворяется за счет импорта. А что касается традиционных сортов полистирола, то качество отечественной продукции во все меньшей степени удовлетворяет российских потребителей и они вынуждены от нее отказываться, несмотря на более низкие цены. Кроме того, при выборе продукции массового спроса все более возрастающее значение имеют не только функциональные, но и экологические и декоративные свойства.

Разработчиками технологических процессов производства полистирола путем полимеризации стирола (согласно приведенной ниже схеме) являются американские фирмы «ABB Lummus Crest, Inc.» и «The Badger, Inc.».



Производство вспененного полистирола по технологии суспензионной полимеризации разработали фирмы «Huntsman Chemical» (Нидерланды) и «ABB Lummus Crest, Inc.» (технология HCC/LCI).

Процесс полимеризации стирола осуществляется в периодически работающем реакторе по суспензионному методу с непрерывным от-

делением воды, осушкой полимера и классификацией его частиц по размерам. В реакторе под влиянием суспендирующего агента и перемешивания происходит распределение мономера по объему и образуются шарики полимера. Затем в реактор вводится определенное количество пентана и процесс полимеризации продолжается до достижения 100%-ной глубины превращения мономера. После перегрузки мономера в бункер процесс становится непрерывным. Далее идут стадии центрифугирования с целью отделения маточного раствора, сушки, кондиционирования и транспортировки в контейнеры готового продукта. В настоящее время по этой технологии работают несколько установок в США и Канаде.

Процесс полимеризации стирола фирмы «The Badger, Inc.» – блочная полимеризация для получения различных сортов кристаллического, ударопрочного и высокоударопрочного полистирола, пригодного для большинства способов переработки, включая литье под давлением, экструзию, горячее формование и выдувание. Для получения ударопрочного полистирола в сырьевой емкости готовят раствор каучука, стирола и добавок. Полученная смесь поступает в предполимеризатор, предназначенный для точного управления скоростью и степенью полимеризации. Частично полимеризационная масса подается в полимеризационную колонну, где получается полимер с ничтожным содержанием исходного мономера, что делает возможным в дальнейшем использовать полимер для изготовления упаковки пищевых продуктов. Расплавленный полимер из колонны проходит через формовочное устройство, из которого выходит в виде ленты, превращаемой затем в таблетки готового продукта. По технологии фирмы «The Badger, Inc.» построены установки в Западной Европе и Юго-Восточной Азии.

Получение ударопрочного полистирола по технологии Lummus/Huntsman мало чем отличается от описанной выше технологии синтеза полистирола общего назначения. Разница заключается лишь в том, что при производстве ударопрочного полистирола добавляется стадия растворения каучука.

Наиболее быстроразвивающимся сектором потребления стирола является производство пластиков АБС (акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков) и САН (стиролакрилонитрильных пластиков). АБС-сополимеры находят широкое применение для литья под давлением, изготовления листов и пленок, применяемых в автомобилестроении, производстве бытовых приборов, электрического и электронного

оборудования и упаковки. Основными свойствами, используемыми в этих областях применения, являются высокая ударопрочность и блеск.

17.2.4. Производство поливинилхлорида

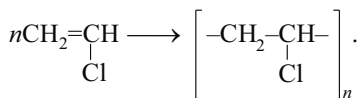
Основными направлениями использования пластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) являются производство кабельной изоляции, пленок и других пленочных материалов и покрытий; непластифицированного – производство труб, покрытий для пола, светопропускаемой кровли, декоративных и прочих плит и листов, изготовление деталей приборов и аппаратуры, изделий широкого потребления.

Поливинилхлорид отличается превосходным сочетанием цены и качества. Изделия из ПВХ характеризуются долговечностью, погодостойкостью, низкой воспламеняемостью и простотой ухода. Почти 60% ПВХ применяется в производстве труб для газо- и водопроводов, профилей окон, жалюзи и дверей, покрытия полов, герметизирующих пленок, водосточных желобов, обоев, оболочек для кабеля, облицовки фасадов и потолков, т. е. практически во всех секторах строительной индустрии. Другими важными областями применения ПВХ являются упаковочные материалы, детали автомобилей, медицинское оборудование.

По данным английской консалтинговой компании «Harriman Chemsult», мировые мощности по производству ПВХ за период 2000–2006 гг. выросли с 30 до 40 млн т/год, а далее будут расти на 8,1% ежегодно.

Доля российского ПВХ в мировом производстве составляет всего 1,5%, а душевое потребление – менее 7 кг в год, в то время как в США, Европе, Японии эта величина колеблется в пределах 18–25 кг/год. Китай производит сегодня более 10 кг ПВХ на человека в год. Россия сегодня не входит даже в десятку крупнейших производителей ПВХ и выпускает немногим более 4 кг поливинилхлорида на человека в год. Существующие потребности приходится закрывать импортными поставками, в основном из Китая.

Поливинилхлорид (ПВХ) – один из наиболее крупнотоннажных видов пластиков – производится по методам суспензионной блочной и эмульсионной полимеризации винилхлорида, согласно приведенной ниже схеме:



Метод суспензионной полимеризации разработан компанией «European Vinyls Corp. (Americas), Inc.». Процесс полимеризации винилхлорида, диспергированного в воде, осуществляется по периодической схеме. Экзотермическая реакция суспензионной полимеризации протекает по свободнорадикальному механизму и проводится в реакторе с мешалкой.

Технологию суспензионной полимеризации винилхлорида разработала также немецкая компания «Hoechst» (ныне – «Sanofi», Франция). В процессе Hoechst сначала готовится тонкая дисперсия винилхлорида в воде; устойчивость дисперсии обеспечивается добавкой специальных защитных коллоидных растворов. Реакция полимеризации протекает последовательно в двух реакторах и инициируется активаторами при соответствующей температуре. По технологии Hoechst получают обычно два типа высокоударопрочного поливинилхлорида:

- суспензионный продукт, модифицированный с сухим хлорированным полиэтиленом, который также получают по технологии фирмы «Hoechst»;

- поливинилхлорид, модифицированный акрилатом; такой сополимер получают «прививкой» винилхлорида на акриловый латекс по описанной выше суспензионной схеме.

Получение поливинилхлорида по схеме свободнорадикальной полимеризации (блочная полимеризация) предложено компанией «Atochem» (теперь – «Arkema», Франция). Реакция полимеризации проводится в двух реакторах – вертикальных автоклавах: предполимеризаторе и полимеризаторе.

Фирмой «European Vinyls Corp. (Americas), Inc.» разработан процесс эмульсионной (латексной) полимеризации винилхлорида. Для процесса эмульсионной полимеризации используются специальные эмульгаторы, катализаторы и присадки. Установки получения эмульсионного поливинилхлорида действуют в основном в Западной Европе.

Анализ показывает, что с точки зрения технико-экономических показателей суспензионный, блочный и эмульсионный методы полимеризации винилхлорида примерно равноценны. В основу выбора того или иного метода обычно положены требования потребителей к физико-химическим, механическим и прочим характеристикам продукта, а также специфика способов переработки поливинилхлорида в изделия и готовую продукцию.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные стратегические приоритеты в отечественной промышленности пластмасс и синтетических смол.
2. Объясните смысл «золотого» правила, согласно которому для эффективной работы нефтехимического комплекса в его состав необходимо включить производство полиэтилена.
3. По каким причинам полипропилен вытесняет другие полимеры из некоторых областей использования?
4. Какой сектор потребления стирола является наиболее быстроразвивающимся?
5. Какие виды рассмотренных в данной главе полимеров используются в производстве труб для газо- и водопроводов?
6. Какой из методов полимеризации винилхлорида является наиболее перспективным?

ГЛАВА 18

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ НОВЕЙШИХ ОТРАСЛЕЙ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИИ

18.1. Современное положение и перспективы развития малотоннажной химии

Продукты малотоннажной (специальной) химии включают в себя химические реактивы и реагенты (спецхимикаты) – ценные продукты с особыми функциональными качествами:

- электронные химикаты;
- промышленные газы;
- клеи;
- различные защитные покрытия;
- ингибиторы коррозии;
- поверхностно-активные вещества;
- промышленные чистящие химикаты;
- катализаторы;
- пигменты;
- добавки и присадки к топливам, маслам, полимерам;
- вещества с биологической активностью;
- химические средства защиты растений;
- органические реактивы для аналитической химии и различных синтезов.

В мировом химическом производстве сектор специальных химикатов составляет 20–25%, сектор потребительской химии – 10%, а ассортимент химической продукции – более 70 тыс. наименований. В структуре российского химпрома малотоннажной химии не уделяется должного внимания. А ведь ее продукция – это продукция глубоких переделов с высокой добавленной стоимостью. К тому же малотоннажная специальная химия представляет собой быстроразвивающийся инновационный сегмент нефтехимической отрасли, она имеет дифференцированный конечный рынок сбыта, темпы роста которого в 1,5–3 раза превышают темпы роста мирового ВВП.

В последние годы в России наблюдается резкое сокращение спроса на продукцию малотоннажной химии на внутреннем рынке, в первую очередь со стороны высокотехнологичных отраслей промышленности и оборонного комплекса. В течение последних 10 лет

оборонная промышленность в силу ее низкой платежеспособности не обеспечивала необходимого спроса на ряд продуктов малотоннажной химии.

В настоящее время в России прекращено производство некоторых видов полимерных материалов (полиимиды, поликарбонаты), каучуков специального назначения, клеев, герметиков и т. д. Под угрозой закрытия находится производство всех углеродных материалов, необходимых для изготовления конструкционных теплоустойчивых и эрозионно стойких композиционных материалов, используемых в современной авиационной и ракетно-космической технике, атомной промышленности.

В критическом положении находятся более 42% производств, в том числе углеродные, борные, карбидокремниевые волокна; теплоустойчивые органические стекла; термостойкие кремнийорганические и элементоорганические олигомеры; наполнители, пигменты, антипирены и т. д.

Ситуация, сложившаяся в сфере производства материалов для вооружения, военной и специальной техники, требует принятия решений, обеспечивающих защиту государственных интересов и поддержку отечественных производителей.

Таким образом, в производстве малотоннажной химической продукции основными приоритетами являются в первую очередь разработка и организация производства современных композиционных материалов с высокими прочностными, теплоизоляционными и другими специальными характеристиками для авиационно-космического и энергетического машиностроения, двигателестроения, автомобилестроения, металлургии и других высокотехнологичных отраслей.

Затем планируется разработка и организация производства негорючих полиимидных стеклопластиков конструкционного и радиотехнического назначения, стеклокерамических и кремнийорганических стекловолоконистых материалов с высокими эксплуатационными техническими характеристиками, а также разработка способов производства изделий из них.

В перспективе возрастет производство изделий из полимерных материалов, товаров бытовой химии, реактивов и других малотоннажных видов продукции на предприятиях малого и среднего бизнеса.

В настоящее время по заявлению Р. Р. Рамазанова, председателя совета директоров Группы компаний «Миррико» (российской независимой группы инженерно-сервисных компаний, осуществляющей дея-

тельность в области химизации технологических процессов на промышленных рынках России и СНГ), данная сервисная компания для своей работы использует большой ассортимент продукции специальной химии, которая в основном поступает из-за рубежа. Степень обеспечения продукцией собственного производства в России снижается по мере увеличения глубины переработки сырья.

Инновационные специальные химические продукты могут позволить экономике выйти на качественно новый уровень и дать толчок развитию сегментам обрабатывающей, легкой промышленности и сервисным компаниям.

Например, в связи с потерей конкурентоспособности на рынке крупнотоннажной продукции из-за высоких цен на сырье химические компании развитых стран закрывают такие производства, диверсифицируют свой портфель инвестиций в сторону высоких технологий глубокой переработки с производством наукоемкой малотоннажной продукции.

В этой связи показателен пример, как во время кризиса 2009 г. фирмы, обладающие значительными финансовыми резервами, поглощали конкурентов для расширения на рынке высокотехнологичной продукции специального назначения. Причем эти сделки были дорогостоящими, но приносили быстрый экономический эффект.

Так, в начале 2009 г. «BASF» приобрела швейцарскую компанию «Ciba». Благодаря этой сделке «BASF» стала крупнейшим мировым производителем широкой гаммы химических добавок к пластмассам, вторым поставщиком пигментов и смол для покрытий и одним из лидеров в выпуске химикатов для целлюлозно-бумажной промышленности.

Реструктуризация производства, проводимая компанией «BASF», – характерный пример общей посткризисной стратегии химических компаний развитых стран, задача которой – изменение структуры производства в пользу наукоемкой и высокотехнологичной продукции.

Американская компания «Dow Chemical Co.» провела сделку по поглощению фирмы «Rohm and Haas Co.» (США), которая специализировалась на производстве продуктов тонкой химии. Американская нефтяная компания «Ashland Petroleum» приобрела компанию «Hercules Chemical Company» (США), вырабатывающую специальные марки конструкционных и функциональных полимеров.

Цель компаний – занять доминирующее положение в определенном рыночном сегменте, получив соответствующие этому статусу

возможности и преимущества. В дальнейшем, по мере прекращения спада производства, сегментация рынка высокотехнологичной продукции, темпы обновления продукции на существующих рынках и предложение принципиально новых товаров будут превращаться во все более весомый аргумент в конкурентной борьбе.

Согласно «Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса...», производство малотоннажной химической продукции может быть организовано на базе крупнотоннажных химических парков, где в рамках технологических циклов крупнотоннажных производств будет выпускаться продукция специальной химии или сырье для нее. Производство продукции тонкой химии целесообразно разместить в рамках высокотехнологичных кластеров. Соответствующие предприятия должны получить поддержку как на цели обновления и расширения мощностей, так и на цели осуществления инновационных разработок и научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), что позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции, повысить конкурентоспособность отечественной продукции на внутреннем и международном рынках, обеспечить ускоренное импортозамещение на внутреннем рынке, в том числе по продукции специальной химии в сегментах как гражданского, так и оборонного назначения.

Кроме того, по мнению президента Российского союза химиков В. П. Иванова, создание новых и перевооружение старых производств малотоннажной химии должно проходить с участием государства, на основе государственно-частного партнерства (особое внимание следует уделить производству товаров для оборонной промышленности).

18.2. Перспективы развития производства присадок к топливам и маслам

Для производства отечественных моторных и реактивных топлив, а также технических масел, отвечающих мировым требованиям по качеству, необходимо в них вводить присадки различного функционального назначения.

На данный момент насчитывается более 40 типов присадок к топливам, причем четыре или пять имеют особое, стратегическое значение и могут позволить обеспечить конкурентоспособность российских топлив. Без соответствующих присадок нельзя изготовить дизельные топлива, соответствующие требованиям «Евро» по цетановому числу и противоизносным свойствам; автомобильные бензи-

ны, обеспечивающие стотысячекилометровый пробег автомобиля без заметного увеличения токсичности отработанных газов (директива Евросоюза 98/70/ЕС). Потребность в присадках определяется возможностями завода-изготовителя топлива, в некоторых случаях она проявляется, начиная с топлив Евро-3, и становится практически обязательной при Евро-4.

Европейский стандарт EN 590 предусматривает последовательное ограничение содержания серы и ароматических углеводородов. Однако дизельные топлива с пониженным содержанием серы характеризуются плохими смазывающими свойствами, что может вести к преждевременному выходу из строя топливных насосов высокого давления. Снижение смазывающей способности связано с тем, что в процессе гидроочистки удаляются серосодержащие соединения, способные образовывать тонкий граничный слой, выполняющий функции смазочной пленки. Наиболее распространенным способом улучшения смазывающих свойств топлив является применение противозносных присадок. В частности, уфимскими специалистами предложено в качестве таких присадок использовать побочный высокомолекулярный продукт процесса гидроформилирования пропилена, не находящий до настоящего времени квалифицированного применения.

Согласно исследованиям, проведенным в ОАО «ВНИИ НП» в 2008 г., нормам Евро-3 по выбросам в России соответствуют около 50% легковых и 30% грузовых автомобилей. Исходя из структуры автомобильного парка, его потребности в топливах (на территории России вырабатывается более 30 млн т/год топлива) и рабочих концентраций присадок, можно подсчитать их необходимое количество.

Таким образом, наряду с внедрением вторичных процессов переработки нефти (алкилирование, изомеризация и др.), позволяющих улучшить качество моторных топлив, значительное внимание уделяется разработке различных присадок и добавок, придающих моторным топливам такие свойства, в том числе экологические, которые принципиально не могут быть достигнуты технологическими процессами производства топлив. В частности, бензины типа АИ-95 и выше без добавок оксигенатов или антидетонаторов не могут быть изготовлены.

На рынок присадок к топливам в России влияют два фактора:

- рост производства топлив повышенного качества, отвечающих нормам Евро-3, Евро-4 и Евро-5;
- ужесточение требований к присадкам.

В последние годы речь идет не просто о присадках к топливам, а о пакетах присадок. Это объясняется тем, что в одном и том же топливе могут одновременно находиться несколько присадок различных типов, например в дизельных топливах: противоизносные, промоторы воспламенения, депрессорные и т. д. При этом возникают проблемы совместимости присадок, хорошо известные разработчикам моторных масел, давно перешедших на использование именно пакетов. Совместимость, а точнее несовместимость, присадок между собой представляет насущную проблему. Вероятно, если использовать заранее сбалансированные композиции присадок, их расход можно уменьшить.

Повышенная в настоящее время потребность в антидетонаторах может быть удовлетворена, например, при помощи разработанных в ОАО «ВНИИ НП» лабораторных образцов пакетов присадок. Например, совместное введение в бензины хорошо совмещающихся между собой композиций МТБЭ и N-метиланилина (монометиланилина – ММА), производимого из анилина (см. пп. 13.2.4), позволяет усилить антидетонационные и другие полезные свойства топлива в большей степени, чем можно было бы ожидать, проводя опыты с каждой из указанных добавок в отдельности (синергетический эффект). Так, чтобы получить бензин с ОЧ на уровне 98, в бензины с ОЧ, равным 92, достаточно ввести композицию 1% ММА и 10% МТБЭ. Кроме того, использование ММА в смеси с этиловым спиртом также дает синергетический эффект как на антидетонационные свойства, так и на стабилизирующие.

Для решения задачи по увеличению выработки неэтилированных бензинов при отсутствии необходимых инвестиций в строительство установок по производству высокооктановых компонентов необходимо осуществить комплекс мероприятий по разработке технологии и созданию промышленного производства многофункциональных добавок, позволяющих, наряду с повышением ОЧ неэтилированных бензинов, обеспечить высокие экологические характеристики топлив. Базовым компонентом таких присадок могут стать алифатические спирты.

Разработка многофункциональных присадок к автомобильным бензинам, которые способствуют улучшению экологических свойств, обеспечивая существенное снижение вредных выбросов с отработанными газами в процессе эксплуатации автомобиля, является весьма актуальной задачей. Применение таких бензинов позволит на 30–40%

снизить загрязнение воздушного бассейна токсичными компонентами. Многофункциональные присадки на основе этанола позволяют улучшить защитные, экологические, моющие свойства и обеспечивают повышение ОЧ товарных бензинов.

Функциональные добавки (присадки), кроме бензинов, вводятся в дизельные и реактивные топлива, а также в технические масла. В состав этих нефтепродуктов входят присадки или пакет присадок различного функционального назначения.

В частности, для стабилизации авиационных топлив (реактивных керосинов), как правило, используются смеси присадок, обладающих различными функциональными свойствами (ингибиторы окисления и коррозии, деактиваторы металлов, биоциды и др.). В целях снижения количества вводимых присадок более рациональным подходом является применение полифункциональных присадок.

В связи с этим перспективными соединениями могут служить производные 2-аминотиазола [43]. Эти полифункциональные антиоксиданты при их добавлении в гидроочищенное (лишенное серосодержащих соединений, являющихся естественными ингибиторами окисления) базовое реактивное топливо марки РТ (в концентрации 0,01% (масс.)), кроме антиокислительной способности, препятствующей окислению топлив при их хранении, обладают также деактивирующими, антикоррозионными и биоцидными свойствами.

Таким образом, можно спрогнозировать, что в дальнейшем при разработке и моделировании новых видов присадок к топливам и маслам будет недостаточно, чтобы они обладали каким-нибудь одним свойством, т. е. были бы лишь антиоксидантами или деактиваторами металлов. Согласно современной тенденции в развитии химии присадок, важно, чтобы одна добавка действовала бы по нескольким направлениям и такие важные свойства, как, например, ингибирование окисления и коррозии, нейтрализация кислот, дезактивация металлов и возможность пролонгирования свойств, были бы присущи одной вводимой многофункциональной присадке. Кроме того, полностью исключается возможность антагонизма и нежелательного взаимодействия между несовместимыми друг с другом присадками.

18.3. Перспективы развития биотехнологических процессов

Биотехнологическое направление в нефтехимической промышленности позволяет сократить материало- и энергоемкость производств, повысить их эффективность, использовать более доступные и

возобновляемые виды сырья, решать проблемы охраны окружающей среды. Биотехнологические процессы являются мостиком, соединяющим нефтехимическую промышленность с фармацевтикой, агрохимией.

Особенностью биотехнологических процессов является то, что они способны методами живой природы обеспечить человека всем необходимым: питанием, одеждой, энергией, здоровой и чистой окружающей средой. Уже сейчас достигнуты успехи в биотехнологических синтезах кормового белка, микробных полисахаридов, ксилита; получены первые полимерные пленки и волокна. Разработаны технологии биокатализа в химии и нефтехимии, в частности биокаталитический процесс получения оксида пропилена (США), ксилита (Россия) и других продуктов. Биокатализ в применении к нефтехимии позволяет проводить деление цепочек углеводов не при помощи высокой температуры или давления, а за счет деятельности ферментов, что может привести к снижению издержек вдвое, улучшению качества продукции и, что особенно важно, позволит улучшить экологическую ситуацию в местах дислокации химических и нефтехимических производств.

Поэтому неудивительно, что реакции с участием O_2 играют столь большую роль в окружающей нас среде, и особенно в живой природе. Биологический цикл кислорода можно свести к его присоединению в животном мире (процесс дыхания) и выделению в растительном мире (процесс фотосинтеза). Поддержание этого тонкого баланса, на острие которого и существует жизнь, достигается через множество окислительно-восстановительных реакций, регулируемых ферментами – уникальными катализаторами, над совершенством которых природа трудилась миллионы лет.

Хотя искусственные катализаторы далеко не так совершенны, как ферменты, окислительные реакции играют большую роль и в нашей технической деятельности. В течение четырех последних десятилетий в области окислительного катализа достигнуты огромные успехи.

Развитие работ как в области селективного окисления, так и в области защиты окружающей среды рассмотрено в целом ряде книг и обзоров, с которыми периодически выступают ведущие специалисты по катализу. Но есть область окислительного катализа, в которой, несмотря на большие усилия, успехи остаются весьма скромными. Это реакции окислительного гидроксирования парафинов и ароматических соединений. Потребность в таких реакциях велика – это синтез

разнообразных спиртов и фенолов. В настоящее время их получают путем сложных многостадийных процессов. В качестве примера можно привести две простейшие реакции этого типа, которые нередко включают в число 10 труднейших проблем современной химии: окисление метана в метанол и окисление бензола в фенол. Для проведения первой реакции метан сначала превращают в СО и H_2 , а окисление бензола в фенол осуществляют через трехстадийный кумольный процесс.

В то же время в живой природе эти реакции легко протекают с участием ферментов монооксигеназ в одну стадию путем простого присоединения одного атома кислорода к окисляемой молекуле. Попытки понять и воспроизвести уникальную способность монооксигеназ наталкиваются на трудность, связанную с созданием искусственных систем, которые обеспечивали бы столь эффективную активацию кислорода.

Контрольные вопросы

1. Какие группы товаров относятся к продуктам малотоннажной (специальной) химии?
2. С какой целью многие крупные западные компании изменяют структуру производства в пользу наукоемкой и высокотехнологичной продукции?
3. Перечислите основные стратегические приоритеты в производстве отечественной малотоннажной химической продукции.
4. Какие факторы влияют на рынок присадок к топливам в России?
5. По каким причинам применение полифункциональных присадок к топливам является более рациональным, чем использование пакета присадок?
6. Каковы основные преимущества при использовании биотехнологических процессов?

ГЛАВА 19

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В данной главе отражены некоторые прикладные аспекты о прогнозируемых возможностях использования в качестве моторных топлив основных нефтепродуктов, полученных переработкой нефти (перспективные способы получения которых изложены в главе 12) и произведенных из твердого топлива (глава 15), а также товарной продукции нефтехимии и переработки природного газа (о способах производства которых соответственно было рассказано в главах 13 и 14). Кроме того, в предыдущей главе были изложены перспективы и направления применения присадок к топливам. Таким образом, материал данной главы является логическим продолжением и дополнением некоторых моментов, связанных с перспективами дальнейшего использования товарной продукции нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической промышленности.

В мировой практике производства и потребления моторных топлив по состоянию на начало XXI в. прослеживаются три основные варианта общей ориентации сопряженных комплексов двигателестроения и нефтеперерабатывающей промышленности:

1) преимущественно бензиновый вариант, характерный для региона Северной Америки, прежде всего США. Производство и потребление в этом регионе автобензинов на душу населения в 2 раза превышает выработку и потребление дизельных топлив;

2) преимущественно дизельный вариант, характерный для центрального региона Западной Европы, прежде всего Германии, Франции, а также Испании, где потребление дизельного топлива на душу населения в 2–2,7 раза превышает потребление автобензинов;

3) равновесный вариант, присущий в основном Великобритании, где производство и потребление дизельных топлив на душу населения равно производству и потреблению автобензинов.

В последние годы по соотношению моторных топлив для ДВС Россия в сфере потребления тяготеет к равновесному английскому варианту, а в сфере производства – к западноевропейскому, однако при значительно меньших удельных объемах потребления и выработки на душу населения и дизельных топлив, и автобензинов.

За прошедшие 10–15 лет в ряде публиковавшихся прогнозов рынка развивающихся стран отдавалось предпочтение дизельному варианту, который обосновывался экономическими и экологическими преимуществами (меньший расход топлива, меньшие выбросы, меньшая цена). Однако в целом и для этих стран, и для России вопрос не так уж однозначен.

Среди общемировых тенденций следует отметить ускорение дизелизации автомобильного рынка в Европе и сохранение в США соотношения объемов потребления бензина и дизельного топлива.

Согласно среднесрочным прогнозам, в США не ожидается роста потребления бензина. Напротив, наблюдается тенденция снижения потребления автомобильных топлив за счет увеличения на рынке доли гибридных автомобилей и снижения доли автомобилей с большим объемом двигателей и соответственно большим потреблением топлива. Кроме того, последние годы в США активно проводится политика перехода на альтернативные источники энергии и использование этанола.

19.1. Оценка эффективности использования различных альтернативных видов топлива на автотранспорте

В настоящее время нефть является практически единственным источником (95%) производства моторных топлив, на получение которых расходуется около 50% (1,7 млрд т из 4 млрд т) добываемой нефти. Такой колоссальный расход нефти на производство моторных топлив обусловлен быстрым ростом автомобильного парка.

Кроме традиционных моторных топлив нефтяного происхождения: автобензинов и дизельных топлив, в настоящее время находят все более широкое применение так называемые альтернативные виды топлив. Необходимость их разработки и применения обусловлена двумя основными взаимосвязанными причинами:

- быстрым истощением запасов нефти на Земле;
- ухудшением экологической обстановки (особенно в индустриально развитых странах).

Уже в ближайшем будущем на развитие топливной отрасли определяющим образом будет влиять ряд факторов. Ожидаемый рост затрат на поиск, добычу и доставку к местам массового потребления нефтяного сырья в конечном итоге приведет к удорожанию топлива, получаемого из нефти. Повышение требований экологов к качеству производимого моторного топлива также вызывает удорожание переработки исходных нефтяных фракций.

Однако если уменьшение запасов нефти может быть сравнительно легко компенсировано увеличением использования газа и угля при производстве электроэнергии, то топливо для транспорта остается при этом серьезной проблемой. Существующие в настоящее время технические решения, производственные мощности автомобилестроения и перспективные проекты, а также инфраструктура топливозаправочных станций, доставки и распределения топлива – все это ориентировано на жидкое топливо, обладающее определенными физико-химическими свойствами. На сегодняшний день автомобильному транспорту необходимо жидкое топливо.

Таким образом, в настоящее время необходимо серьезно задуматься о поисках возможных путей выхода из грядущих топливных проблем и вести разработку и апробацию различных видов альтернативных топлив и соответствующей инфраструктуры.

Альтернативные топлива можно подразделить на следующие группы.

1. *Газовое топливо:*

- природный газ: метан (CH_4) – сжатый природный газ (СПГ) и сжиженный природный газ (СПГ);
- сжиженный углеводородный газ (СУГ).

2. *Спиртовые и оксигенатные топлива:*

- спирты метанол (CH_3OH), этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), также бензино-метанольные и бензино-этанольные смеси;
- оксигенатные топлива, в состав которых включены простые эфиры, например МТБЭ и МТАЭ.

3. *Диметилвый эфир – ДМЭ (CH_3OCH_3).*

4. *Биотоплива* – моторные топлива, которые получают из возобновляемых, в основном растительных, источников сырья:

- биоспирты – этанол (биоэтанол) и бутанол (биобутанол), полученные из биомассы;
- биодизельное топливо, вырабатываемое из масличных культур (соя, рапс, подсолнечник и т. п.), из отходов производства говяжьего и других животных жиров, а также из водорослей;
- биогаз (основной компонент – метан) – образуется на специальных установках в процессе разложения растительных и животных отходов без доступа воздуха.

5. *Водород (H_2)*, использование которого в качестве моторного топлива для автомобилей может осуществляться по нескольким вариантам:

- применение самого водорода;
- применение водорода совместно с традиционными нефтяными топливами;

- использование водорода как топлива в топливных элементах.

6. *Топливные элементы* – это устройства, вырабатывающие электрическую энергию за счет энергии окислительно-восстановительной химической реакции жидких или газообразных реагентов, непрерывно поступающих к электродам извне, т. е. являются химическими источниками тока непрерывного действия.

Из перечисленных выше альтернативных видов топлива заменой автобензинов (для двигателей с принудительным воспламенением) при небольшой или значительной модернизации двигателей и топливных систем могут служить КПП, СПГ, СУГ, спиртовые и оксигенатные топлива, водород и др.; заменителями дизельного топлива могут выступать КПП, СПГ, ДМЭ, биодизель и др.

Общая классификация альтернативных топлив с разделением их на три группы выглядит следующим образом.

1. Нефтяные топлива с добавками ненефтяного происхождения (спирты, эфиры и пр.), которые по эксплуатационным свойствам близки к традиционным нефтяным топливам, но обладают высокими ОЧ и при их сгорании выбрасывается меньше токсичных продуктов.

2. Синтетические жидкие топлива, близкие по свойствам к традиционным нефтяным топливам, но получаемые при переработке газообразного или жидкого сырья (природный газ, уголь, горючие сланцы, тяжелые нефти и т. п.). В частности, переработка природного газа в синтез-газ и далее в метанол или углеводороды (технология GTL).

3. Нефтяные топлива, существенно отличающиеся по физико-химическим и эксплуатационным свойствам от традиционных нефтяных топлив (спиртовые топлива, природный и попутный газ, водород, и т. п.).

Эффективность применения различных видов топлива в двигателях оценивается с помощью следующих основных критериев:

- уровня вредных выбросов;
- затрат на топливо и инфраструктуру его применения;
- стоимости двигателя.

Эти критерии оценки выбраны как наиболее важные по следующим соображениям. В настоящее время постоянно ужесточаются нормы на допустимые вредные выбросы автомобилем, что вынуждает конструкторов искать новые решения для удовлетворения этих

норм. Первым критерием существенного улучшения экологических характеристик двигателей является применение «экологически чистых» альтернативных топлив (метанола, природного газа и др.), так как эти топлива позволяют не только снизить выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами, но и уменьшить потребление нефтяных топлив.

Второй критерий оценки – затраты на топливо и инфраструктуру – дает возможность оценить издержки на производство, доставку, распределение топлива и эксплуатацию транспортного средства. При работе на альтернативном топливе может существенно изменяться расход горючего на единицу работы, выполняемой автомобилем. Кроме того, цена альтернативного топлива также отличается от цены применяемого сейчас нефтяного топлива.

Третий критерий – стоимость двигателя – характеризует затраты на конвертацию двигателя для работы на альтернативном топливе. В зависимости от вида применяемого топлива могут требоваться различные изменения в конструкции двигателя и его систем от достаточно простых (перерегулировка топливной аппаратуры) до существенного изменения конструкции двигателя (установка газовой аппаратуры). Таким образом, сложность модернизации двигателя будет существенно сказываться на его стоимости.

До настоящего времени не существует единой концепции перехода на производство и использование альтернативных моторных топлив. Поэтому первым шагом в решении этой проблемы является рассмотрение всех видов возможных альтернативных моторных топлив и анализ перспективности их использования.

В табл. 25 [12] представлена оценка относительной эффективности использования различных альтернативных видов топлива на автотранспорте.

Основополагающая роль в разработке и широком использовании альтернативных топлив с улучшенными экологическими свойствами принадлежит государственным органам. В настоящее время наибольшее применение на автотранспорте в качестве альтернативных моторных топлив получили: сжиженный углеводородный газ, сжатый природный газ, этанол, метанол и продукты на их основе.

В качестве моторного топлива сжиженный углеводородный газ используют более 7 млн автомобилей, в основном в странах Азии и Западной Европы. Более 2 млн автомобилей используют сжатый природный газ (Аргентина, Италия, Новая Зеландия и др.).

**Оценка относительной эффективности использования
альтернативных топлив на автотранспорте**

Моторное топливо	Затраты энергии на производство топлива	Стоимость единицы пробега	Пробег на одной заправке
Водород	3,00–4,00	—	—
Диметилловый эфир	1,50–2,00	—	—
Компримированный природный газ	1,30–1,40	0,90–1,00	0,40–0,50
Метанол	1,60	1,50	0,50
Нефтяной бензин*	1,00	1,00	1,00
Сжиженный природный газ	1,10–1,25	0,85–1,10	0,60–0,80
Сжиженный углеводородный газ	1,05	0,70–0,90	1,00
Синтетический бензин из синтез-газа	1,60	1,20	1,00
Этанол	1,70	1,80	0,60

* Нефтяной бензин – 1,00.

Во всем мире растет использование СУГ в качестве моторного топлива или как топлива для коммунально-бытовых нужд. Прогнозируется резкий скачок производства СУГ на уровне около 32%.

Сжиженный углеводородный газ по моторным свойствам близок к бензинам, что обуславливает его эффективное использование в бензиновых двигателях. Несмотря на высокие моторные свойства СУГ и экологическую эффективность в развитых капиталистических странах, доля автомобилей, работающих на СУГ, невелика – 0,23–2,2% (исключение составляют Нидерланды – 7,5%), что объясняется высокими потребительскими качествами СУГ в других промышленных сферах, в первую очередь в нефтехимии и в жилищно-коммунальном секторе.

Широкое использование сжиженного природного газа на мировых рынках обусловлено прежде всего тем, что по ценам он либо сопоставим с жидкими углеводородными видами топлива, либо дешевле их. При этом СПГ является экологически более чистым видом топлива. При условии разработки высоконадежных криогенных баллонов и газодизельных двигателей с турбонаддувом он может стать весьма перспективным топливом для большегрузных автомобилей.

Особенно интенсивно использование СПГ в качестве моторных топлив для автомобилей развивается в США. Так, широко известная компания «Mask» в течение 20 лет занимается производством двигателей на СПГ. При этом практически не наблюдаются потери в грузоподъемности по сравнению с дизельным двигателем.

Сжижение природного газа уменьшает его объем почти в 600 раз, что позволяет уменьшить массу баллонов для хранения в 3–4 раза и объем в 1,5–2 раза. Пробег автомобиля при этом увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с тем же автомобилем, работающим на КПП.

Сопоставление технико-экономических показателей для КПП и СПГ показывает несомненные преимущества последнего. Энергоемкость производства этих видов топлива примерно одинакова. При широкомасштабном производстве СПГ удельные капиталовложения на производство СПГ на 25–30% ниже, себестоимость в расчете на 1000 м³ ниже на 20–40%, приведенные затраты на производство, доставку, распределение ниже на 10–30% по сравнению с КПП.

К основным токсичным веществам, содержащимся в отработавших газах ДВС, относятся несгоревшие углеводороды (C_mH_n), оксид углерода (CO), оксиды азота (NO_x , $x = 1, 2$) и сажа (C).

Образование C_mH_n , CO и C связано с химическими реакциями окисления топлива, протекающими как в процессе смесеобразования, так и во время сгорания топлива. Причиной образования оксидов азота в камере сгорания является превышение максимальной температуры рабочего тела над температурой активации химической реакции образования NO и NO₂.

Наиболее токсичными веществами в отработавших газах автомобилей являются CO, NO_x ($x = 1, 2$) и C_mH_n . В табл. 26 и 27 представлены результаты исследований выбросов в атмосферу от использования различных альтернативных топлив и энергии.

Таблица 26

Общие удельные выбросы углеводородов, г / км

Вид используемого топлива (энергии)	В сфере потребления транспортными средствами	В сфере производства топлива (энергии)	Всего
Бензин	0,20	1,18	1,38
Биодизельное топливо	0,22	0,58	0,80
Дизельное топливо	0,32	0,40	0,72
КПП	0,46	1,18	1,64
Метанол	0,21	0,79	1,00
СУГ	0,19	0,39	0,58
Электроэнергия	0,00	0,80	0,80
Этанол	0,35	1,15	1,50

Источник: «AEA Technology» (Великобритания).

**Удельные выбросы токсичных загрязнителей атмосферы
при работе ДВС на различных видах топлива, г/км**

Вид топлива	Токсичное вещество			
	углеводороды, исключая метан	оксид углерода (CO)	оксиды азота (NO _x)	сажа, ед. дымности
Бензин	0,1–0,2	1,0–2,5	0,25–0,45	–
Дизельное топливо	0,1–0,2	0,2–1,6	0,5–1,8	4–40
КПГ	0,1–0,2	0,5–1,5	0,5–0,9	–
Смесь дизтоплива и КПГ	0,1–0,2	0,2–1,0	0,5–1,8	2–15

Источник: ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Приведенные данные убедительно свидетельствуют о преимуществе двигателей, работающих на бензине и природном газе, перед дизельными с точки зрения чистоты воздуха и охраны общего здоровья, особенно в городах.

Таким образом, меньшие удельные расходы топлива на единицу мощности последних моделей современных ДВС, меньшие затраты металла на изготовление двигателей, меньшие удельные выбросы углеводородов и токсичных загрязнителей на километр пробега, лучшая термодинамика современных бензиновых двигателей по сравнению с дизелями с высокой степенью сжатия (20–22) и определяют экономическую целесообразность ориентации США и ряда других стран на преимущественное производство и потребление в автотранспортных средствах высокооктановых автобензинов, реформулированных по физико-химическому составу.

В то же время производство и потребление на душу населения США дизельных топлив и их качество соответствуют лучшим достижениям западноевропейских стран, ориентированным последнее десятилетие в связи с дефицитом нефти и перепроизводством бензина на импорт дизельных топлив.

19.2. Среднесрочные и долгосрочные прогнозы применения различных видов моторного топлива

Из рассмотрения эколого-экономических характеристик альтернативных топлив для автотранспорта следует, что в расчете на среднесрочную перспективу российской экономике следует от ориентира на равновесный с дизельным уклоном вариант производства и потребления ДВС и моторных топлив постепенно переходить на более прогрес-

сивный и эффективный бензиновый вариант, а при разработке проектов развития отечественной нефтепереработки в целом и крупнейших НПЗ в ее составе прорабатывать балансовые соотношения производства моторных топлив с приоритетом бензинового сценария развития.

Согласно долгосрочным экономическим прогнозам, по мнению Мирового совета по энергии, до 2020 г. природный газ представляется как самое технологически подготовленное топливо для ДВС и с точки зрения подготовки автомобиля требующее минимальных затрат на переоборудование автомобиля с жидкого топлива на газообразное, и с точки зрения запасов природного газа, если его высвободить из производства электро- и тепловой энергии, заменив на уголь, энергию атома, гидроэнергию и т. п. Если данный прогноз оправдается, то вырабатываемые светлые нефтепродукты можно будет использовать для получения другой химической продукции, а не сжигать в качестве топлива.

Согласно прогнозам Минпромэнерго России, потребление бензиновых фракций в химическом комплексе России возрастет в 2015 г. в 1,8 раза по сравнению с 2005 г. Потребление прямогонного бензина на химические нужды увеличится также в 1,8 раза.

Однако для широкого применения указанных выше альтернативных топлив не должно быть никаких экономических и технологических препятствий. Для достижения конкурентоспособности этих топлив их себестоимость не должна быть намного выше аналогичного параметра для традиционных бензинов и дизельных топлив. В частности, на сегодняшний день технический этанол в России является подакцизным товаром, что фактически парализует его производство.

Расчет, выполненный специалистами РНЦ «Курчатовский институт» с учетом отечественных цен на газ, привел их к выводу, что водород будет более дешевым источником энергии по сравнению с бензином.

Европейский совет и Парламент предлагают странам-участницам увеличивать долю альтернативных видов топлива (биотоплива, природный газ, водород) от 2% (об.) (2006) до 23% (об.) к 2020 г.

В США правительство поставило задачу создать 5 млн новых «зеленых» рабочих мест на производствах биотоплива.

Американская компания «Chevron Corp.» (США), являющаяся вторым по величине американским производителем нефти, инвестирует средства в разработку топлива на основе водорослей. Нефтяной гигант сотрудничает в данном вопросе с исследовательской фирмой

«Solazyme, Inc.» из Сан-Франциско. В 2007 г. компания «Chevron Technology Ventures» (дочернее предприятие «Chevron Corp.») и «Solazyme, Inc.» создали партнерство по разработке и испытанию биодизеля из водорослей. В 2009 и 2010 гг. ряд компаний, включая «Solazyme, Inc.», поставили биотопливо, в том числе топливо из водорослей, американским ВМФ и ВМС. Данное биотопливо используется для сертификации и испытаний альтернативного топлива для американских военных самолетов.

Крупные нефтяные («Royal Dutch Shell», «ExxonMobil Corp.», «BP» и др.), химические («Dow Chemical Co.», «DuPont» и др.), энергетические и энергомашиностроительные («Siemens» и др.), автомобилестроительные («Toyota», «General Motors», «Renault», «BMW» и др.), авиационные («The Boeing Company», «Airbus» и др.) и инновационные структуры поддерживают эти инициативы, их вклад в финансирование НИОКР уже превышает финансирование из госбюджета. В рамках ISO¹ функционируют рабочие группы из представителей стран-участниц для разработки международных стандартов и кодов на водородные технологии, оборудование, топливо, что является необходимым условием формирования международного рынка и развития всех форм сотрудничества, включая международное партнерство в разработках и реализации новых проектов.

Европейский Союз и США подписали соглашение о кооперации в исследованиях в области водородных технологий и топливных элементов для энергетики, транспорта и других отраслей. США и Канада, страны ЕС, Япония осуществляют масштабные программы НИОКР в области водородной энергетики с целью ослабления позиций стран-экспортеров нефти. По темпам развития НИОКР и объемам государственного финансирования к этим странам могут присоединиться Китай и Южная Корея.

В марте 2006 г. германский HyWays-проект опубликовал прогнозы проникновения водородного автотранспорта на европейский рынок. Лимитирующими факторами для создания конкурентоспособных источников тока на основе топливных элементов является разработка и реализация новых технологий получения материалов, используемых в топливных элементах: материалов для электродов и наноразмерных электрокатализаторов; ионопроводящих мембран; биполярных контактных пластин.

¹ ISO – International Organization for Standardization = Международная организация по стандартизации.

Отечественные прогнозисты Б. Н. Кузык и Ю. В. Яковец считают, что вслед за технологической революцией в области связи, совершившейся в последние десятилетия XX в. и связанной с освоением спутниковой связи и мобильных телефонов, в первые десятилетия XXI в. предстоит развертывание технологического переворота на транспорте. Ныне преобладающие системы транспорта – автомобильного, водного, воздушного, трубопроводного – в основном исчерпали потенциал технологического развития, являются крупными загрязнителями окружающей среды и подлежат замене принципиально новыми транспортными системами на основе нового технологического уклада. Речь может идти об электромобилях и автомобилях с водородным двигателем, системах тросового транспорта, экранопланах (гибриде корабля и самолета), новых поколениях экологически чистых двигателей, навигационных системах регулирования транспортного движения, сокращающих опасность аварий.

По мнению ученых, широкое коммерческое использование для автотранспорта таких альтернативных видов топлива и энергии, как водород, топливные элементы, электричество, основанные на возобновляемых источниках, можно ожидать не ранее 50-х гг. XXI в.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные варианты развития общего комплекса двигателестроения и нефтеперерабатывающей промышленности.
2. Какими причинами обуславливается необходимость разработки и применения альтернативных видов топлива?
3. Какие альтернативные виды топлив могут служить заменой автобензинов?
4. Какие альтернативные топлива могут заменить дизельное топливо?
5. При помощи каких критериев оценивается эффективность применения различных видов топлива в двигателях?
6. Чем обуславливается использование различных видов альтернативного моторного топлива в странах Западной Европы и США?
7. Каковы глобальные прогнозы относительно появления новых видов транспорта и транспортных систем в XXI в.?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебнике рассмотрены основные принципы методологии технологического прогнозирования и конкретные методики составления прогнозов НТП различных масштабов, многие из методик дополнены конкретными примерами их применения на практике. На основании анализа и обобщения материала, опубликованного в отечественных и зарубежных монографиях, учебных пособиях, периодической печати, статистических сборниках, а также интернет-сайтах, рассмотрены состояние и прогнозируемые возможности энерго- и ресурсосбережения; перспективы возможных изменений в мировом топливно-энергетическом балансе; некоторые прогнозы достижений отечественной и зарубежной науки и практики в области совершенствования технологий и оборудования на предприятиях нефтяной и газовой, химической промышленности.

При составлении книги автором использован педагогический опыт преподавания затронутых в учебнике вопросов в Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете), Санкт-Петербургском государственном инженерно-экономическом университете (ИНЖЭКОН, с 2013 г. – Санкт-Петербургский государственный экономический университет), Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого и Вирумааском колледже Таллинского технического университета (г. Кохтла-Ярве).

Автор учебника надеется, что читатели получат представление о сущности методологии технологического прогнозирования и используемых в его рамках основных методиках составления прогнозов НТП. Кроме того, при ознакомлении с основными принципами прогнозирования и приведенными данными о современном состоянии и перспективах развития различных промышленных производств у читателей появится желание более глубоко изучить затронутые в учебнике вопросы, например воспользоваться литературными источниками из основной части библиографического списка или периодическими изданиями из приложения.

Совместное изучение и анализ различных областей знаний (естественнонаучной, инженерной и гуманитарной) позволяют создать полную и сбалансированную систему представлений о каком-либо объекте исследования. Это подтверждает мысль В. И. Вернадского о том, что рост научного знания XX века быстро стирает грани между

отдельными науками; мы все больше специализируемся не по наукам, а по проблемам.

В заключение хочется еще раз напомнить читателям, что на современном этапе технологического развития основным экономическим ресурсом является постоянно обновляющаяся технологическая информация, которая основывается на достижениях естественных наук и инженерном знании. Доступность современных литературных источников, знание о настоящем и прошлом различных объектов исследования, а также фундаментальные знания о различных поисковых и нормативных методах прогнозирования помогут будущим бакалаврам правильно понять роль и место технологических нововведений в сложной современной экономике, взаимосвязь динамики конкуренции и научно-технического прогресса в современных экономических условиях.

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

Адгезия – сцепление поверхностей двух разнородных твердых или жидких тел.

Азотные удобрения – минеральные и органические вещества, применяемые как источник азотного питания растений.

Альтернативная энергетика – совокупность перспективных способов получения энергии, которые распространены не так широко, как традиционные.

Аммиак (NH_3) – простейшее химическое соединение азота с водородом; один из важнейших продуктов химической промышленности; используется для получения азотной кислоты, азотсодержащих солей, мочевины, синильной кислоты, соды, а имеющий большую теплоту испарения жидкий аммиак служит рабочим веществом холодильных машин, кроме того, жидкий аммиак и его водные растворы применяются как жидкие удобрения.

Анализ – метод исследования, состоящий в расчленении исследуемого предмета или явления.

Аналогия – вывод, сделанный о свойствах одного предмета на основании его сходства с другим предметом; данный метод тесно связан с индуктивными исследованиями.

Анилин ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) – бесцветная жидкость со слабым запахом, широко используется в производстве проявителей для фотографии (*n*-аминофенол и др.), ускорителей вулканизации каучука, взрывчатых веществ, фармацевтических препаратов и др.

Антрацит – ископаемый уголь наиболее высокой степени углекислотности; высокая удельная теплота сгорания антрацита обуславливает его основное использование в качестве энергетического топлива.

Атомная селективность – отношение молекулярной массы целевого продукта к сумме молекулярных масс всех образовавшихся веществ с соответствующими стехиометрическими коэффициентами.

Ацетон (CH_3COCH_3) – бесцветная жидкость с характерным запахом, широко применяется как растворитель (особенно для нитро- и ацетилцеллюлозы) и как исходный продукт в производстве кетена, иодоформа, изопрена, эфиров метакриловой кислоты и т. д.

Баррель – мера вместимости и объема, применяемая в США, Англии и ряде стран, использующих английскую систему мер; нефтяной баррель составляет 158,988 л.

Башмак обсадной колонны – элемент оснастки обсадных колонн, представляющий собой кольцевую деталь нижней части обсадной колонны труб для предотвращения возможных ее повреждений при спуске.

Бензол (C_6H_6) – подвижная бесцветная летучая жидкость со своеобразным резким запахом, является важнейшим сырьем химической промышленности, в частности, используется для получения: нитробензола, бензолсульфокислоты, этилбензола, изопропилбензола, хлорбензола, циклогексана, кроме того, применяется в производстве взрывчатых веществ, а также как растворитель и экстрагирующее средство в производстве лаков, красок и др.

Биогаз – газ (основной компонент – метан), образующийся на специальных установках в процессе разложения растительных и животных отходов без доступа воздуха.

Биодизельное топливо – топливо для дизельных двигателей, вырабатываемое из масличных культур (соя, рапс, подсолнечник и т. п.), из отходов производства говяжьего и других животных жиров, а также из водорослей.

Биоспирты – этанол (биоэтанол) и бутанол (биобутанол), полученные из биомассы.

Биотоплива – моторные топлива, которые получают из возобновляемых, в основном растительных, источников сырья.

Бурые угли – разновидность каустобиолитов, имеющая невысокую степень углефикации, являясь переходной формой от торфа к каменным углям.

Бутадиен (дивинил, $H_2C=CHCH=CH_2$) – бесцветный газ с характерным запахом, легко полимеризуется и сополимеризуется с образованием ценных каучуков.

Бутаны (C_4H_{10}) – газы без цвета и запаха; из *n*-бутана получают бутадиен, из изобутана – изобутилен, также неогексан и изооктан – ценные добавки к моторному топливу; кроме того, бутан в смеси с пропаном и другими углеводородами используют как газообразное топливо.

Валовой внутренний продукт (ВВП) – рыночная стоимость всех конечных товаров и услуг, произведенных за год во всех отраслях экономики на территории государства для потребления, экспорта и накопления, вне зависимости от национальной принадлежности использованных факторов производства.

Валовой национальный продукт (ВНП) – в отличие от ВВП, отражает совокупную стоимость конечных товаров и услуг, созданных не только внутри страны, но и за ее пределами. ВНП рассчитывается так же, как и ВВП, но отличается от него на величину, равную сальдо расчетов с зарубежными странами.

Венчурный бизнес – рискованный научно-технический или технологический бизнес, связанный с осуществлением инновационной деятельности.

Винилхлорид ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) – бесцветный газ со слабым запахом, напоминающим запах хлороформа, широко применяемый для производства поливинилхлорида и сополимеров с другими винильными соединениями.

Висбрекинг – один из видов термического крекинга (неглубокий термический крекинг); является одним из самых дешевых процессов переработки тяжелого сырья.

Водород (H_2) – газ, не имеет цвета, запаха и вкуса, в настоящее время широко применяется в химической промышленности, главным образом для производства аммиака, также используется в производстве метилового и других спиртов, синтетического бензина (синтина) и других продуктов, получаемых синтезом из водорода и оксида углерода; водород применяют для гидрогенизации твердого и тяжелого жидкого топлив, жиров и др., для синтеза HCl , для гидроочистки нефтепродуктов, в сварке и резке металлов и в атомно-водородной сварке.

Воображение – способность сознания создавать образы, представления, идеи и манипулировать ими; играет ключевую роль в следующих психических процессах: моделировании, планировании, творчестве, игре, человеческой памяти.

Вооружение (породоразрушающего инструмента) – совокупность элементов (зубьев, штырей, и т. п.), непосредственно разрушающих породу.

Высокомолекулярные соединения – вещества, молекулы которых содержат сотни и тысячи атомов, соединенных между собой химическими связями.

Выход продукта – отношение количества полученного продукта к теоретически возможному количеству (по стехиометрическому уравнению) в расчете на поданное сырье; численно определяется как произведение селективности и конверсии.

Газификация – процесс превращения органической массы твердых топлив (углей, торфа, сланцев) в горючий газ, состоящий главным образом из CO и H₂, при высокой температуре в присутствии окислителя (газифицирующего агента); проводится в газогенераторах, поэтому получаемые газы называются генераторными.

Газовые гидраты – кристаллические соединения, по виду напоминающие спрессованный снег, которые образуются при определенных условиях из воды и газа.

Газовый бензин – продукт полукоксования, представляющий собой смесь низкокипящих ароматических, нафтоароматических и олефиновых углеводородов, остающихся в парообразном состоянии в первичном газе после конденсации из него первичной смолы и воды; используется как компонент высокооктановых бензинов.

Газовый конденсат – смесь жидких углеводородов с газом в пластовых условиях.

Гелий (He) – инертный газ без цвета и запаха, который широко применяют для создания защитной атмосферы при плавке, резке и сварке активных металлов, для охлаждения атомных реакторов; жидкий гелий – самая холодная жидкость на Земле, служит хладагентом при проведении различных научных исследований.

Гидроразрыв пласта – формирование трещин в массивах газо-, нефте-, водонасыщенных и других горных породах под действием подаваемой в них под давлением жидкости.

Государственное прогнозирование – разработка научными организациями по заказу государственных органов прогнозов социально-экономического, научно-технического, экологического, территориального и внешнеэкономического развития.

Дальнесрочный (сверхдолгосрочный) – прогноз, рассчитанный на перспективу, когда ожидаются столь значительные качественные

изменения, что по существу можно говорить лишь о самых общих перспективах развития природы и общества.

Дедукция – метод мышления, при котором частное положение логическим путем выводится из общего.

Диверсификация – расширение сферы производства за счет включения в нее новых продуктов (в торговле – расширение ассортимента выпускаемой продукции и переориентация рынков сбыта).

Диметиловый эфир (ДМЭ, CH_3OCH_3) – бесцветный газ с характерным запахом, химически инертный, используется как экологически чистое топливо, не содержащее серу.

Добавленная (добавочная) стоимость – часть стоимости товаров, услуг, приращенная непосредственно на данном предприятии, в данной фирме; определяется как разность между выручкой от продажи продукции, товаров, услуг, произведенных фирмой, и ее затратами на закупку материалов и полуфабрикатов.

Долгосрочный прогноз – прогноз, рассчитанный на перспективу не только количественных, но преимущественно качественных изменений.

Дорожная карта – в американской культуре этот термин в одном из переносных смыслов означает «план, как двигаться дальше», планы на будущее, на перспективу; наглядное представление сценария развития.

Дюкер – напорный водовод, прокладываемый под руслом реки или канала, по склонам и дну глубокой долины (оврага), под дорогой и т. п. для пропуска пересекающего их водотока (канала).

Естественные прогнозы – метеорологические, гидрологические, геологические, биологические, медико-биологические, космологические, физико-химические прогнозы явлений микромира.

Изменение в технологии – любое изменение в пространстве перемещения технологии, достигнутое путем перемещения технологии.

Изопрен ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CH}_2$) – бесцветная, подвижная, легколетучая, горючая жидкость с характерным запахом, применяется для производства изопреновых каучуков и бутилкаучука.

Ингибиторы – вещества, тормозящие разнообразные процессы (в частности, химические ингибиторы тормозят химические реакции, а ингибиторы коррозии снижают скорость коррозии).

Индукция – предвосхищение результатов наблюдений и экспериментов на основе данных прошлого опыта.

Инновация – использование достижений человеческого разума в виде новых идей, открытий, изобретений, усовершенствований чего-либо для повышения эффективности какой-либо деятельности или получения нового продукта.

Интегральное макропрогнозирование – особая методология долгосрочного прогнозирования макропоказателей, соединяющая в себе циклично-генетический, цивилизационный и балансовый подходы.

Интенсивное развитие предприятия – рост производства за счет более эффективного использования факторов производства, т. е. за счет внедрения новых, более эффективных технологий посредством обновления основных фондов, улучшения организации производства, совершенствования использования основных, оборотных фондов, повышения квалификации рабочей силы и совершенствования научной организации труда.

Интернаучные методы (в прогностике) – методы, которые применяются для прогнозирования объектов не менее чем в двух науках.

Интерполяция – способ приближенного вычисления значения величины, находящегося между двумя известными значениями.

Интуиция (в прогностике) – чутье, проницательность, непосредственное постижение истины без логического обоснования, основанное на воображении, предшествующем опыте и т. п.

Исследовательский (поисковый) прогноз – определение возможных состояний явления в будущем (т. е. формулирование целей).

Кавитация – образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью.

Калийные удобрения – минеральные вещества, используемые как источник калия для питания растений (хлористый калий, сульфат калия, зола и др.).

Каменные угли – разновидность каустобиолитов, занимающая промежуточное положение (по метаморфизму) между бурыми углями и антрацитом.

Катализаторы – вещества, изменяющие скорость химических реакций посредством многократного промежуточного химического

взаимодействия с участниками реакций и не входящие в состав конечных продуктов.

Каустобиолиты – горючие ископаемые органического происхождения, представляющие собой продукты преобразования остатков растительных, реже – животных, организмов под воздействием геологических факторов.

Кероген – органическое вещество, например, входящее в состав горючих сланцев, нерастворимое в органических растворителях.

Когезия – сцепление молекул (атомов, ионов) физического тела под действием сил притяжения.

Кокс – искусственное твердое топливо повышенной прочности, получаемое при нагревании до высоких температур (950–1050°C) без доступа воздуха природных топлив или продуктов их переработки.

Коксование – разложение при высокой температуре без доступа воздуха твердых и жидких горючих ископаемых с образованием летучих веществ и твердого остатка – кокса.

Колтюбинговые технологии – использование в буровом деле длинномерных безмуфтовых труб.

Комплексные удобрения – удобрения, содержащие 2–3 основных питательных вещества (N, P₂O₅, K₂O) растений.

Конверсия (степень превращения сырья) – отношение количества вещества, вступившего в химическое взаимодействие с другим веществом, к количеству этого же вещества, поданного в реактор.

Коэффициент нефтеотдачи (коэффициент извлечения нефти) – отношение величины извлекаемых запасов к величине геологических запасов.

Краткосрочный прогноз – прогноз, рассчитанный на перспективу только количественных изменений.

Крекинг – высокотемпературная переработка нефти и ее фракций с целью получения, как правило, продуктов меньшей молекулярной массы: моторных топлив, смазочных масел и т. п., а также сырья для химической и нефтехимической промышленности.

Ксилолы (диметилбензолы C₆H₄(CH₃)₂) – три изомера (орто-, мета-, пара-) – бесцветные жидкости, которые служат растворителями, высокооктановыми добавками к авиационным бензинам; наибольшее

значение имеет *n*-ксилол, используемый при производстве терефталевой кислоты.

Лицензиар – одна из сторон лицензионного соглашения, предоставляющая другой стороне – лицензиату – право на использование объекта лицензии (изобретения, технологии, технического опыта и прочих форм промышленной собственности).

Лицензиат – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, имеющее лицензию на осуществление конкретного вида деятельности.

Математическая статистика – наука, разрабатывающая математические методы систематизации и использования статистических данных для научных и практических выводов.

Матричный метод (в прогностике) – нормативный метод прогнозирования, в котором задаются конечные цели и в процессе прогнозирования определяются пути и средства их достижения.

Метан (CH_4) – бесцветный газ без запаха, который широко используется как бытовое и промышленное топливо и как сырье для получения метилхлорида, метиленхлорида, хлороформа, тетрахлорида углерода, формальдегида, сероуглерода, ацетилена, синильной кислоты, синтез-газа, а также в качестве источника водорода.

Метанол (метилловый спирт, CH_3OH) – бесцветная жидкость с запахом, подобным запаху этилового спирта, которая применяется главным образом в производстве формальдегида, различных эфиров (например, диметилтерефталата – исходного сырья в производстве синтетического волокна лавсан), алкилгалогенидов и др.

Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ, $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$) – бесцветная жидкость с эфирным запахом, которая применяется в качестве добавки к моторным топливам, повышающей октановое число бензинов (антидетонатор), а также в производстве высокооктановых бензинов, при этом выступает как нетоксичный, но менее теплотворный высокооктановый компонент и как оксигенат (носитель кислорода), способствующий более полному сгоранию топлива и предотвращению коррозии металлов.

Метод Дельфи (Делфи) – один из наиболее распространенных методов прогнозирования – состоит в обобщении и статистической обработке мнений специалистов относительно перспектив развития той или иной области и смежных областей.

Метод проб и ошибок – метод перебора возможных вариантов; является врожденным методом мышления человека.

Метод экспертных оценок – опрос экспертов с целью упорядочить, объективизировать субъективные оценки прогнозного характера.

Методы ассоциаций – использование данных, полученных при анализе какого-либо одного типа событий, для предсказания событий другого типа (применяются для событий, характеристики которых не поддаются точному количественному описанию).

Моделирование (в прогностике) – построение поисковых и нормативных моделей с учетом вероятного или желательного изменения прогнозируемого явления на период упреждения прогноза по имеющимся прямым или косвенным данным о масштабах и направлении изменений.

Наблюдение – фиксация явления, его свойств и отношений.

Наводораживание – процесс диффундирования (проникновения) водорода в кристаллическую решетку металлов, приводящий к повышению его хрупкости и снижению прочности.

Научно-технические (инженерные) прогнозы – прогнозы, которые охватывают перспективы состояния материалов и режима работы механизмов, машин, приборов, электронной аппаратуры, всех явлений техносферы.

Нафта – бензиновые фракции прямой перегонки.

Нефтеотдача – мера полноты извлечения нефти из пласта.

Нефтепродукты – смеси углеводородов и некоторых их производных, а также индивидуальные химические соединения, получаемые при переработке нефти и используемые в качестве топлив, смазочных материалов, электроизоляционных сред, растворителей, дорожных покрытий, нефтехимического сырья и для других целей.

Нормативный (целевой) прогноз – это определение путей и сроков достижения возможных состояний явления, принимаемых в качестве цели.

Общенаучные методы (в прогностике) – методы прогнозирования, основанные на применении определенной последовательности мыслительных операций к объекту прогнозирования, в результате чего делается система выводов относительно связи объекта прогноза и

теми условиями, в которых он существует; в состав общенаучных методов прогнозирования входит весь арсенал средств, которым располагает в настоящее время логика научного исследования.

Общественно-ведческие (социально-экономические) прогнозы – социально-медицинские, социально-географические, социально-экологические, социально-космические, экономические, социологические, психологические, демографические, филолого-этнографические, архитектурно-градостроительные, образовательно-педагогические, культурно-эстетические, государственно-правовые, внутривполитические, внешнеполитические, военные.

Односторонние минеральные удобрения – вещества неорганического происхождения, которые содержат преимущественно какой-либо один питательный элемент; к ним относятся: азотные, фосфорные и калийные удобрения.

Оксигенатные топлива – моторные топлива, в состав которых включены простые эфиры, например МТБЭ.

Оксосинтез (гидроформилирование) – получение альдегидов взаимодействием ненасыщенных соединений с синтез-газом в присутствии катализатора.

Оперативный (текущий) прогноз – прогноз, рассчитанный на перспективу, на протяжении которой не ожидается существенных изменений объекта исследования – ни количественных, ни качественных.

Организационный прогноз – частный случай нормативного прогноза, задачей которого является оценка перспектив роста научного потенциала и указания ориентировочных размеров ресурсов, необходимых для достижения целей развития (например, научно-технического).

Пакер – устройство для разобщения пластов в скважине при их раздельной эксплуатации.

Первичная смола – летучий продукт полукоксования, содержащий парафиновые, олефиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды, фенолы, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, асфальтены, сераорганические вещества и др.; применяется для получения жидких топлив и смазочных масел, бензола и толуола, лаков, красителей, клеев, пластических масс и др.

Первичный газ – летучий продукт полукоксования, содержащий метан, олефины (главным образом этилен), водород и др.; применяется как отопительный газ на установках полукоксования и для коммунально-бытовых целей.

Перемещение технологии – сложный процесс, происходящий в пределах некоего пространства и подразделяющийся на вертикальную (последовательность: открытие, изобретение, воплощение, разработка) и горизонтальную (например, практическое применение и эксплуатация) составляющие.

Период упреждения – промежуток времени, на который рассчитан прогноз.

Пиролиз – процесс термического пиролиза углеводородного сырья; является основным способом получения низших олефинов (этилена и пропилена).

План – решение относительно системы мероприятий, предусматривающей порядок, последовательность, сроки и средства их выполнения.

Подземная газификация – превращение твердых топлив (угля, горючих сланцев) непосредственно на месте их залегания в недрах земной коры в горючий газ, который выводят на поверхность через буровые скважины.

Подсмольная вода – продукт полукоксования, образуется из влаги, содержащейся в исходном топливе, и пирогенетической воды; является одним из наиболее вредных видов промышленных сточных вод, основные компоненты: NH_3 , фенолы, карбоновые кислоты.

Поливинилхлорид ($[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$) – преимущественно линейный термопластичный полимер применяется для получения свыше 3000 видов материалов и изделий, используемых для разнообразных целей в электротехнической, легкой, пищевой промышленности, тяжелом машиностроении, судостроении, сельском хозяйстве, медицине, в производстве стройматериалов.

Полипропилен ($[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-]_n$) – термопластичный полимер пропилена служит для изготовления волокон и пленок, деталей машин, профилированных изделий, труб (для агрессивных жидкостей), различной арматуры, контейнеров, бытовых изделий и др.

Полистирол ($[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$) – прозрачное стеклообразное вещество, которое используется для изготовления предметов бытовой

техники и домашнего обихода, упаковки, игрушек, фурнитуры, пленки, для получения пенополистирола (пенопласта). Из ударопрочного полистирола и АБС-пластика изготавливают, кроме того, корпуса радио- и телеаппаратуры, детали автомобилей, холодильников, мебель, трубы и др.

Полиэтилен $[-CH_2CH_2-]_n$ – термопластичный полимер белого цвета, служит для изготовления пленки, труб (в том числе для сточных вод и агрессивных жидкостей, магистральные трубопроводы), профилированных изделий, изоляции для проводов и кабеля, емкостей (бутыли, канистры, цистерны), гальванических ванн, санитарно-технических изделий, волокон и др.

Полукок – легко воспламеняющийся пористый углеродсодержащий продукт, обладающий высокой реакционной способностью; используется как энергетическое и бытовое бездымное топливо, а также для газификации с целью получения синтез-газа.

Полукоксование – нагревание сырья (бурых углей и горючих сланцев, реже – каменного угля и торфа) без доступа воздуха при температуре, примерно вдвое более низкой, чем температура коксования, с целью получения главным образом твердого остатка (полукокса), а также летучих продуктов.

Попутный газ (попутный нефтяной газ) – природный газ, добываемый из нефтяных месторождений.

Превентор – устройство для герметизации устья буримой скважины; служит для предотвращения открытого фонтанирования нефти или газа.

Предвидение – общее понятие, объединяющее все разновидности получения информации о будущем (прогнозирование является частным случаем предвидения).

Предположение – недоказанное утверждение, гипотеза или догадка.

Предсказание – описание возможных или желательных перспектив, состояний, решений проблем будущего.

Предупреждение – решение проблем будущего, с использованием информации о нем для целенаправленной деятельности личности и общества.

Природный газ – газообразные углеводороды, добываемые из газовых и газоконденсатных месторождений.

Прогноз – научно обоснованное представление о будущем, фиксирующее в понятиях какой-либо области познания ненаблюдаемое событие и содержащее указание на пространственный или временной интервал (закрытый и конечный), внутри которого произойдет прогнозируемое событие.

Прогностика – научная дисциплина о закономерностях разработки прогнозов; имеет своим предметом исследование законов и способов прогнозирования.

Программа – решение относительно совокупности мероприятий, необходимых для реализации научно-технических, социальных, социально-экономических и других проблем или каких-то их аспектов.

Программный прогноз – частный случай нормативного прогноза, задачей которого является нахождение возможных путей достижения ранее поставленных целей.

Проект – решение относительно конкретного мероприятия, сооружения, необходимого для реализации того или иного аспекта программы.

Производственная мощность – показатель, отражающий максимальную способность предприятия (подразделения, объединения или отрасли) по осуществлению выпуска товарной продукции в натуральных или стоимостных единицах измерения, отнесенных к определенному периоду времени (смена, сутки, месяц, квартал, год).

Промоторы – активаторы, вещества, добавление которых к катализатору увеличивает его активность, избирательность или устойчивость.

Пропан (C_3H_8) – бесцветный горючий газ, без запаха служит для получения пропилена, нитрометана (в смеси с нитроэтаном и нитропропаном); используют также как растворитель (например, при депарафинизации нефтепродуктов), в смеси с бутаном – как бытовой газ.

Пропант (пропант) – гранулообразный материал, который используется в нефтедобывающей промышленности для повышения эффективности отдачи скважин с применением технологии гидроразрыва пласта.

Пропилен ($CH_3CH=CH_2$) – термопластичный полимер пропилена служит для изготовления волокон и пленок, деталей машин, профилированных изделий, труб (для агрессивных жидкостей), различной арматуры, контейнеров, бытовых изделий и др.

Ресурсосберегающая эффективность технологии – ресурсосберегающая эффективность инвестиций, направленных на реализацию данной технологии.

Решение (в прогностике) – идеально предположенное действие для достижения цели.

Селективность (избирательность) – отношение количества полученного продукта к теоретически возможному количеству (по стехиометрическому уравнению) в расчете на превращенное сырье.

Синергетический (сверхсуммарный) эффект – интегрированное воздействие, значительно превосходящее сумму эффектов раздельного применения методов.

Синтез – процесс соединения или объединения ранее разрозненных вещей или понятий в целое или набор.

Синтез-газ – смесь оксида углерода (CO) и водорода (H₂), которая может быть получена из различных углеродсодержащих видов сырья: уголь, торф, природный и попутный газы, фракции нефти, остатки от переработки нефти, а в перспективе планируется его получать из городских и сельскохозяйственных отходов.

Скин-эффект – неоднородное распределение флюидов в продуктивном пласте (ухудшение коллекторских свойств).

Сланцевая революция – внедрение в промышленную эксплуатацию эффективных технологий добычи газа из залежей плотных пород (алевритов, аргиллитов и сланцев), а также легкой нефти низкопроницаемых коллекторов, которое произошло в США в начале XXI в.

Среднесрочный прогноз – прогноз, охватывающий перспективу между кратко- и долгосрочным с преобладанием количественных изменений над качественными.

Стирол (C₆H₅CH=CH₂) – жидкость со специфическим запахом, которая применяется главным образом для производства полистирола, а также различных сополимеров, в том числе бутадиен-стирольных каучуков, полиэфирных смол, сополимеры стирола с дивинилбензолом служат ионообменными смолами.

Теория вероятностей – раздел математики, изучающий закономерности случайных явлений: случайные события, случайные величины, их свойства и операции над ними.

Термолиз – превращение органических соединений в результате их деструкции под действием высокой температуры без доступа воздуха.

Технологическое прогнозирование – единый комплекс из составляющих его исследовательского (поискового) и нормативного прогнозов.

Толуол ($C_6H_5CH_3$) – бесцветная горючая жидкость, по запаху напоминающая бензол, которая применяется в производстве красителей, взрывчатых веществ, фармацевтических препаратов и различных полупродуктов; используется в качестве растворителя при получении пластмасс, лакокрасочных материалов, типографских красок, в резиновой промышленности и др.

Топливные элементы – устройства, вырабатывающие электрическую энергию за счет энергии окислительно-восстановительной химической реакции жидких или газообразных реагентов, непрерывно поступающих к электродам извне, т. е. являются химическими источниками тока непрерывного действия.

Удобрения – вещества, применяемые для улучшения питания растений, свойств почвы, повышения урожая; их эффект обусловлен тем, что данные вещества предоставляют растениям один или несколько дефицитных химических компонентов, необходимых для их нормального роста и развития.

Уксусная кислота (CH_3COOH) – бесцветная жидкость с резким запахом и кислым вкусом (для безводной («ледяной») уксусной кислоты, которая используется в производстве эфиров, применяемых как душистые вещества, растворители, лекарственные средства (ацетилсалициловая кислота, фенацетин), является сырьем в синтезе хлоруксусных кислот, растворитель в производстве ацетилцеллюлозы.

Умозрение (в прогностике) – познание действительности путем созерцания и теоретического размышления, в отрыве от практики и опыта.

Фенол (карболовая кислота, C_6H_5OH) – бесцветные кристаллы с характерным запахом, розовеющие при хранении, обладает бактерицидным действием, в медицине используется в виде разбавленных водных растворов для дезинфекции помещений и предметов больничного обихода; кроме того, является важным сырьем в производстве ряда ценных продуктов: фенолоальдегидных смол, фенолфталеина, циклогексанола, поликапроамида, также применяется для произ-

водства поверхностно-активных и душистых веществ, красителей, лекарственных средств (салициловой кислоты).

Форсайт – методология организации процесса, направленного на создание общего у участников видения будущего, которое стремятся поддержать все заинтересованные стороны своими сегодняшними действиями; методология формирования будущего.

Фосфорные удобрения – минеральные и органические вещества, содержащие фосфор и используемые для улучшения фосфорного питания растений; являются единственным источником пополнения запасов фосфора в почве.

Хеджер – категория игроков на бирже, совершающих операции с целью защиты активов от колебаний цен.

Цель – решение относительно предположенного результата предпринимаемой деятельности.

Частнонаучные методы (в прогностике) – методы прогнозирования, имеющие в зависимости от конкретной науки свою специфику и методологию.

Шихта – смесь исходных материалов, подлежащих переработке в металлургических, химических и других агрегатах.

Штрипс – стальная полоса (шириной 30–400 мм и толщиной 1,75–10 мм), используемая в качестве заготовки при производстве сварных труб.

Эконометрическая модель – статистическая модель поведения экономического объекта, построенная методами экономико-математического моделирования.

Экономическое прогнозирование – процесс формирования вероятностных суждений о состоянии экономических процессов и явлений в определенный момент в будущем и об альтернативных путях их достижения.

Эксперимент – наблюдение при контролировании процесса наблюдаемого объекта.

Экстенсивное развитие предприятия – увеличение производства за счет количественного расширения самих факторов производства, т. е. увеличения числа работников без повышения квалификации, расширения потребления материальных ресурсов без улучшения

эффективности их использования, за счет роста капиталовложений без улучшения технологий.

Экстраполяция (в прогностике) – распространение установленных в прошлом тенденций на будущий период.

Экструзия – технология получения изделий путем продавливания расплава полимера через формующее отверстие.

Энергетическая революция – смена тенденции роста потребления углеродного топлива на тенденцию его устойчивого снижения, что приведет к замене ресурсной и технологической базы энергетики с доминирующей углеродной на «равноправную» или даже преимущественно возобновляемую и «чистую».

Энергетический КПД – затраты энергии на получение целевой продукции.

Энергосбережение (в промышленности) – система научно-технических и организационных мер, обеспечивающих получение продукции по конкретной технологии при существенно меньших затратах энергии.

Этан (C_2H_6) – бесцветный горючий газ без запаха, применяется (чаще в смеси с пропаном) для получения этилена, этилхлорида; продукты хлорирования, нитрования, окисления этана – сырье промышленного органического синтеза.

Этанол (этиловый спирт, C_2H_5OH) – бесцветная подвижная жидкость с характерным запахом и жгучим вкусом, которая применяется как растворитель (в лакокрасочной, фармацевтической и парфюмерно-косметической промышленности, в производстве взрывчатых веществ, кино- и фотопленки), в качестве сырья для бутадиена, этилацетата, перспективно использование этанола для получения белково-витаминного концентрата, значительные количества этанола, производимого из пищевого сырья, расходуются на приготовление ликеро-водочных изделий и водки.

Этилен (этен, $H_2C=CH_2$) – бесцветный газ со слабым эфирным запахом, который применяется для получения ряда важных продуктов: этилового спирта, оксида этилена, ацетальдегида, этилбензола, полиэтилена, винилхлорида, винилацетата, этилхлорида, иприта и т. д.; используется для ускорения созревания плодов (например, помидоров, дынь, апельсинов, мандаринов, лимонов, бананов).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аврех Г. Л., Цыркин Е. Б., Щукин Е. П.* Экономика на уровне молекул. М.: Химия, 1986. 144 с.
2. *Балукова В. А., Садчиков И. А., Сомов В. Е.* Управление инновационными процессами в нефтегазохимическом комплексе: учебник. СПб.: СПбГИЭУ, 2009. 250 с.
3. *Балукова В. А. и др.* Стратегический анализ технической реструктуризации предприятия / В. А. Балукова, Г. Д. Залищевский, М. Л. Колесов и др.; под ред. В. Е. Сомова. СПб.: СПбГИЭУ, 2001. 175 с.
4. *Баннов П. Г.* Процессы переработки нефти: учеб.-метод. пособие для повышения квалификации работников нефтеперерабатывающих предприятий. Ч. I. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Химиздат, 2009. 368 с.; Ч. II. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. 415 с.; Ч. III. 2003. 504 с.
5. *Брагинский О. Б.* Долгосрочное планирование отрасли промышленности (на примере нефтехимической промышленности) / отв. ред. Е. П. Щукин. М.: Наука, 1980. 151 с.
6. *Брагинский О. Б.* Мировая нефтехимическая промышленность. М.: Наука, 2003. 556 с.
7. *Брагинский О. Б., Кричевский П. Е., Щукин Е. П.* Прогнозирование и планирование комплекса отраслей химической и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1988. 192 с.
8. *Брагинский О. Б., Шлихтер Э. Б.* Мировая нефтепереработка: экологическое измерение. М.: Academia, 2003. 262 с.
9. *Буровое оборудование: технический каталог* / под ред. В. В. Следкова. ОАО «НК «ЛУКОЙЛ»», 2009. 210 с.
10. *Владимирова Л. П.* Прогнозирование и планирование в условиях рынка: учеб. пособие. 6-е изд., перераб. и доп. М.: ИД «Дашков и К^о», 2006. 399 с.
11. *Гайле А. А., Сомов В. Е., Варшавский О. М.* Ароматические углеводороды. Выделение, применение, рынок: справ. СПб.: Химиздат, 2000. 544 с.
12. *Емельянов В. Е., Крылов Н. Ф.* Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей: свойства, разновидности, применение. М.: ООО «Издательство АСТ», 2004. 128 с.

13. *Ивантер В. В., Кузык Б. Н.* Будущее России: инерционное развитие или инновационный прорыв? М.: Ин-т эконом. стратегий, 2005. 144 с.

14. Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП РАН). М.: ИНП РАН. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.esfor.ru/> (дата обращения: 16.01.2017).

15. Интеллектуализация предприятий нефтегазохимического комплекса: экономика, менеджмент, технология, инновации, образование / под общ. ред. И. А. Садчикова, В. Е. Сомова. СПб.: СПбГИЭУ, 2006. 762 с.

16. *Каница С. П.* Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. М.: Наука, 1999. 190 с.

17. *Карпов К. А.* Бурение нефтяных и газовых скважин: учеб. пособие. СПб.: СПбГИЭУ, 2011. 170 с.

18. *Карпов К. А.* Основы автоматизации производств нефтегазохимического комплекса: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2017. 108 с.

19. *Карпов К. А.* Особенности применения тренажеров и компьютерного моделирования на предприятиях нефтегазохимического комплекса. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. 75 с.

20. *Карпов К. А.* Технологическое прогнозирование развития производств: учебник / под ред. проф. И. А. Садчикова. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. 471 с.

21. *Карпов К. А.* Технологическое прогнозирование развития химических производств: учеб. пособие. СПб.: СПбГИЭУ, 2009. 275 с.

22. *Кондратьев Н. Д.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды / редкол.: Л. И. Абалкин (пред.) и др.; сост. Ю. В. Яковец. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2002. 767 с.

23. *Коршак А. А., Шаммазов А. М.* Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005. 528 с.

24. *Кузык Б. Н., Кушлин В. И., Яковец Ю. В.* На пути к водородной энергетике. М.: Ин-т эконом. стратегий, 2005. 160 с.

25. *Кузык Б. Н., Яковец Ю. В.* Интегральный макропрогноз инновационно-технологической и структурной динамики экономики России на период до 2030 года. М.: Ин-т эконом. стратегий, 2006. 432 с.

26. Кузык Б. Н., Яковец Ю. В. Россия – 2050: стратегия инновационного прорыва. 2-е изд., доп. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2005. 624 с.

27. Кузык Б. Н. и др. Прогноз инновационно-технологической и структурной динамики экономики России на период до 2030 года с учетом мировых тенденций / Б. Н. Кузык, В. И. Кушлин, А. А. Петров, Ю. В. Яковец. М.: Ин-т эконом. стратегий, 2006. 48 с.

28. Миндели Л. Э., Мотова М. А. Прогноз научно-технологического развития / сост. Т. С. Аксенова; под ред. проф. Л. Э. Миндели // Информационный бюллетень ЦИСН. 2005. № 1. М.: Изд-во ЦИСН Минобрнауки России, 2005. 188 с.

29. Нельсон Р. Р., Уинтер С. Дж. Эволюционная теория экономических изменений: пер. с англ. / редкол.: акад. Л. И. Абалкин (гл. ред.) и др. М.: Дело, 2002. 536 с.

30. Никитин Е. Е. Ресурсосберегающие технологии: учеб. пособие. СПб.: СПбГИЭУ, 2009. 158 с.

31. Орлов А. И. Экспертные оценки: учеб. пособие. М.: ИВСТЭ, 2002. 31 с.

32. Основы гармонизации нефтегазохимического комплекса / под ред. проф. И. А. Садчикова. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2015. 191 с.

33. Потехин В. М., Потехин В. В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: учебник для вузов. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2014. 896 с.

34. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. Файл document-66647.pdf. 1.18 МБ. Электрон. дан. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/node/6365> (дата обращения: 07.02.2017).

35. Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. М.: ИНЭИ РАН, АЦ, 2014. 167 с.

36. Рабочая книга по прогнозированию / редкол.: И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.) и др. М.: Мысль, 1982. 430 с.

37. Реструктуризация экономики предприятий химической и нефтехимической промышленности: сб. науч. тр. / редкол.: В. А. Балукова (отв. ред.) и др. СПб.: СПбГИЭУ, 2004. 176 с.; Вып. 2. СПб.: СПбГИЭУ, 2006. 306 с.

38. Российский нефтяной конгресс: сб. материалов 1-го Российского нефтяного конгресса, 14–16 марта 2011 г. / редкол.: М. В. Васильева (отв. ред.) и др. М.: МАИ-Принт, 2011. 272 с.

39. Садчиков И. А., Амельченко А. В. Системный анализ в управлении предприятием: учеб. пособие. СПб.: СПбГИЭУ, 2003. 90 с.

40. Садчиков И. А., Сомов В. Е., Балукова В. А. Экономика химической отрасли: учебник для вузов / под ред. проф. И. А. Садчикова. СПб.: Химиздат, 2007. 448 с.

41. Садчиков И. А. и др. Организация новых производств: учеб. пособие / И. А. Садчиков, В. А. Балукова, К. А. Карпов и др. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016. 159 с.

42. Сафонов А. С., Ушаков А. И., Чечкенов И. В. Автомобильные топлива. Химмотология, эксплуатационные свойства, ассортимент. СПб.: НПИКЦ, 2002. 264 с.

43. Сборник научных трудов ООО «ПО «КИНЕФ» за 1998–2000 гг. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2001. 276 с.

44. Свалов А. М. Механика процессов бурения и нефтегазодобычи. М.: Книжный дом «Либроком», 2009. 256 с.

45. Сомов В. Е. и др. Стратегические приоритеты российских нефтеперерабатывающих предприятий / В. Е. Сомов, И. А. Садчиков, В. Г. Шершун, Л. В. Кореляков; под ред. В. Е. Сомова. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 292 с.

46. Топливо-энергетический комплекс России // Сб. материалов 6-го Междунар. форума, 11–13 апр. 2006 г. СПб., 2006. 308 с.; Сб. материалов 7-го Междунар. форума, 10–12 апр. 2007 г. СПб., 2007. 506 с.; Сб. материалов 8-го Петербург. междунар. форума, 8–10 апреля 2008 г. СПб., 2008. 532 с.; Сб. материалов 9-го Петербург. междунар. форума, 25–27 марта 2009 г. СПб., 2009. 280 с.; Сб. материалов 10-го Петербург. междунар. форума ТЭК, 24–26 марта 2010 г. СПб.: Химиздат, 2010. 218 с.

47. Фатхутдинов Р. А. Инновационный менеджмент: учебник для вузов. 6-е изд. СПб.: Питер, 2011. 448 с.

48. Фейгин В. И. и др. Исследование состояния и перспектив направлений переработки нефти и газа, нефте- и газохимии в РФ / В. И. Фейгин, О. Б. Брагинский, С. А. Заболотский и др. М.: Экон-информ, 2011. 806 с.

49. *Фокин В. В., Марков С. Б.* Материаловедение на автомобильном транспорте: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 288 с.

50. *Фостер Р.* Обновление производства: атакующие выигрывают: пер. с англ. / общ. ред. и вступ. ст. В. И. Данилова-Данильяна. М.: Прогресс, 1987. 272 с.

51. *Хайн Н. Дж.* Геология, разведка, бурение и добыча нефти: пер. с англ. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2008. 752 с.

52. *Цыркин Е. Б., Лазарева Е. В., Сидоров В. А.* Технологическое прогнозирование в нефтехимии / под общ. ред. Е. Б. Цыркина. Л.: Химия, 1978. 152 с.

53. Экономические проблемы развития предприятий нефтегазохимического комплекса: сб. науч. тр. / редкол.: В. А. Балукова (отв. ред.) и др. СПб.: СПбГИЭУ, 2010. 300 с.

54. *Ямпольский С. М., Хилюк Ф. М., Лисичкин В. А.* Проблемы научно-технического прогнозирования (методологические аспекты). М.: Экономика, 1969. 143 с.

55. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса: пер. с англ. 2-е изд., доп. М.: Прогресс, 1974. 586 с.

Константин Анатольевич КАРПОВ

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВ
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Под редакцией профессора И. А. Садчикова

У ч е б н и к

Зав. редакцией
естественнонаучной литературы *М. В. Рудкевич*
Ответственный редактор *С. В. Макаров*
Выпускающие *Т. А. Кошелева, С. Ю. Гаганов*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com;
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1, лит. А.
Тел.: (812) 412-92-72, 336-25-09.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 13.07.17.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 84×108¹/₃₂.
Печать офсетная. Усл. п. л. 25,83. Тираж 100 экз.

Заказ № 326-17.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в ПАО «Т8 Издательские технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.