

В.М. Сутягин, В.Г. Бондалетов, О.С. Кукурина

**ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ
МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

2-е издание, переработанное и дополненное

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 66.013.8:628(075.8)
ББК 30.606-6я73
С907

С907 **Сутягин В.М.**

Принципы разработки малоотходных и безотходных технологий: учебное пособие / В.М. Сутягин, В.Г. Бондалетов, О.С. Кукурина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 184 с.

В учебном пособии излагаются принципы разработки малоотходных и безотходных технологий, методология их проектирования.

Учебное пособие подготовлено на кафедре технологии основного органического синтеза и высокомолекулярных соединений и предназначено для студентов ИДО, обучающихся по специальности 280201 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

УДК 66.013.8:628(075.8)
ББК 30.606-6я73

Рецензенты

Доктор технических наук,
профессор кафедры экологии
и безопасности жизнедеятельности ТПУ
А.И. Сечин

Доктор химических наук,
ведущий научный сотрудник
Института химии нефти СО РАН
З.Т. Дмитриева

© Сутягин В.М., Бондалетов В.Г.,
Кукурина О.С., 2009

© Томский политехнический университет, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
Раздел I. ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	8
Глава 1. Проблемы создания малоотходных и безотходных производств.....	8
1.1. Определение безотходной и малоотходной технологий	9
1.2. Количественная оценка безотходности производств	11
1.3. Аспекты проблемы создания безотходных технологий	13
Заключение	17
Глава 2. ПРИНЦИП СИСТЕМНОСТИ	18
2.1. Сущность системного анализа	18
2.2. Состав и структура химико-технологической системы	19
2.3. Классификация элементов ХТС по назначению	21
2.4. Модели химико-технологической системы	23
2.5. Два подхода к описанию системы	28
2.6. Системный анализ территориально-промышленных комплексов	31
Заключение	32
Глава 3. ПРИНЦИП ЦИКЛИЧНОСТИ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ	34
3.1. Принцип рециркуляции	34
3.1. Задачи, решаемые с введением рециклов в химико-технологическую систему	35
3.2. Примеры некоторых химических реакций с рециклом сырья	35
Заключение	43
Глава 4. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ	44
4.1. Постановка задачи	44
4.2. Использование сырья и вторичных материальных ресурсов.....	45
4.2.1. Пример комплексного использования сырья и вторичных материальных ресурсов	45
4.2.2. Вторичные материальные ресурсы	51
4.2.3. Использование и уничтожение отходов пластмасс	54
4.2.4. Разрушаемые полимеры	55
4.2.5. Переработка и утилизация отходов производств, химикатов-добавок для полимерных материалов.....	56
4.2.6. Обезвреживание отходов	58

4.3. Использование вторичных энергоресурсов	59
4.3.1. Энергосбережение	59
4.3.2. Утилизация горючих отходов химических производств	61
4.3.3. Пути использования высокотемпературных тепловых отходов	62
4.3.4. Утилизация низкопотенциального тепла некоторых отходов химических предприятий	64
4.3.5. Утилизация тепла отработанного пара	65
Заключение	66
Глава 5. ПРИНЦИП ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	67
5.1. Требования экологической безопасности	67
5.2. Общие принципы экологической оценки и их связь с принципом устойчивого развития	68
Заключение	70
Глава 6. ПРИНЦИП РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.....	72
6.1. Общие положения	72
6.2. Эффективность организации химико-технологического процесса.....	73
6.3. Факторы, определяющие организацию периодических или непрерывных процессов	74
Заключение	76
Глава 7. ПРИНЦИП КОМБИНИРОВАНИЯ И МЕЖОТРАСЛЕВОГО КООПЕРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ.....	77
7.1. Комбинирование в химико-технологических производствах.....	77
7.2. Формирование безотходной технологии в территориально-промышленных комплексах	78
7.3. Стадии процессов безотходного ТПК	80
Заключение	81
Раздел II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СНИЖЕНИЯ ОТХОДОВ	83
Глава 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	83
1.1. Принцип наилучшего использования движущей силы химической реакции.....	83
1.2. Принцип использования смены механизма химической реакции.....	85
1.3. Принцип использования реагента в избытке.....	86
1.4. Противоток веществ	87

1.5. Принцип смещения равновесия при обратимых реакциях	88
1.6. Принцип «замораживания» системы в состоянии, наиболее выгодном для проведения процесса	89
1.7. Регенерация реагентов	89
1.8. Принцип реакционно-массообменных процессов	90
1.9. Снижение потерь продуктов на стадии разделения реакционной смеси	92
Заключение	94
Глава 2. ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	95
Заключение	97
Глава 3. ПРИНЦИПЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	98
3.1. Способ интенсифицирующих факторов	98
3.1.1. Основные направления интенсификации химико-технологических процессов	99
3.1.2. Основные закономерности процессов химического превращения ...	102
3.1.3. Примеры интенсификации химико-технологических процессов	106
3.2. Оптимизация химико-технологических процессов	110
Заключение	118
Глава 4. ПРИНЦИПЫ НАИЛУЧШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ..	119
4.1. Эксергетический метод термодинамического анализа.....	119
4.2. Регенерация теплоты.....	122
4.3. Другие приемы экономии теплоты.....	126
Заключение	127
Раздел III. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ	128
Глава 1. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЕЗОТХОДНОГО ПРОЦЕССА	129
1.1. Этапы проектирования	129
1.2. Организация проектирования БОП	130
1.3. Предпроектная разработка безотходных производств	131
1.4. Экологическое проектное обоснование	132
1.5. Этапы проведения экологической экспертизы.....	134
1.6. Принципы экологической экспертизы	136

1.7. Технико-экономическое обоснование инвестиционного химического проекта	139
1.8. Выполнение рабочего проекта безотходного химического производства	141
Заключение	143
Глава 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БОП	144
2.1. Общие положения	144
2.2. Выбор метода производства.....	145
2.3. Составление принципиальной технологической схемы БОП.....	147
2.4. Общие способы разработки БОП.....	149
Заключение	152
Глава 3. Выбор и расчет реакторов	153
3.1. Определение формы реактора.....	153
3.2. Выбор конструкционного материала	166
3.3. Определение присоединительных штуцеров и устройств, необходимых для поддержания заданного технологического режима	167
3.4. Оформление задания на разработку технического проекта реактора.....	168
3.5. Технологический расчет реактора	168
Заключение	174
Глава 4. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ	175
Заключение	179
ПОСЛЕСЛОВИЕ.....	180
ЛИТЕРАТУРА	183

ПРЕДИСЛОВИЕ

В течение веков человечество считало, что его миссия на Земле состоит в основном в покорении природы, и в разрушающей ее эксплуатации не видело ничего дурного. По этому поводу Ф. Энгельс в «Диалектике природы» писал: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитываем, но во вторую и третью очередь наступают совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых».

Нарушение человеком отдельных звеньев в общем комплексе взаимосвязи явлений и предметов природы инициирует цепную реакцию, распад исторически сложившейся экологической системы. Нарастание техногенных выбросов (порядка 30 млрд т в год), загрязняющих биосферу (сферу жизни), уже превышает скорость природного круговорота веществ в отдельных его звеньях, т. е. скорость использования природы уже перешагнула порог ее самозащиты и самовосстановления. В этой связи применяемые человеком технологии, как производства, так и потребления продукции, во всех сферах хозяйства страны должны быть замкнутыми, безотходными, аналогично тому, как построен биогеохимический цикл миграции вещества и энергии в биосфере. Задача сегодняшнего дня состоит в переходе к безотходным технологиям производства химической продукции, ее потребления и эксплуатации техники.

Научной основой создания безотходных производств является ряд взаимосвязанных принципов, лежащих в их основе: системности, цикличности материальных потоков, комплексного использования сырья и других технологических принципов, позволяющих снижать отходы производств. При разработке безотходных и малоотходных производств на любом уровне необходимо соблюдение всех этих принципов.

Дисциплина «Принципы разработки малоотходных и безотходных технологий», для изучения которой предназначено это пособие, включает три основных раздела:

- общие принципы разработки безотходных и малоотходных производств;
- технологические принципы снижения отходов;
- методологические принципы разработки и проектирования безотходных производств.

Данное учебное пособие раскрывает сущность принципов. Для более углубленного изучения отдельных вопросов можно использовать литературу, список которой приведен в конце пособия.

Учебное пособие может быть использовано для подготовки бакалавров, магистров и инженеров-экологов по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование ресурсов».

Раздел I

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Глава 1. Проблемы создания малоотходных и безотходных производств

В наши дни необходимость защиты окружающей среды является по-прежнему актуальной. Это обусловлено чрезмерно возросшим потреблением природных ресурсов и гигантскими масштабами выбросов вредных веществ в окружающую среду.

Загрязнение окружающей среды, – по сути дела, символ эффективности любого химического производства: предотвращение образования отходов (в том числе и энергетических) либо их использование в качестве дополнительного источника сырья и энергии означает и прекращение загрязнения окружающей среды. Поэтому концепция современного химического производства базируется на малоотходных (в идеале безотходных) технологиях, обеспечивающих эффективное использование материальных и энергетических ресурсов при отвечающих государственным стандартам ПДВ (предельно-допустимых выбросов) и ПДС (предельно-допустимых сбросов) вредных веществ в окружающую среду (либо при полном отсутствии выбросов). В этой связи возникает объективная необходимость разработки и осуществления комплекса мероприятий по внедрению малоотходных (МОП) и безотходных технологических процессов (БОП). В этот комплекс входят вопросы как технологического, так и организационного характера: обеспеченность предприятий сырьем, энергией, средствами контроля и т. п.

При разработке МОП и БОП возникает комплекс технических проблем и ряд организационных вопросов. Так, к числу технических проблем относятся:

- разработка принципиально новых МОП и БОП;
- совершенствование существующих технологических процессов (оба эти направления имеют целью получение химических продуктов высокого качества, сокращение стадий процессов, использование малотоксичного исходного сырья);
- регенерация исходных соединений (мономеров, растворителей и т. д.);
- утилизация отходов;

- очистка стоков и водооборотных систем и т. п. (для осуществления БОП и МОП должна использоваться такая техника контактирования фаз, которая обеспечивает оптимальные условия их осуществления);

- необходимая температурная последовательность по длине рабочей зоны;

- интенсивный тепло- и массообмен;

- максимально возможная селективность;

- минимальные потери энергии;

- внедрение непрерывных процессов и т. д.

Для осуществления БОП требуется разрабатывать принципиально новые аппараты (например, позволяющие совмещать в одном аппарате несколько технологических процессов), оптимизировать размеры реакторов и их производительность, использовать новые конструкционные материалы и т. д.

Таким образом, наиболее рациональные пути уменьшения промышленных отходов и загрязнения окружающей среды следующие:

Первый из них является, по сути дела, приспособлением к новым требованиям по охране окружающей среды, которое сводится к установке специального оборудования для очистки отходов всех видов.

Второй путь предусматривает изменение самих технологических процессов с тем, чтобы комплексно и полнее перерабатывать исходные материалы в целевые продукты и тем самым сокращать объемы отходов, сделать их менее вредными для окружающей среды или перевести в формы, легко поддающиеся вторичной переработке или специальному хранению.

Второй путь невозможен без создания безотходных производств, в которых осуществляются замкнутые материальные и энергетические потоки, не соприкасающиеся с окружающей средой.

Понятие «безотходное производство» условно, т. к. практически полностью избавиться от отходов и избежать влияния производства на окружающую среду нельзя. Тем не менее современный уровень науки и техники, основанный на энерго- и ресурсосберегающих технологиях, позволяет сводить их к минимуму.

1.1. Определение безотходной и малоотходной технологий

Термин «безотходная технология» получил широкое распространение в мире. Наиболее полная трактовка термина следующая:

Безотходная технология – это такой способ производства продукции (процесс, цех, территориально-производственный комплекс), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цик-

ле «сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы» таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.

В определении прежде всего подчеркивается необходимость использования сырьевых ресурсов в цикле, включающем также и сферу потребления, а это означает, что замкнутым такой цикл может быть только на уровне территориально-производственного комплекса (ТПК). Следовательно, безотходное производство (БОП) должно быть практически замкнутой системой, организованной по аналогии с природными экологическими системами. Так, в природных системах продукты жизнедеятельности одних организмов используются другими организмами и в целом осуществляют саморегулирующийся биогеохимический круговорот веществ. Основу же БОП составляет сознательно организованный и регулируемый человеком техногенный круговорот сырья, продукции и отходов.

Вторым основным положением БОП является обязательное включение в производство и потребление всех компонентов сырья. При этом должно быть обеспечено максимально возможное использование потенциала энергетических ресурсов, естественно, ограниченное вторым законом термодинамики. Здесь также проводится прямая аналогия с природными экосистемами, которые, будучи практически замкнутыми, не являются изолированными, т. к. через них проходит поток энергии, которую экосистемы получают от Солнца, поглощают, трансформируют и излучают в космическое пространство. Таким образом, и БОП является практически замкнутым, но не изолированным.

И, наконец, третьей составной частью концепции БОП является сохранение (с учетом возможного теплового загрязнения) сложившегося экологического равновесия, т. е. ущерб окружающей среде, наносимый производством, не должен быть выше допустимого уровня. Под ущербом понимают фактические и возможные потери в результате отрицательных изменений окружающей среды, которые обусловлены антропогенными факторами.

Примечание. В литературе по экологии антропогенные факторы называют антропогенными. Оба слова образованы от слова *антропогенез*, но имеют различный смысл.

По мнению В.А. Радкевича, *антропогенные* факторы управляют процессами формирования человека и не имеют никакого отношения к воздействию на другие организмы и к изменению, а тем более загрязнению окружающей среды. Последнее обуславливается *антропогенными* факторами.

Создание БОП – длительный процесс, требующий решения взаимосвязанных технологических, экономических, организационных и других задач. Поэтому в качестве промежуточного этапа для практических целей допустимо использование малоотходного производства (МОП).

Под *малоотходным* понимается такой способ производства продукции (процесс, предприятие, ТПК), при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами. При этом по техническим, организационным, экономическим и другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение.

1.2. Количественная оценка безотходности производств

В связи с разработкой БОП особую важность представляет количественная оценка приближения производства к безотходному, т. е. критериев отнесения его к категории безотходных, малоотходных и традиционных. В основу критериев, ограничивающих вредное воздействие производства на окружающую среду, положены существующие ПДК загрязняющих веществ. На их основе рассчитываются научно-технические показатели воздействия производства на окружающую среду, к которым в первую очередь относятся нормативы:

- предельно-допустимые выбросы (ПДВ) в атмосферу;
- предельно-допустимые сбросы (ПДС) в водоемы.

Эти показатели измеряются для каждого источника организованного выброса или сброса.

Второй по значимости количественной оценкой безотходности производства является степень использования в технологических процессах сырья и материалов. Например, в химической промышленности введен коэффициент безотходности (K_B), который характеризует полноту использования в производстве материальных и энергетических ресурсов, а также интенсивность воздействия этого производства на окружающую среду:

$$K_B = f \cdot K_M \cdot K_{\mathcal{E}} \cdot K_A, \quad (1)$$

где f – коэффициент, определяемый эмпирическим путем;

K_M – коэффициент полноты использования материальных ресурсов;

$K_{\mathcal{E}}$ – коэффициент полноты использования энергетических ресурсов;

K_A – коэффициент соответствия экологическим требованиям.

К малоотходным относятся производства, характеризующиеся величиной K_M , равной не менее $0,8 \div 0,9$ (в зависимости от мощности

предприятия), а к безотходным – не менее 0,90÷0,98 (также в зависимости от мощности производства).

Поступление в окружающую среду газовых выбросов, сточных вод и твердых отходов во всех случаях должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормативам. Вероятно, в первом приближении для практических целей значение коэффициента безотходности (или коэффициента комплексности), равное 75÷90 %, можно принять в качестве количественного критерия малоотходного, а до 98 % – безотходного производства и в других материалоемких отраслях промышленности.

В. Релизом и А. Шубиным предложен критерий экологичности $K_{\text{эк}}$, рассчитываемый по формуле

$$K_{\text{эк}} = \sum m_i^{\text{ж}} \cdot \frac{C_i^{\text{ж}}}{\text{ПДК}_i^{\text{ж}}} + \sum m_i^{\text{г}} \cdot \frac{C_i^{\text{г}}}{\text{ПДК}_i^{\text{г}}} + \sum m_i^{\text{т}} \cdot \frac{C_i^{\text{т}}}{\text{ПДК}_i^{\text{т}}}, \quad (2)$$

где $m_i^{\text{ж}}$, $m_i^{\text{г}}$, $m_i^{\text{т}}$ – количество i -го токсичного компонента жидких, газообразных и твердых отходов соответственно, т/т продукта;

$C_i^{\text{ж}}$, $C_i^{\text{г}}$, $C_i^{\text{т}}$ – концентрация i -го компонента в жидких, газообразных и твердых отходах, мг/м³;

$\text{ПДК}_i^{\text{ж}}$ – предельно-допустимая концентрация i -го компонента в воде рыбохозяйственных водоемов, мг/дм³;

$\text{ПДК}_i^{\text{г}}$ – предельно-допустимая концентрация i -го компонента в воздухе населенных мест, мг/м³.

Для оценки токсичности твердых отходов предполагается использование $\text{ПДК}_i^{\text{ж}}$, т. к. при хранении твердых отходов возможно их растворение в атмосферных осадках, сточных и грунтовых водах.

Как видно из приведенной формулы (2), критерий экологичности состоит из трех частей – параметров учета соответственно жидких, газообразных, твердых отходов (A , B и C).

Пример

Критерий $K_{\text{эк}}$ был использован для анализа экологического совершенства четырех производств борной кислоты, работающих на батоли-товом дальневосточном сырье.

H_3BO_3 – борная кислота;

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – бура;

1-й метод: $\text{B} + 3\text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{NO}_2$;

2-й метод: $\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3$;

3-й метод: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов критерия $K_{\text{эк}}$

Метод производства	$K_{\text{эк}}$	Параметры		
		A	B	C
1-й метод	$1,57 \cdot 10^3$	$0,92 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$
2-й метод	$0,79 \cdot 10^3$	$0,19 \cdot 10^3$	2,2	$6 \cdot 10^2$
3-й метод	$0,12 \cdot 10^3$	0,054	$0,12 \cdot 10^3$	0
4-й метод*	0,84	0,54	0,3	0

* – запроектированное производство.

Все четыре производства в основе своей имеют одинаковые технологические схемы. Различия между ними заключаются в следующем: методы 2 и 4 включают передел доосаждения бората кальция, что уменьшает количество жидких отходов (в производстве 4 эффект сводится на нет по сравнению с производством 3 за счет образования стоков при попутной очистке); в производствах 3 и 4 борогипс утилизируется, а это исключает образование твердых отходов.

Поскольку для идеальной (безотходной) технологии критерий $K_{\text{эк}}$ должен быть равен нулю, то, как видно из данных табл. 1, наиболее экологически приемлем метод 4, а самым «грязным» из приведенных является метод 1.

1.3. Аспекты проблемы создания безотходных технологий

Экологическая проблема создания безотходных технологий имеет по крайней мере четыре аспекта:

1) *экологический* в узком смысле этого слова, т. е. связанный с биологическим соотношением человеческого общества с природой при глобальном загрязнении окружающей среды;

2) *ресурсный аспект*, связанный с угрозой истощения природных ресурсов;

3) *технологический и технический*, предусматривающие при переработке многокомпонентного сырья комбинации процессов, которые обеспечивают наиболее комплексное (по числу извлеченных компонентов) и полное (по степени извлечения и использования компонентов) использование природного ресурса;

4) *экономический и организационный*.

Рассмотрим эти аспекты в перечисленной последовательности.

Экологический аспект

Природа является первоисточником удовлетворения материальных и духовных потребностей людей. Одновременно она является и средой обитания человека и всех живых организмов, жизнедеятельность которых сопровождается постоянным потреблением воздуха, воды и пищи. От наличия и качества последних зависит протекание естественных физиологических процессов обмена веществ в любом живом организме.

Осознание обществом необходимости предотвращения разрушения природной среды привело к возникновению в середине XX столетия новой формы во взаимодействии общества и природы в виде охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

Охрана природы (или охрана окружающей природной среды) базируется на объективной необходимости гармоничного взаимоотношения общества и среды его обитания – природы и вытекает из неотвратимости вредных последствий экологически необоснованной хозяйственной деятельности.

Необходимость охраны окружающей среды приводит к существенным изменениям в общих подходах к обеспечению экологической эффективности производства. Под экологической эффективностью понимают минимизацию воздействия на окружающую среду при заданных производительности и качестве выпускаемой продукции соответствующим производством. Вместо мер временного характера, направленных на борьбу с последствиями загрязнений, теперь все чаще и чаще на стадии проектирования и строительства предприятий принимают меры долговременного характера, в основе которых заложен принцип: не борьба с последствиями загрязнений, а ликвидация причин этого неблагоприятного явления. В этой связи необходимо изменять и совершенствовать сами технологические процессы, с тем, чтобы комплексно и наиболее полно перерабатывать в процессе производства исходные материалы, сокращать тем самым объем отходов, перевести их формы, наименее вредные для окружающей среды или легко поддающиеся вторичной переработке, – другими словами, необходимо создавать малоотходные и безотходные технологии.

Требование сохранения окружающей среды отражает новую ступень осмысливания отношения между человеком и природой. Еще совсем недавно оно отражалось в образах человека – неумолимого работника в мастерской природы, человека – покорителя природы. Сегодня эти образы существенно трансформируются: мы подчеркиваем, что человек должен стать гражданином, сознающим свою ответственность за природу, садовником, ухаживающим любовно за газонами, деревьями, растениями.

Ресурсный аспект

Материальное производство базируется на использовании природных ресурсов:

- 1) невозобновляющихся (минерального сырья, нефти, газа и др.);
- 2) возобновляющихся (воздух, вода, почва, растительный и животный мир).

Например, стоимость минерального сырья составляет примерно 70 % стоимости всех природных ресурсов, не используемых обществом. По мере увеличения объемов добычи происходит истощение запасов минеральных ресурсов, ухудшается их качество, повышается себестоимость минерального сырья. В этих условиях извлечение из недр попутных полезных компонентов, утилизация отходов и снижение потерь при добыче и переработке позволяют увеличить сырьевой потенциал. Ограниченность доступных минеральных ресурсов выдвигает проблему их рациональной добычи и использования. Так, балансовый расчет современного состояния накопления и утилизации отходов горных отраслей промышленности показал, что существующий уровень производства может быть обеспечен при снижении объема добычи горной массы на 20÷25 % главным образом в результате производства 80 % стройматериалов из отходов (снижение общей стоимости продукции на 10÷15 %), оздоровления экологической обстановки в районах горно-перерабатывающих предприятий.

Технологический и технический аспекты

Поликомпонентный состав сырья практически любого месторождения при переработке требует использования такой комбинации процессов, которая обеспечивает наиболее комплексную (по числу извлеченных компонентов) и полную (по степени извлечения и использования компонентов) переработку руды. Следует заметить, что до недавнего времени из 33 элементов, которые содержатся в апатите, использовали только один – фосфор, а все остальные перемещали в отвалы.

Комплексное использование минеральных ресурсов заключается в переходе на безотходные технологические процессы. Образующиеся в одном производстве отходы служат сырьем для другого производства. В этом случае сокращается потребность в сырье и исключаются (или значительно сокращаются) загрязняющие окружающую среду отходы.

Исследование в области создания безотходных технологий, методов утилизации отходов, комплексного использования сырья, экономической оценки схем, оптимизации режимов переработки полезных ископаемых показывает, что в настоящее время на большинстве предпри-

ятий имеется возможность довести определенную часть образующихся отходов до товарной продукции или вторичного сырья для других отраслей промышленности. Безотходное производство должно предусматривать более рациональное использование не только сырья, но и других материалов, в первую очередь газа и воды.

Экономические и организационные аспекты

Практика показывает, что постепенный переход промышленности на БОП требует последовательного осуществления ряда мероприятий организационного и экономического характера. Например, традиционно сложившаяся система техники и технологии добычи и обогащения полезных ископаемых не соответствует идее безотходных технологий. Современная методология оценки технологии, принятия проектных и плановых решений по развитию комплексности переработки полезных и иных ископаемых базируется в основном на экономическом расчете. В ней не всегда учитываются факторы долговременного и перспективного характера: расход полезного ископаемого как природного ресурса, экологические последствия принятой технологии, стратегическое использование некоторых компонентов, возможность местной утилизации отходов и т. д. Положение усугубляется и тем, что некоторые из этих параметров не имеют количественного выражения, а учет факторов на интуитивном уровне производится субъективно и недостаточно полно. Наиболее важным обстоятельством является то, что проблема комплексной и безотходной технологии имеет межотраслевой характер.

Вследствие относительной новизны проблемы БОП еще отсутствуют не только организационные формы, позволяющие решать эту проблему, но даже достаточно полная информация о количестве, качестве и технологических свойствах как накопленных, так и ежегодно образующихся отходов. В сравнении с обычными производствами БОП по своим параметрам может рассматриваться как более прогрессивный, предусматривающий комплексное использование сырья, и более благоприятный по своим экологическим последствиям. В этом смысле обычно рассматриваемые экономические оценки производств не учитывают всех преимуществ БОП, которое требует большей трудоемкости на единицу перерабатываемого сырья, более развитой схемы и большего разнообразия процессов. Кроме того, безотходная технология более сложна в управлении и организации в результате производства многоотраслевой продукции. В связи с этим организация такой технологии требует больших капитальных вложений и текущих затрат, что, несмотря на возможность получения большего количества продукции, прибыли, лучшего использования сырья, вызывает определенные трудности.

Заключение

Современные технологии, как производства, так и потребления продукции, во всех сферах хозяйства должны быть замкнутыми, безотходными, аналогично тому, как построены биогеохимические циклы миграции вещества и энергии в биосфере.

Ни один объект промышленности не должен внедряться, если заблаговременно не выяснен возможный ущерб для окружающей среды в результате его осуществления. Основной и единственно надежный подход состоит в создании безотходной технологии, исключающей загрязнение и превращающей отходы в ресурсы.

Следует помнить, что «биосфера может прожить» без человека. Человек существовать вне биосферы не может (Н.И. Моисеев).

Вот почему человечество должно быть способным предвидеть результаты своих действий, уметь оценивать состояние биосферы и заранее знать, где находится та запретная черта, которая отделяет дальнейшее развитие цивилизации от ее угасания.

Глава 2. ПРИНЦИП СИСТЕМНОСТИ

2.1. Сущность системного анализа

Научной основой создания БОП является ряд взаимосвязанных принципов, лежащих в их основе. Ключевым в этом ряду является принцип системности, базирующийся на анализе, заключающемся в том, что химическое производство рассматривается как замкнутая система, взаимодействующая с окружающей средой. Под системой в общем случае понимают множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой, что в совокупности образует определенную целостность, единство.

Любая система связана с окружающей средой, каждой системе свойственна определенная расчлененность, иерархичность (последовательная подчиненность), наличие многих уровней организации. Поэтому система может быть рассмотрена как элемент (подсистема) системы более высокого ранга и как совокупность подсистем более низкого ранга.

Система отличается двумя особенностями. Во-первых, сущность системы невозможно понять, рассматривая только свойства отдельных элементов. Для системы важен способ взаимодействия элементов, выраженный в ее структуре. Во-вторых, система функционирует обязательно во взаимодействии с окружающей средой. Без понимания этого взаимодействия невозможно понять ее сущность.

Рассмотрим превращение несистемы в систему. Например, оборудование, предназначенное для монтажа технологической схемы химико-технологического процесса (ХТП), лежит на складе. В этом виде его нельзя рассматривать как систему. Почему? Единицы оборудования не взаимодействуют друг с другом. При монтаже оборудования и сборке технологической схемы возникает структура, взаимодействие элементов. Однако, чтобы установка стала системой, необходимо еще ее взаимодействие с окружающей средой, воздействие внешнего мира на систему, например подача сырья и энергии, и воздействие системы на внешний мир (выпуск продукции). Без этого структура окажется бессмысленной, а системность установки будет лишь кажущейся. Конечно, если установку временно законсервируют, она не перестанет быть системой, но лишь постольку, поскольку предполагается возможность вышеуказанного взаимодействия.

Системный подход предусматривает комплексную оценку воздействия производства на природные системы и живые организмы с обязательным прогнозированием их реакции на это воздействие. Такой подход нужен, чтобы более глубоко и всесторонне оценивать последствия преобразования природы обществом. Например, влияние какого-либо

мутагенного вещества на половые клетки не связано с угрозой жизнеспособности данного организма, но неизбежно проявится в потомстве, следствием чего может быть вырождение тех или иных популяций, выпадение отдельных звеньев из пищевых цепей и сетей с нарушением стабильности и продуктивности экосистемы. С другой стороны, ряд веществ может воздействовать на клеточные структуры, приводя к нарушению тканей (например, к злокачественным новообразованиям), а далее – органов, организма в целом, проявляясь далее на популяционном и биоценотическом уровне.

Сброс вредных веществ в водный объект даже в допустимых пределах, так или иначе, скажется отрицательно на тех или иных компонентах водного биоценоза, что необходимо учитывать с позиции системного подхода. Однако такой подход предусматривает оценку воздействия загрязненного вещества на всю экосистему (как систему более высокого уровня), а далее на состояние водного бассейна региона в целом, учитывая, может быть, не только качественные и количественные изменения, но и психофизическое состояние людей, ответные реакции этого состояния на производственную и социальную сферу.

2.2. Состав и структура химико-технологической системы

В химическом производстве как химико-технологической системе (ХТС) выделяют подсистемы по двум признакам:

- функциональному;
- масштабному.

Функциональные подсистемы обеспечивают выполнение химического производства и его функционирование в целом, в частности, к ним относятся:

- технологическая;
- энергетическая;
- подсистема управления.

Технологическая подсистема – часть производства, где осуществляется собственно переработка сырья в продукты, химико-технологический процесс (ХТП).

Энергетическая подсистема – часть производства, служащая для обеспечения энергии ХТП. При этом в зависимости от вида энергии (тепловой, силовой, электрической) может быть представлена соответствующая подсистема.

И, наконец, *подсистема управления* – часть производства для получения информации о его функционировании и для управления им.

Обычно это автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП).

Совокупность функциональных подсистем образует состав ХТС.

Масштабные подсистемы ХТС можно систематизировать в виде их иерархической последовательности – иерархической структуры ХТС (рис. 1).

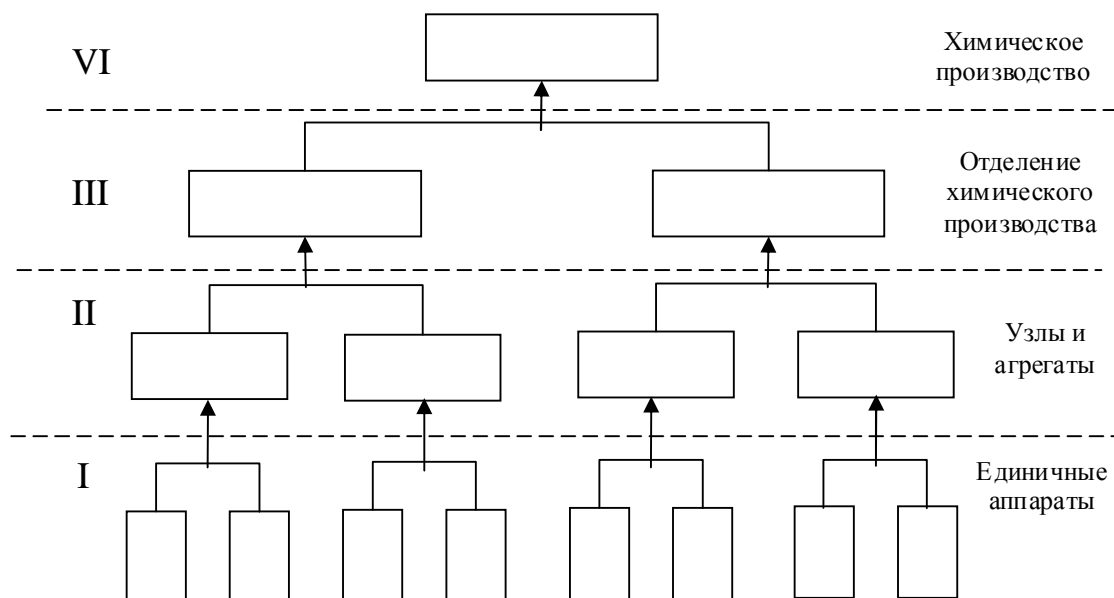


Рис. 1. Иерархическая структура ХТС

Масштабные подсистемы выполняют определенные функции в последовательности процессов переработки сырья в продукты (как отдельные части ХТП).

В структуре ХТС минимальный элемент – отдельный аппарат (реактор, ректификационная колонна, теплообменник, абсорбер, насос и др.). Это низший масштабный уровень I. Несколько аппаратов, выполняющих вместе какое-то преобразование потока – это элементы подсистемы II масштабного уровня (реакционный узел, например насос, – емкость, система разделения многокомпонентной смеси и т. д.).

Совокупность подсистем второго уровня как элемент образует подсистему III уровня (отделение или участки производства, например в производстве серной кислоты, – отделение обжига серосодержащего сырья, очистки и осушки сернистого газа, очистки отходящих газов, контактное и абсорбционное отделения).

К этим же подсистемам могут относиться водоподготовка, регенерация отработанных вспомогательных материалов, утилизация отходов.

Совокупность отделений, участков образует ХТС химического производства в целом.

Описанное выделение подсистем условно, т. к. в каких-то задачах выделение подсистем, элементов может быть иным.

2.3. Классификация элементов ХТС по назначению

Элементы ХТС по назначению классифицируют:

- на механические и гидромеханические;
- теплообменные;
- массообменные;
- реакционные;
- энергетические;
- контроля и управления.

Так, *механические и гидромеханические* производят изменения формы, размера материала и его перемещение, объединение и разделение потоков. Эти операции осуществляются дробилками, грануляторами, смесителями, сепараторами, фильтрами, циклонами, компрессорами, насосами.

Теплообменные элементы изменяют температуру потока, его теплосодержание, переводят вещества в другое фазовое состояние. Эти операции осуществляют в теплообменниках, испарителях, конденсаторах, сублиматорах.

Массообменные элементы осуществляют межфазный перенос компонентов, изменение компонентного состава потоков без появления новых веществ. Эти операции проводят в абсорберах, адсорберах, ректификационных колоннах, экстракторах, кристаллизаторах, сушилках.

Реакционные элементы (реакторы разных типов) осуществляют химические превращения, кардинально меняют компонентный состав потоков и материалов.

Энергетические элементы осуществляют преобразование энергии и получение энергоносителей. К ним относят турбины, генераторы, приводы для выработки механической энергии, котлы-утилизаторы для выработки энергетического пара.

Элементы контроля и управления позволяют изменять параметры состояния аппаратов и машин, а также управлять процессами, меняя условия их протекания. К ним относятся датчики (температуры, давления, расхода, состава и т. д.), исполнительные механизмы (вентили, задвижки, выключатели и т. д.), а также приборы для выработки и преобразования сигналов, информационные и вычислительные устройства.

На рис. 2 показана схема автоматического регулирования параметров химического производства.

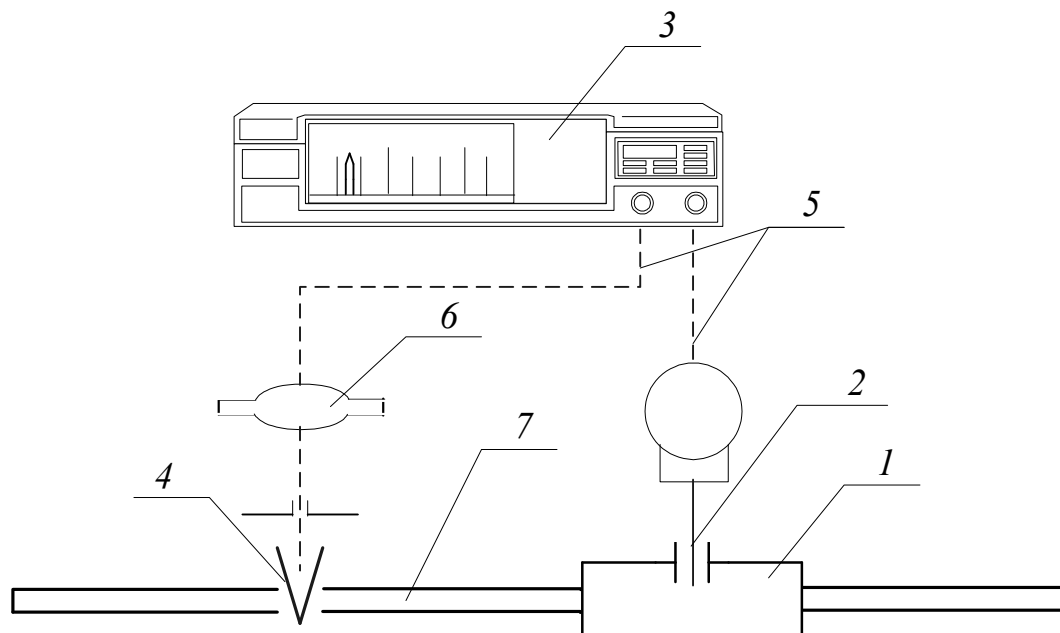


Рис. 2. Схема автоматического регулирования процесса:
1 – объект; 2 – первичный элемент; 3 – регулятор с вторичным прибором;
4 – исполнительный механизм; 5 – линии связи; 6 – привод исполнительного механизма (мембрана); 7 – технологический трубопровод

В общем случае процесс регулирования параметров процесса происходит следующим образом. Изменение параметра объекта 1 воспринимается первичным элементом 2 и преобразовывается в электрическую, пневматическую и другую энергию. Полученный импульс по электрическим проводам или пневматическим трубкам передается регулятору 3, отработавшему командный импульс на привод 6 исполнительного механизма 4, или вторичный прибор. Привод 6 исполнительного механизма 4 перемещает запорное устройство регулирующего органа, определенным образом изменяя проходное сечение трубопровода 7, а следовательно и количество пропускаемой реакционной массы.

Первичные элементы измерительных систем размещаются непосредственно на трубопроводах и аппаратах. Вторичные приборы автоматического регулирования устанавливаются в отдельном помещении – операторной. Вторичные приборы имеют показывающие или самопишущие шкалы, которые дают возможным операторам следить за состоянием всего химического производства, изменять технологические параметры, а также производить пуск отдельных агрегатов непосредственно из операторной.

Регулирующие органы – в основном клапаны с пневматическим мембранным приводом – устанавливаются на трубопроводах.

2.4. Модели химико-технологической системы

Как уже отмечалось ранее, система – совокупность элементов и связей между ними, функционирующих как единое целое. Качественные и количественные показатели ее функционирования могут быть отражены словесным и математическим описаниями (моделями) протекающих в них процессов. Например, модели ХТС можно разделить на две группы:

- описательные (в виде формул, уравнений);
- графические (в виде схем и других графических изображений).

В каждой из перечисленных групп можно выделить несколько видов моделей, различающихся по форме и назначению:

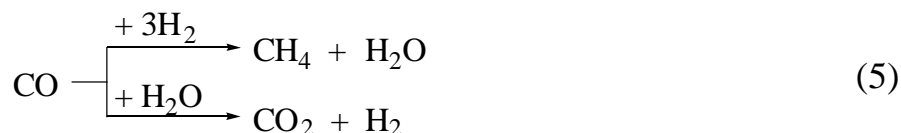
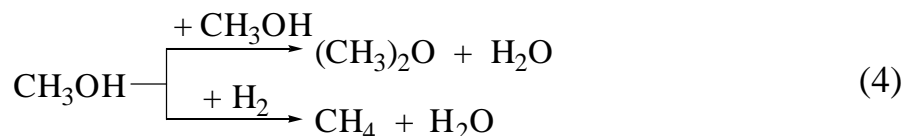
1) описательные модели: химическая, операционная, математическая;

2) графические модели: функциональная, технологическая, структурная, специальная.

Химическая модель (схема) представлена в основном реакциями (химическими уравнениями), которые обеспечивают переработку сырья в конечный продукт. Синтез метанола из оксида углерода и водорода представлен одним химическим уравнением



При синтезе метанола с оксидным цинк-хромовым катализатором в качестве побочных соединений образуются диметиловый эфир, метан, диоксид углерода и вода (реакции 4 и 5):



Операционная модель представляет основные стадии (операции) переработки сырья в продукт, в том числе обеспечивающие протекание основных превращений.

На предприятиях химической и нефтехимической промышленности реализуется относительно небольшое число типовых химических и физических процессов:

- массообменные (ректификация, абсорбция);
- теплообменные (подогрев, конденсация, охлаждение);
- гидромеханические (перемешивание, транспортирование жидких, твердых и газообразных материалов);
- химические (гидрирование, окисление, полимеризация, поликонденсация, изомеризация и т. д.).

Функциональная модель (схема) строится на основе химической и операционной и наглядно отражает основные стадии ХТП и их взаимосвязи. Каждая из них представлена прямоугольником, линии между ними – связи. На рис. 3 показана функциональная схема типового производства.

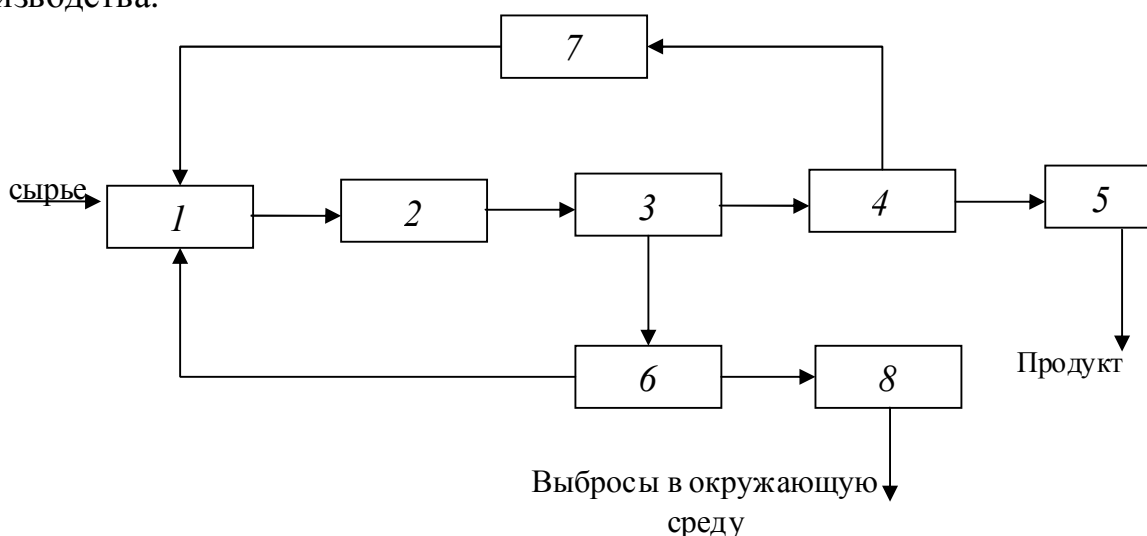


Рис. 3. Схема стадий технологического процесса:

1 – стадия подготовки сырья; 2 – стадия химического превращения; 3 – стадия выделения непревращенного исходного вещества; 4 – стадия выделения и очистки целевого продукта; 5 – стадия придания товарной формы целевому продукту; 6 – стадия регенерации и очистки непрореагировавшего сырья; 7 – стадия регенерации и очистки вспомогательных веществ и материалов; 8 – стадия обезвреживания отходов производства

Представление основных операций ХТП в виде функциональной схемы весьма удобно для его понимания. Она дает общее представление о функционировании ХТС и служит предпосылкой для аппаратурного оформления и более детальной разработки ХТС.

Технологическая модель (схема) показывает элементы системы, порядок их соединения и последовательность технологических операций.

На рис. 4 приведена схема процесса производства полиакрилатов и полиметилакрилатов полимеризацией в суспензии.

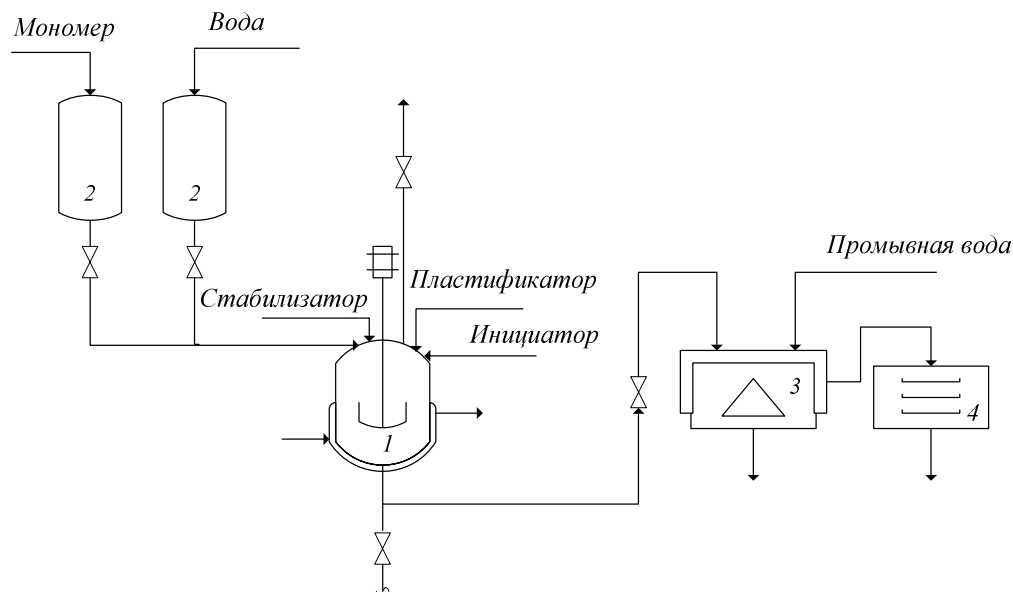


Рис. 4. Схема процесса производства полиакрилатов и полиметилакрилатов полимеризацией в суспензии:

1 – полимеризатор высокого давления; 2 – мерник воды и мономера;
3 – центрифуга; 4 – сушилка

Технологическую схему составляют в результате научной разработки данного способа производства, технологической и конструкторской проработки схемы, узлов и аппаратов. Технологические схемы используют при проектировании производства и при его эксплуатации.

Структурная модель (схема), в отличие от технологической, включает элементы ХТС в виде технологических операторов (рис. 5).

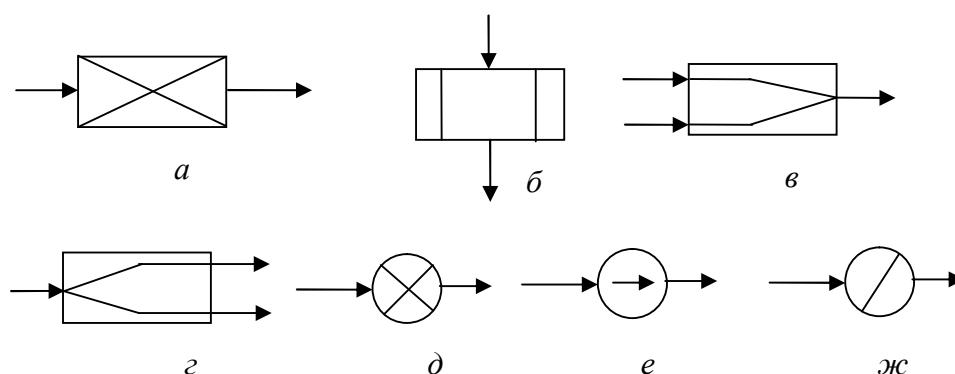


Рис. 5. Технологические операторы:

а – химические превращения; б – массообмен; в – смешение;
г – разделение; д – теплообмен; е – сжатие; жс – изменение агрегатного состояния

Зная обозначения элементов, такую схему удобно использовать при автоматизированных расчетах на ЭВМ – каждому виду элементов соответствует определенная подпрограмма (или блок) вычислительной системы. На рис. 6 в качестве примера приведен фрагмент операторной схемы синтеза аммиака.

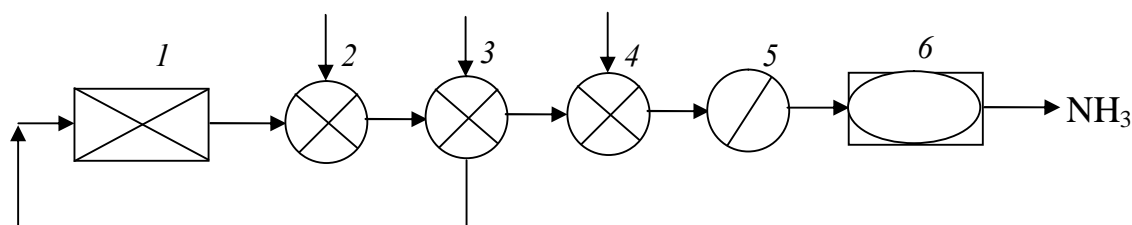


Рис. 6. Фрагмент операторной схемы синтеза аммиака:

1 – колонна синтеза NH_3 ; 2 – водяной холодильник; 3 – теплообменник;
4 – воздушный холодильник; 5 – сепаратор; 6 – сборник аммиака

Математическая модель (описание). Для количественных выводов о функционировании системы необходимо иметь математическую модель. Она устанавливает связь параметров выходящих потоков Y_n из элемента и входящих в него X_n, Z_n, H_n .

На рис. 7 показана схема внешних связей системы. При этом прямоугольник символизирует систему.

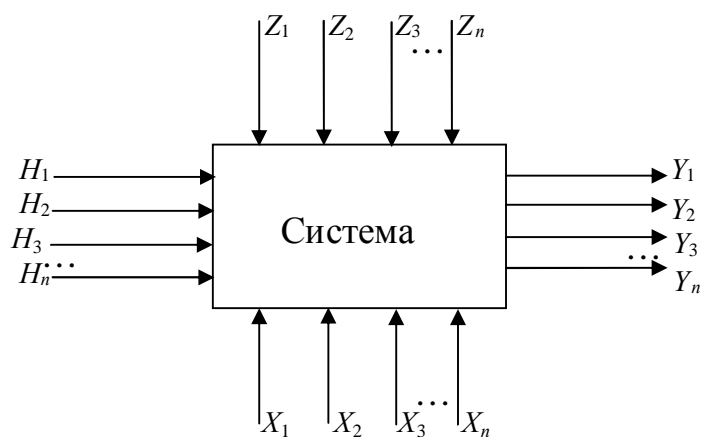


Рис. 7. Схема внешних связей системы

Буквами X, H, Z обозначены воздействия, оказываемые на систему. Будем называть их входами системы, или факторами. В некоторых случаях для краткости факторы $H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ в совокупности будем обозначать: через H – вектор факторов H ; через X – вектор факторов X ;

через Z – соответственно факторы Z_1, Z_2, \dots ; обозначения Y_1, Y_2, Y_3, \dots относятся к воздействиям системы на окружающую среду, это результат функционирования системы. Будем называть их выходами системы, или откликами (имеется в виду отклик системы на воздействие факторов). К их числу относится количество произведенной продукции, ее качественные показатели, количество выбрасываемых в окружающую среду вредных примесей, себестоимость, прибыль предприятия и т. п.

Входы на рис. 7 разделены на три группы: X, H, Z . Факторы X и H – контролируемые входы. Это те воздействия, которые мы контролируем (замеряем) в процессе функционирования системы. При этом H – факторы контролируемые, но не регулируемые. Мы измеряем их, знаем их величины, но не изменяем произвольно. Нерегулируемость части входов может быть объяснена следующими причинами. Некоторые факторы трудно регулировать, например: трудно изменять диаметр работающего реактора (а диаметр – фактор, который может существенно влиять на ход процесса), трудно регулировать состав сырья (что цех получил, то и надо перерабатывать) и т. д. Иногда организовать это технически нетрудно, но регулирование слишком большого числа факторов настолько усложняет систему управления ХТП, что предпочитают оставлять нерегулируемыми те из факторов, которые слабее прочих влияют на процесс.

X – вектор контролируемых и регулируемых входов. Это те воздействия, которые мы изменяем, чтобы управлять системой. Поэтому их называют управляющими факторами.

Z – вектор неконтролируемых факторов. Это те воздействия на систему, которые находятся вне нашего контроля.

Следует заметить, что возможны три основных причины того, что тот или иной фактор оказывается неконтролируемым. Во-первых, объект может быть плохо изучен, мы не знаем, что данный фактор существенно влияет на проведение объекта, и поэтому не контролируем этот фактор. Во-вторых, неумение контролировать тот или иной фактор. И самый важный из них и наиболее сильно влияющий на разнообразные системы, контролировать который практически не удастся, – это индивидуальность и душевное состояние человека, работающего с данной системой. Нам далеко не всегда известно, какие именно параметры этого сложного фактора оказывают влияние и как их измерить.

Наиболее распространена третья причина, по которой мы не контролируем множество входных воздействий. Каждое воздействие из этого множества слишком слабо, чтобы стоило его контролировать. С другой стороны, таких слабых воздействий столь много, что все их

контролировать невозможно. На ХТП как-то влияют и микропримеси, попадающие из воздуха в аппараты, и солнечный луч, пробившийся и слегка подогревший аппарат, и вибрации от проехавшего за стеной грузовика, чуть-чуть уплотнившийся слой катализатора и т. д. При этом каждый из этих факторов влияет слабо, но их столь много, что совокупность их влияний оказывается весьма ощутимой.

Важно отметить, что это влияние носит случайный характер: не контролируя входы, невозможно предсказать, как они повлияют в тот или иной момент. В эксперименте их влияние проявляется в случайных ошибках опыта, на производстве – в случайных возмущениях режима. В целом влияние неконтролируемых воздействий часто обозначают термином «шум».

Математическое описание функционирования системы в общем виде представляет собой систему уравнений вида

$$Y_i = \Phi_i(H, X, Z). \quad (6)$$

Во многих случаях каждое из уравнений (6) достаточно точно можно представить в виде

$$Y_i = F_i(H, X) + \Psi_i(Z). \quad (7)$$

Часто под математической моделью понимают именно совокупность функции $F_i(H, X)$, выделяя оценку шума в отдельную задачу.

2.5. Два подхода к описанию системы

Вид функции $Y_i = F_i(H, X)$ можно получить из двух разных подходов. Первый из них можно назвать структурным, и суть его заключается в следующем.

Для создания математической модели системы прежде всего исследуют ее структуру – составляющие систему элементы и характер их взаимодействия. Применительно к ХТП это означает расшифровку его механизма. В результате получается схема ХТП и его модель, которая содержит информацию о механизме реакции, характере движения потоков, процессах переноса тепла и массы и взаимном влиянии химизма, гидравлики, тепло- и массопереноса. Записывают эту схему на языке математики, получают некую систему уравнений, описывающих процесс.

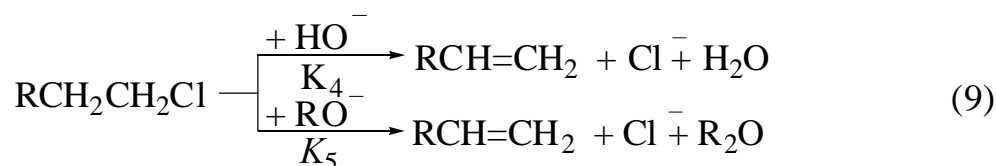
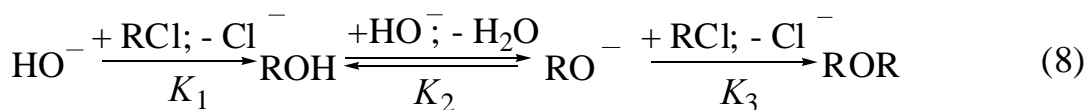
Обычно на этом этапе уравнения получаются в общем виде. В них входят некоторые, пока неизвестные, коэффициенты, константы скоростей реакции, коэффициенты тепло- и массопереноса и т. д. Для опреде-

ления параметров ставится эксперимент, результат которого позволяет получить модель в полном виде, со всеми коэффициентами.

Пример

Рассмотрим гидролиз хлорпроизводного при избытке воды в гомогенных условиях, приводящих к образованию спирта, простого эфира и олефина.

При наиболее вероятных механизмах замещения (S_{N2}) и отщепления (E_2) имеем такую схему превращений, учитывающую существование основания в двух формах (HO^- и RO^-):



Кинетическая модель будет состоять из трех дифференциальных уравнений скорости для ключевых соединений:

$$\frac{\partial [ROH]}{\partial t} = K_1 \cdot [RCl] \cdot [HO^-] - K_2 \cdot [RCl] \cdot [RO^-]; \quad (10)$$

$$\frac{\partial [ROR]}{\partial t} = K_3 \cdot [RCl] \cdot [RO^-]; \quad (11)$$

$$\frac{\partial [\text{олефин}]}{\partial t} = K_4 \cdot [RCl] \cdot [HO^-] + K_5 \cdot [RCl] \cdot [RO^-]; \quad (12)$$

$$K_2 = \frac{[RO^-]}{[HO^-] \cdot [ROH]}; \quad (13)$$

$$[\text{основание}] = [HO^-] + [RO^-]; \quad (14)$$

Уравнения (15) и (16) – это уравнения баланса реакции:

$$[\text{основание}] = [NaOH, O] - [ROH] - 2 \cdot [ROR] - [\text{олефин}]; \quad (15)$$

$$[RCl] = [RCl, O] - [ROH] - 2 \cdot [ROR] - [\text{олефин}]; \quad (16)$$

По этим уравнениям поиск констант проводят на ЭВМ по минимуму взвешенной суммы квадратов отклонения в концентрациях спирта, эфира и олефина, т. е.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{S_{\text{РОН}}^2} \sum (C_{\text{РОН}} - \bar{C}_{\text{РОН}})^2 + \frac{1}{S_{\text{олеф}}^2} \sum (C_{\text{олеф}} - \bar{C}_{\text{олеф}})^2 + \\ & + \frac{1}{S_{\text{РОР}}^2} \sum (C_{\text{РОР}} - \bar{C}_{\text{РОР}})^2. \end{aligned} \quad (17)$$

Второй подход – эмпирический. Он основан на знании некоторых экспериментальных кинетических и структурных закономерностей протекания процесса, полученных без выявления детальной кинетики, справедливых обычно в узком интервале условий синтеза. Для сложного и недостаточно изученного процесса эмпирические методы оказываются применимыми. Однако, к сожалению, они часто не используются в технологии и в тех случаях, когда существует более тонкое описание ХТП, позволяющее вести его экономичнее и получать при этом продукт более высокого качества.

В настоящее время для решения технологических задач используют так называемые методы «черного ящика», позволяющие рассчитывать процесс и управлять его работой даже в том случае, когда нет никаких данных по химии процесса, ни по тепловому и гидродинамическому режимам работы реакторов.

Сущность этих методов состоит в статистическом построении вероятных полиномиальных зависимостей выходных данных ХТП (откликов) от управляющих параметров (факторов) на основе имеющегося небольшого набора данных по измерению этих величин (рис. 8).

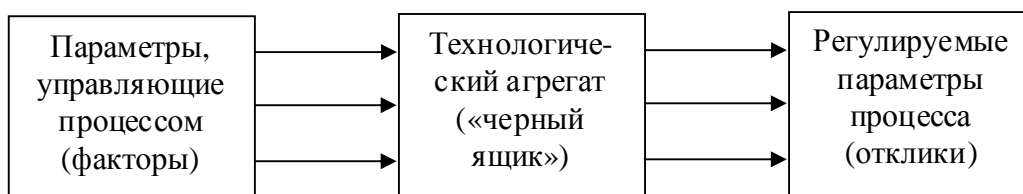


Рис. 8. Схема эмпирической модели ХТП

По мнению специалистов, методы не дают возможности экстраполяции полученных закономерностей на другие условия, а, следовательно, исключают возможность коренного усовершенствования процесса.

2.6. Системный анализ территориально-промышленных комплексов

При организации МОТ и БОТ большое значение имеет комбинированное и межотраслевое кооперирование на базе комплексной переработки сырья и утилизации отходов. Наиболее благоприятные возможности для кооперирования различных производств складываются в условиях территориально-производственных комплексов (ТПК).

Основной теорией формирования ТПК с безотходной технологией является системный анализ, который позволяет исследовать взаимодействие технологических схем производств с окружающей средой. При этом рассматриваются:

а) системы бессточного водоснабжения, в которых сточная вода после очистки высокой степени может повторно использоваться в исходном технологическом цикле, а также в других производствах и для бытовых нужд, включая в идеале питьевое водоснабжение;

б) системы использования в технологических целях атмосферного воздуха с последующим возвратом его в атмосферу (после соответствующей очистки), в замкнутые энерготехнологические системы, обеспечивающие наиболее полное использование внутренних энергетических ресурсов с минимально возможным потреблением внешних источников.

Система ТПК включает пять производственных блоков:

- добыча сырья;
- предварительная подготовка сырья;
- основной технологический процесс;
- переработка, выпуск конечного продукта производства;
- переработка и утилизация вторичных материальных ресурсов.

Такая система состоит из трех иерархических уровней. На нижнем уровне находятся технологические процессы, присущие предприятию отрасли. Этими процессами, например для химического производства, могут быть:

- обработка твердых веществ, жидкостей и газов;
- передача тепла от продуктов обработки к теплоносителю;
- различные химические реакции в реакторах и др.

На втором, более высоком, уровне указанные выше процессы объединяются и происходит организация рециркуляционных процессов (циклов), обеспечивающих более полную переработку исходного сырья и обрабатываемых продуктов для производства конечных изделий в условиях оптимальной организации технологических потоков и при минимальных отходах.

На верхнем иерархическом уровне отдельные блоки объединяются в предприятия или комбинаты. В этом случае возникают проблемы организации управления производством в целом, формирования производственных циклов, планирования сырьевых, энергетических, водных и других ресурсов, реализации готовой продукции или полуфабрикатов.

Опыт работы существующих производств, при создании которых принцип системного анализа не был использован и формирование осуществлялось на основе параллельного или последовательного технологического принципа, показал, что такое формирование приводит к дублированию основных видов оборудования.

В результате растягиваются основные коммуникации, что вызывает затруднения в организации комплексного использования сырьевых и энергетических ресурсов, приводит к увеличению их потерь, отсутствию условий для создания замкнутых энерготехнологических систем и рецикла, а следовательно, увеличению выбросов в окружающую среду. Все это снижает общую экономическую эффективность производства и увеличивает загрязнение окружающей среды.

Важным этапом системного анализа при разработке БОТ является составление фактических материальных и энергетических балансов производства, использование которых при математическом моделировании и последующем анализе моделей обеспечивает объективную оценку возможных производственных выбросов и помогает найти способы их снижения. Практика показала, что метод оценки количества выбросов, основанный только на натурных замерах и лабораторных анализах, оказался непригодным, т. к. во многих случаях получалось существенное расхождение (в десятки раз!) между общим количеством загрязнений и количеством использованного сырья.

В процессе системного анализа общее количество производственных загрязнений (сточных вод, газовых выбросов, твердых отходов) определялось как разность между количеством израсходованного сырья и конечного продукта. В этом случае роль натурных замеров и лабораторных анализов сводилась к уточнению распределения загрязнений по видам потерь. Найденные количества фактических выбросов сопоставились с расчетными значениями максимально допустимых выбросов данной точки технологического цикла.

Заключение

Важнейшим требованием к БОП является принцип системности. Исследования сложных химико-технологических систем с использованием методов и средств теории систем получило название системного

анализа ХТС. Системный анализ – результат применения к исследованию и разработке ХТС опыта изучения, создания и эксплуатации химических производств с привлечением методов, используемых в химических, физических и математических науках, моделировании, вычислительной математике, механике, автоматическом управлении и других разделах науки, используемых в инженерно-химических исследованиях и разработках.

Современное химическое производство состоит из большого числа взаимосвязанных подсистем, между которыми существуют отношения соподчиненности в виде иерархической структуры. Каждая подсистема химического предприятия представляет собой совокупность химико-технологических систем и системы автоматического управления, действующих как одно целое для получения заданного продукта.

Описание системы, состоящей из сотен элементов и связей – сложная совокупность алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений. Основное средство системного анализа – ЭВМ, компьютер.

Глава 3. ПРИНЦИП ЦИКЛИЧНОСТИ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ

3.1. Принцип рециркуляции

Одним из общих принципов, лежащих в основе создания безотходных производств, является цикличность материального потока, т. е. возврата части его обратно в процесс. Это способствует интенсификации ХТП, т. к. наиболее полно используются исходные продукты и энергия, улучшаются условия ведения процессов.

Известно, что скорость превращения резко уменьшается при приближении к состоянию химического равновесия и, следовательно, часто приходится прерывать процесс в значительном удалении от состояния равновесия, отводя из реактора смесь реагентов, содержащую непрореагировавшие исходные вещества. Это обеспечивает большую движущую силу процесса и, таким образом, увеличивает выход продукта в расчете на единицу реактора. Из смеси, отводимой из реактора, отделяются продукты, а исходные соединения возвращаются в процесс. В промышленности этот прием обычно применяется тогда, когда положение равновесия не очень выгодно и можно легко выделить продукт из реакционной смеси. Так, классическим примером проведения процесса с рециркуляцией служит синтез аммиака из азота и водорода при высоком давлении (рис. 9).

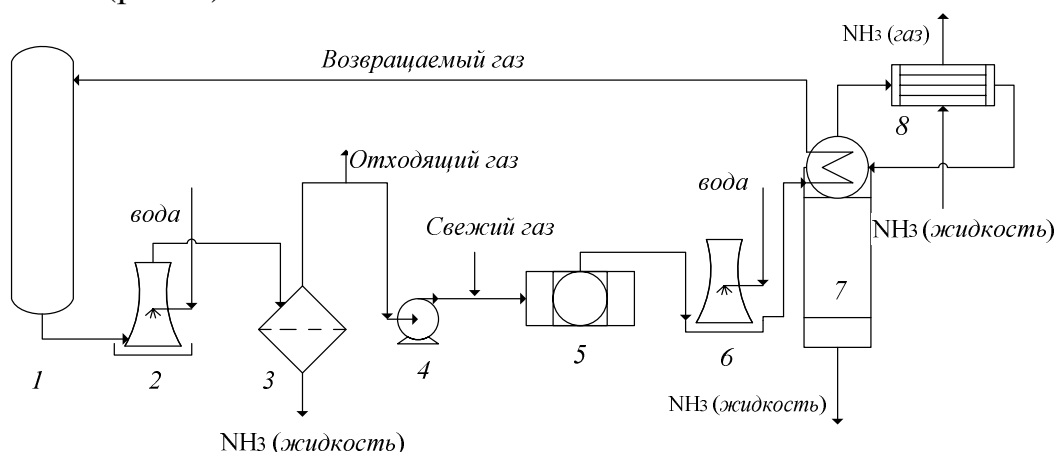


Рис. 9. Схема рециркуляции при синтезе аммиака:

- 1 – реактор; 2 – водяной конденсатор; 3 – отделитель жидкого аммиака; 4 – насос;
5 – масляный фильтр; 6 – холодильник; 7 – теплообменник и отделитель аммиака;
8 – аммиачный конденсатор

Степень превращения исходных веществ во время одного прохода реагентов через реактор невысока (содержание NH_3 $8 \div 25$ %), примене-

ние же рецикла исходных веществ, не вступивших в реакцию, позволяет значительно увеличить суммарную степень превращения. Чем интенсивнее будет возврат реагентов, тем большее количество аммиака будет получено в единицу времени с единицы объема реакции:

Объемная скорость газов, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$:	10000	20000	40000	50000
Количество полученного NH_3 , $\text{кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3)$:	1670	2970	4925	5800

Существует, однако, максимум аммиака, полученного с 1 м^3 аппарата в единицу времени, поскольку количество несконденсированного NH_3 , оставшегося в газах, пропорционально их объемной скорости.

3.1. Задачи, решаемые с введением рециклов в химико-технологическую систему

С введением рециклов в ХТС производств различных продуктов решается ряд важных технологических задач, а именно:

- наиболее полное использование исходных химических компонентов (для реакторов с неполным превращением);
- исключение вредных выбросов в окружающую среду;
- рециркуляция энергии системы (например, использование тепла реакции для подогрева исходных реагентов);
- создание оптимальных технологических режимов (интенсификация начальных стадий автокаталитических реакций, создание избытка одного из реагентов для сдвига равновесия химической реакции в направлении образования целевого продукта), подавление побочных и интенсификация основных химических реакций, создание оптимального температурного режима;
- наиболее полное использование катализаторов и инертных растворителей, в присутствии которых протекает химическое превращение.

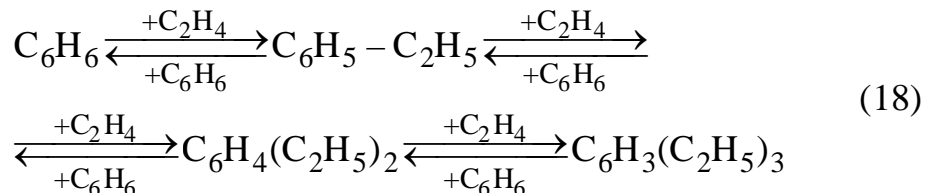
3.2. Примеры некоторых химических реакций с рециклом сырья

Рассмотрим ниже некоторые химические реакции, для которых введение рецикла части продуктов может оказаться эффективным.

Рециркуляцию можно использовать, если нужно уменьшить скорость очень быстрых экзотермических превращений. Возврат значительной части продуктов в реакционную систему понижает концентрацию исходных веществ в потоке и предотвращает взрыв в ходе реакции.

Возврат непрореагировавших исходных веществ изменяется также в том случае, когда избыток одного из них влияет на механизм про-

цесса, приводя к повышению доли основной реакции за счет побочной. Примерами могут служить процессы получения этилбензола и хлорирования бензола до монохлорбензола. Например, при алкилировании бензола этиленом в присутствии AlCl_3 реакция может проходить по следующей схеме:



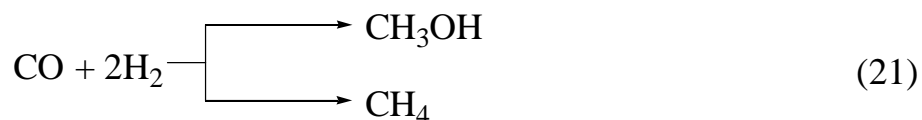
Целевым продуктом является этилбензол. В реакционной системе очень быстро устанавливается состояние равновесия. Положение его зависит от количественного соотношения этилена и бензола. Избыток бензола, через который барботирует этилен, предотвращает образование побочных продуктов.

Хлорирование бензола осуществляется при температуре $\sim 75^\circ\text{C}$ в присутствии катализатора (FeCl_3):



Реакция (20) нежелательная. Когда в системе присутствует 1 % $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, реакция (19) протекает в 840 раз быстрее реакции (20). Скорости обеих реакций одинаковы при содержании $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, равной 74 %. Следовательно, процесс необходимо вести так, чтобы степень превращения бензола не превышала 30 %. Поэтому бензол берется в избытке. Кроме того, при таком способе проведения процесса легче поддерживать температуру на заданном уровне, поскольку в единице объема реактора выделяется меньшее количество отводимой затем теплоты.

При рециркуляции в системе могут накапливаться не принимающие участия в реакции инертные компоненты – примеси в потоке питания или вещества, образующиеся в результате побочных реакций. Например, примесью, образующейся в самой реакционной системе, является метан в синтезе метанола:



Во многих промышленных процессах с участием органических веществ протекают побочные реакции, в результате которых образуются нежелательные продукты. Из этого следует, что примеси и инертные

вещества после превышения некоторой допустимой их концентрации необходимо удалять из рециркуляционного потока. Для исключения возможности накопления этих нежелательных веществ в системе после каждого цикла нужно отводить по крайней мере такое их количество, которое за то же время вводится в систему или образуется в результате превращения. Величина потока выводимых из системы примесей определяется на основании расчета материальных балансов.

В некоторых случаях проводится регенерация исходных веществ или ценных побочных продуктов, отводимых из рециркулирующей смеси. Решающее значение при этом имеют экономические факторы, требования о предотвращении загрязнения биосферы и т. д.

Пример такой регенерации приведен на рис. 10.

К простейшим примерам циклических материальных потоков можно отнести замкнутые водо- и газооборотные циклы химических производств.

В качестве эффективных путей формирования циклических материальных потоков можно указать на комбинирование и кооперацию производств, создание ТПК, а также разработку и выпуск новых видов продукции с учетом требования повторного ее использования. Иногда приходится иметь дело с сопряженным рециклом в двух независимых процессах. В этом случае избыток исходного вещества одного процесса направляется в другой процесс, что, конечно, возможно лишь на предприятиях, вырабатывающих различные продукты и экономно использующих все реагенты. Наиболее легко это осуществить в ТПК.

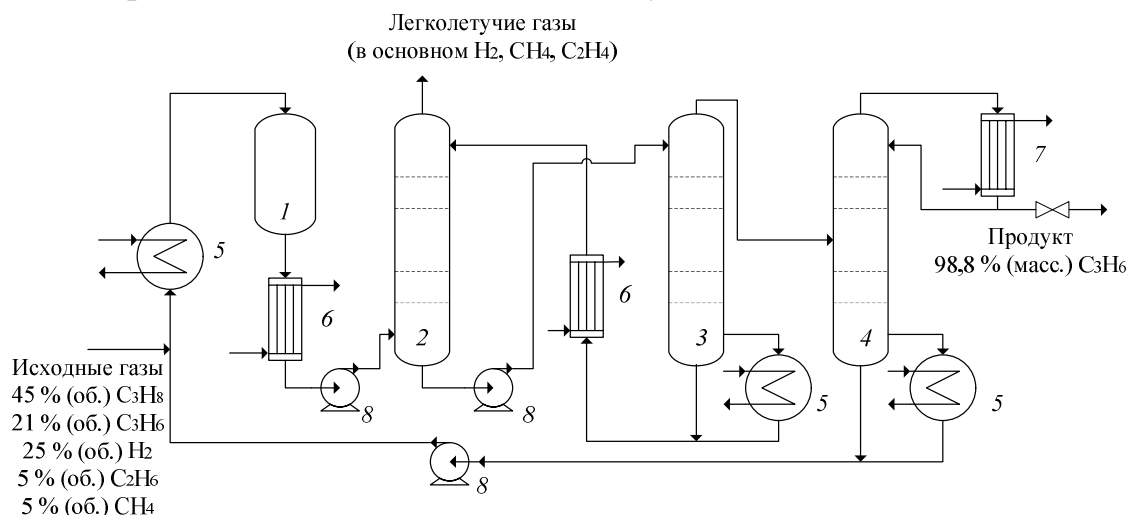


Рис. 10. Схема каталитического дегидрирования пропана до пропилена с регенерацией исходных веществ и возвращением их в цикл:

1 – контактный реактор; 2 – абсорбер; 3, 4 – дистилляционные колонны; 5 – кипятильники; 6 – холодильники; 7 – дефлегматор; 8 – компрессоры

Теперь рассмотрим реакцию типа



когда сырье A дороже сырья B . В этом случае процесс выгоднее вести не в стехиометрической смеси, а при избытке вещества B .

Если один из продуктов реакции более летуч, то вещество это целесообразно отгонять по мере его образования, чтобы сместить равновесие вправо и увеличить тем самым степень превращения реагентов. Аналогичный эффект может быть получен при отгонке легколетучего компонента в отдельном аппарате и возвращении части остатка в реактор.

Рецикл является желательным и в случае, когда реакция $A \rightarrow B$ сопровождается побочной параллельной обратимой реакцией $A \rightleftharpoons C$ или обратимой реакцией расщепления $B \rightleftharpoons C$. При возвращении в реактор части продукта произойдет уменьшение его образования в соответствии с законом действия масс. Кстати, к этой мере прибегают при производстве этилбензола, в котором образуются нежелательные полиэтилбензолы в качестве побочных продуктов.

Из теории технологических процессов известно, что эффективность использования рециклов в значительной степени также определяется типом химического реактора.

По гидродинамической модели реакторы классифицируют на реакторы вытеснения непрерывного действия (РВНД) и реакторы смешения непрерывного действия (РСНД) и периодического действия (РПД).

Так, для простых реакций, скорость которых описывается уравнением вида

$$R_n = K \cdot C^n, \quad (23)$$

где n – порядок реакции;

C – концентрация,

РВНД всегда эффективнее реактора с перемешиванием. Однако введение рецикла приводит к изменению структуры потоков в реакторе, приближая ее к режиму перемешивания. Следовательно, для простых реакций охват рециклом трубчатого реактора (РВНД) не приводит к увеличению эффективности этого реактора. Эффективность реактора с перемешиванием не зависит от того, имеется ли рецикл или нет.

Справедливы ли эти выводы для сложных реакций? Нет. В случае сложных реакций, в зависимости от их типа, соотношения кинетических параметров, эффективность реакторов с перемешиванием, трубчатых, с рециклом и без рецикла может изменяться в широких пределах.

В качестве примера рассмотрим сложную реакцию типа



в которой вещество B является целевым продуктом, и покажем, что введение рецикла (рис. 11) увеличивает абсолютный выход целевого продукта B . С этой целью составим материальный баланс по компонентам A и B для РВНД, с учетом рециклического потока, для реакции первого порядка.

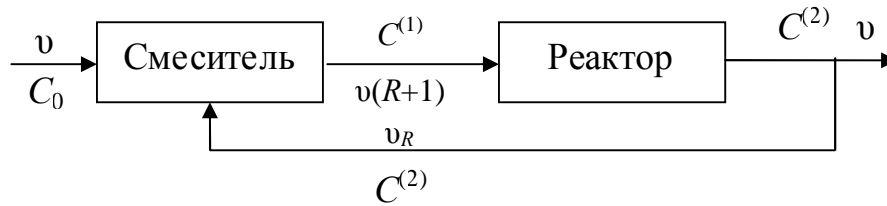


Рис. 11. Блок-схема РВНД с рециклом

Уравнения материального баланса по компонентам A и B для указанного реактора с рециклом имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_A}{\partial l} &= -\frac{k_1 \cdot t}{R+1} \cdot C_A \cdot (1 + a_1 \cdot C_A); \\ \frac{\partial C_B}{\partial l} &= -\frac{k_1 \cdot t}{R+1} \cdot (C_A - a_2 \cdot C_B). \end{aligned} \quad (25)$$

В этих уравнениях

$$\begin{aligned} C_A &= \frac{C_A}{C_{A_2}}; \quad C_B = \frac{C_B}{C_{A_0}}; \quad t = \frac{V_p}{v}; \\ a_1 &= \frac{k_3 \cdot C_{A_0}}{k_1}; \quad a_2 = \frac{k_2}{k_1}; \quad l = \frac{l'}{L}; \quad R = \frac{v_R}{v}, \end{aligned}$$

где k_1, k_2 и k_3 – константы скоростей реакций;

V_p – объем реактора;

v – количество исходной смеси, подаваемой в систему;

l' – текущая длина реактора;

L – общая длина реактора;

v_R – количество рециркулирующего потока.

Концентрация реагентов на входе в реактор определяется из условия смешения потоков:

$$\begin{aligned} C_A^{(0)} = C_A^{(1)} &= \frac{1 + R \cdot C_A^{(1)}}{R + 1}, & C_A^{(1)} &= C_A^{(2)}; \\ C_B^{(0)} = C_B^{(1)} &= \frac{C_B^{(0)} + R \cdot C_B^{(1)}}{R + 1}, & C_B^{(1)} &= C_B^{(2)}, \end{aligned} \quad (26)$$

где $C_A^{(0)}$ и $C_B^{(0)}$ – начальные концентрации реагентов;

$C_A^{(1)}$ и $C_B^{(1)}$ – концентрации реагентов на выходе из реактора.

На рис. 12 показаны области оптимального использования реактора с рециклом в зависимости от кинетических параметров.

Максимальный выход промежуточного целевого продукта B ($C_{B_{\max}}$) является функцией кинетических параметров a_1 и a_2 , величины R и времени пребывания. В зависимости от значений a_1 и a_2 существуют области, для которых оптимальным с точки зрения максимума выхода будет один из трех типов аппаратов: реактор с мешалкой, трубчатый реактор, трубчатый реактор с рециклом.

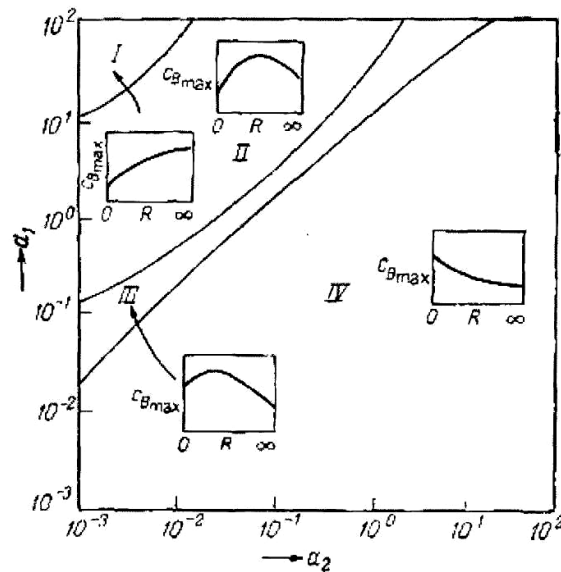


Рис. 12. Области оптимального использования реактора с рециклом в зависимости от кинетических параметров

Все три типа реакторов могут быть описаны одной, принятой ранее, моделью идеального вытеснения с рециклом, которая при $R \rightarrow 0$

переходит в модель идеального вытеснения, а при $R \rightarrow \infty$ – в модель идеального перемешивания.

На рис. 12 можно выделить четыре области:

I – область оптимального использования реактора смешения (модель идеального перемешивания);

II – область оптимального использования трубчатого реактора (модель идеального вытеснения) с рециклом; при этом в реакторе с мешалкой максимальный выход $C_{B_{\max}}$ выше, чем в трубчатом реакторе;

III – область оптимального использования трубчатого реактора с рециклом, при этом максимальный выход $C_{B_{\max}}$ в трубчатом реакторе выше, чем в реакторе с мешалкой;

IV – область оптимального использования трубчатого реактора.

Таким образом, оптимальный тип реактора может быть получен на основе анализа влияния рецикла R на выход $C_{B_{\max}}$. При этом рециклический поток является частью потока, выходящего из реактора.

Следует отметить, что еще большего успеха в использовании рециклов можно добиться при отводе потока рецикла из средней зоны трубчатого реактора.

На рис. 13 представлена зависимость концентрации целевого продукта C_B от степени превращения x_A в трубчатом реакторе с рециклом:

1 – $l = 0,7$, $R = 20$; 2 – $l = 0,7$, $R = 1,5$; 3 – $l = 1$, $R = 1,5$;

4 – $l = 1$, $R = 0$; 5 – $l = 1$, $R = 20$; 6 – модель идеального смешения.

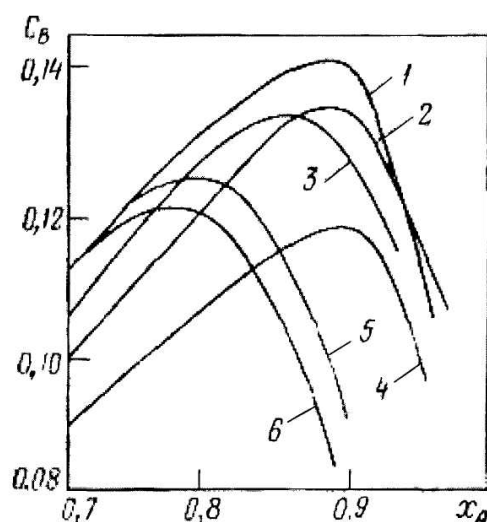


Рис. 13. Зависимость концентрации целевого продукта C_B от степени превращения x_A в трубчатом реакторе с рециклом

Как следует из рисунка, при кинетических параметрах $a_1 \gg a_2$ трубчатый реактор с рециклом, отбираемым из средней зоны реактора ($l = 0,7$), дает больший выход целевого продукта B , чем реактор с рециклом, отбираемым на выходе из реактора ($l = 1$), причем с увеличением коэффициента рециркуляции R максимальный выход $C_{B_{\max}}$ возрастает. Таким образом, как следует из приведенных примеров, введение рецикла в систему существенно повышает эффективность химического процесса.

Кроме того, возможно построение технологических схем с возвратом (рециркуляцией) непрореагировавших исходных и промежуточных реагентов, выделяемых из реакторного остатка на стадии разделения продуктов реакции, в реактор. Структура технологической схемы приведена на рис. 14.

Предполагается, что система разделения в общем случае может включать процессы ректификации, абсорбции, экстракции и др., и ее функционирование определяется только заданием по составу получаемых продуктов, таких, как флегмовое число и нагрузка по паре ректификационных колонн, величина орошения в абсорберах и т. п. Поставленное условие соответствует принципу стабилизации потоков в системе разделения и является весьма существенным при анализе свойств реакторных систем с рециркуляцией.

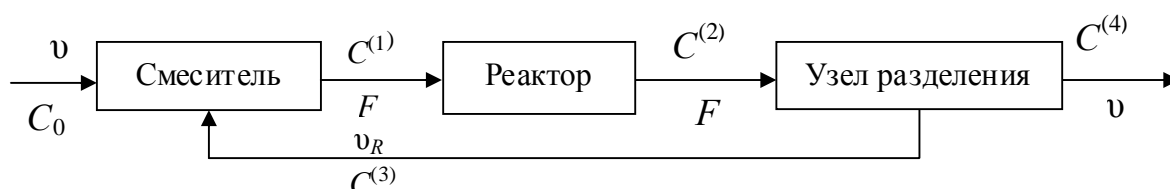


Рис. 14. Блок-схема реактора с рециклом и системой разделения

При реализации системы «реактор – узел разделения» наибольший интерес представляют режимы, на которых достигается полное использование исходных и промежуточных продуктов.

Надо отметить, что анализ какой-либо конкретной реакции и технологической схемы проводится в каждом отдельном случае. В общем виде по приведенной выше схеме или более подробно – в [20].

Заключение

Эффективным способом создания оптимально замкнутых БОП является использование рециркуляции, т. е. возврата части потока обратно в процесс. Введение рецикла может быть использовано для решения различных технологических задач, как, например, для целей интенсификации технологического режима внутри реактора, так и для создания технологических схем с наиболее полным использованием сырья и энергии. В первом случае эффективность введения рецикла зависит от специфики химической реакции, а также от типа химического реактора, охватываемого потоком рецикла.

С помощью рециклов можно повысить абсолютный выход любого продукта сложной химической реакции. Особенно важно, что это не может дать ни один из таких традиционных способов управления химической реакцией, как изменение давления, температуры и других параметров, т. к. они в той или иной степени действуют на все реакции, а рецикл, свободно оперируя скоростью и составом потока, направляет реакцию в желаемую сторону в максимально возможной степени.

Глава 4. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ

4.1. Постановка задачи

Комплексное использование природных ресурсов – это удовлетворение потребностей общества в определенных видах природных ресурсов, основанное на экономически и экологически оправданном использовании всех их полезных свойств, а также на максимально полной переработке и всестороннем вовлечении природных ресурсов в хозяйственный оборот с ростом перспектив развития различных отраслей промышленности, природоохранных норм и требований, интересов настоящего и будущих поколений людей.

Этот принцип составляет основу рачительного и экономного использования природных богатств, максимального ограничения возможных негативных последствий антропоического воздействия на окружающую среду. Таким образом, в настоящее время проблема комплексного использования сырья имеет большое значение как с точки зрения охраны окружающей среды, так и с точки зрения экономики. Например, в химической промышленности до 60÷70 % себестоимости продукции приходится на долю сырья, поэтому рациональное его использование является весьма актуальной задачей.

Этот принцип требует учета всех компонентов сырья, т. к. практически все сырьевые источники являются многокомпонентными и в среднем более трети по стоимости приходится на сопутствующие элементы, которые могут быть извлечены только при комплексной переработке. Так, уже сейчас практически все серебро, висмут, платину, а также более 20 % золота и около 30 % серы получают попутно при переработке комплексных руд. Требование комплексного использования сырья в настоящее время занесено в ранг государственной политики.

Комплексный подход обеспечивает эффективность малоотходных и безотходных производств, что в значительной мере ускоряет их разработку и внедрение. В качестве примера можно назвать комплексную переработку апатитового и нефелинового концентратов, руд, содержащих редкие металлы, о чем речь пойдет ниже.

В настоящее время значительное количество горных пород, минералов, многокомпонентных смесей органических и неорганических веществ подвергаются комплексной переработке. При этом из одной горной породы можно получать различные металлы, кислоты, соли, строительные материалы. Тем самым снижается объем отходов соответствующего производства, загрязняющих окружающую среду (уменьшается объем отвалов, количество шламов и пр.).

Сущность комплексного использования заключается в последовательной переработке сырья сложного состава в различные ценные продукты. В случае комплексного использования сырья основным технологическим операциям сопутствуют:

- извлечение полезных, но не нужных основному производству веществ;
- переработка этих веществ в целевые продукты или полуфабрикаты, поставляемые собственному основному производству или другим предприятиям.

Пути решения максимально полного использования природного сырья, энергии с минимальным воздействием на окружающую среду следующие:

- создание бессточных технологических систем на базе существующих, внедряемых в настоящее время, и перспективных способов очистки водных систем от растворенных и взвешенных загрязняющих примесей;
- разработка и внедрение систем утилизации отходов основного производства;
- создание новых технологических процессов получения традиционных видов продукции с сокращением стадий, на которых образуется основное количество отходов;
- создание территориально-производственных комплексов с замкнутой внутри них структурой материальных потоков сырья, продукции и отходов.

Выбор путей совершенствования защиты окружающей среды в каждой производственной системе зависит от экономической обоснованности технических решений, а также от природных особенностей конкретного региона.

Задача науки и технологии сводится к полному использованию сырьевых ресурсов, максимальному превращению сырья в используемые, полезные продукты.

Ниже рассмотрим пример полного использования сырья.

4.2. Использование сырья и вторичных материальных ресурсов

4.2.1. Пример комплексного использования сырья и вторичных материальных ресурсов

Первым примером комплексного использования сырья может служить схема переработки апатитово-нефелиновой руды, залежи которой имеются на Кольском полуострове (см. рис. 15).



Рис. 15. Схема комплексного использования апатито-нефелиновой породы:
 1 – процессы, осуществляемые в промышленности;
 2 – потенциальные промышленные процессы

Минеральную породу измельчают и разделяют методом флотации :

- на апатит $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$;
- нефелин $\text{K}_2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Нефелиновая фракция содержит нефелин, небольшие количества апатита и титано-магнетита и ещё меньшее количества минералов, включая редкие металлы. Из нефелина получают поташ, соду, алюминий, галлий, цемент. Из апатита получают фосфорные удобрения, фториды, гипс, но, как правило, не извлекают ценные редкоземельные элементы.

Другим примером комплексного использования органического сырья является термическая переработка топлива – угля, нефти, сланцев. Так, при коксовании угля, кроме металлургического кокса, получают коксовый газ и смолу, сырой бензол и аммиачную воду. Газы коксования имеют следующий состав: CO_2 , H_2 , C_nH_n , CO , C_nH_{n+2} , H_2S , N_2 .

Современные схемы переработки каменноугольной смолы предусматривают первичную дистилляцию смолы на фракции: легкое масло, фенольную, нафталиновую, тяжелое масло, антраценовое масло, пек.

Антраценовое масло перерабатывают, и в небольших количествах из него извлекают антрацен, фенантрен, карбазол, акридин. Основная масса антраценового масла после выделения из него сырого антрацена используется для консервирования древесины, производства сажи и др.

Карбазол является ценным сырьем для получения на его основе поли-9-винилкарбазолов, обладающих необычайно низкой электропроводностью, для получения красителей, а также фоточувствительных материалов для систем визуальной информации (электрография и др.).



Рис. 16. Схема переработки нефти

При пиролизе нефти получают ксилол, бензол, при перегонке получают циклогексан, изопентан. Крекинг нефти позволяет получать олефины (этилен, пропилен, бутилены и др.).

Перечисленные вещества являются основой для производства мономеров для дальнейших процессов полимеризации (олефины), выработка которых в мире постоянно растет.

Этилен – наиболее крупнотоннажный продукт нефтехимической промышленности. На базе этилена производится по крайней мере десяток крупнотоннажных нефтехимических продуктов, которые, в свою очередь, являются источником получения сотен и тысяч конечных химических и нефтехимических продуктов.

Концепция полного использования сырья реализуется в стремлении углубить переработку нефти и получить из нее максимум целевых продуктов.

При больших объемах нефтепереработки неизбежно образуется большое количество кубового остатка, который, в свою очередь, научились превращать в легкие продукты путем термического крекинга, коксования.

При термическом крекинге количество остатка уменьшается на 80 %. В случае коксования остатка вообще нет, но образуется около

30 % кокса, для которого нужен рынок сбыта (производство электродов, получение карбида кальция и графита).

Третьим примером может служить безотходное производство в гидролизной промышленности.

Гидролизная промышленность объединяет производства, основанные на химической переработке растительных материалов путем каталитического превращения (гидролиза) полисахаридов в моносахариды (пентозы, гексозы) с последующим получением на их основе высокоценных продуктов.

Основной продукцией гидролизной промышленности являются белковые дрожжи, получаемые микробиологическим синтезом на основе пентозных и гексозных сахаров гидролизатов растительного сырья. Гидролизные дрожжи содержат: белки – $48 \div 52$ %, углеводов – $13 \div 16$ %, жира – $2 \div 3$ %, золы – $6 \div 10$ %, десятки аминокислот, безазотистых экстрактивных веществ – $22 \div 40$ %. Добавка дрожжей в количестве $5 \div 10$ % от сухой массы кормового рациона животных повышает их привес на $15 \div 20$ % и снижает расход кормов на 10 %.

На гидролизных заводах вырабатывается этиловый спирт, получаемый путем сбраживания гексозных сахаров гидролизатов растительного сырья на спирт с последующим выделением его из спиртовой бражки методом ректификации. Из 1 т хвойного древесного сырья можно получить $170 \div 180$ л абсолютного этанола, из 1 т картофеля – 100 л, а из ржи – до 270 л. Концентрация спирта – 96,2 %, альдегидов – 4 мг/л, эфиров – 30 мг/л, сивушных масел – 4 мг/л, свободных кислот – 25 мг/л без CO_2 . Кроме спирта, получают фурфурол путем извлечения из паров самоиспарения гидролизата при гидролизе растительного сырья.

Фурфурол используется в качестве мономера для пластических масс, а также олиф и лаков; в пищевой промышленности – как антисептик при консервировании; в парфюмерии.

Ксилит – многоатомный спирт. Его применяют в пищевой промышленности вместо сахара в производстве кондитерских изделий для диабетиков. Получают из пентита по схеме:



Образующийся попутно углекислый газ идет на получение сухого льда.

Отходом производства является лигнин. Он не является индивидуальным веществом. Лигнин содержит такие группы, как $\text{CH}_3\text{O}-$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{C}=\text{C}$, $-\text{OH}$. Негидролизующаяся часть растительного сырья – лигнин клеточных стенок растений, целлюлоза, часть смол, восков, жиров, зольных веществ, гуминовых кислот, часть белков. Некоторое количе-

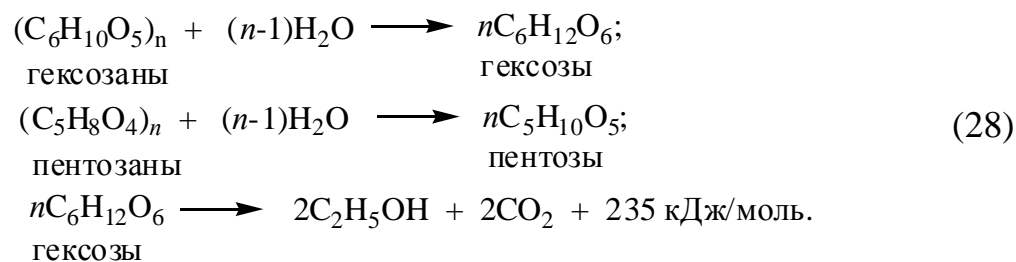
ство лигнина используют как котельное топливо, он является сырьем для получения активированных углей различного назначения. Он применяется также в строительной промышленности, в кирпичном и цементном производствах, а также для изготовления лигноволокнистых плит. Используют технический лигнин в производстве пластмасс, пресс-порошков на основе фенолформальдегидных смол.

Химической переработкой гидролизного лигнина получают нитролигнин, сунин, применяемые в нефтегазовой промышленности в качестве регулятора структурно-механических свойств глинистых растворов, для снижения буровых растворов. Также на основе гидролизного лигнина получают целый ряд биологически активных веществ и удобрений.

Сырьем для гидролизной промышленности служат древесные отходы, полученные при лесопилении, деревообработке, в канифольно-экстракционном производстве (экстракционная щепа); некоторые сорта дров, а также отходы перерабатываемых сельскохозяйственных культур (кукурузная кочерыжка, подсолнечная лузга, хлопковая шелуха и др.).

Для гидролизной промышленности основное значение имеют полисахариды (пентозаны и гексозаны). Общее содержание полисахаридов в различных видах растительного сырья – 50÷70 %.

В древесине хвойных пород содержится 7÷9 % пентозанов и гексозанов, лиственных – 18÷28 %. Кукурузная кочерыжка содержит пентозанов – 36 %, подсолнечная лузга – 24 %, лигнина же в сырье содержится в количестве 12÷32 %. Гидролиз гексозанов и пентозанов протекает по схеме:



Из пентозы получают кормовые дрожжи. В качестве катализаторов используют серную кислоту, температура – 160÷190 °С. В табл. 2 приведена продукция, получаемая из древесины.

Шламы образуются в результате нейтрализации кислого гидролизата известковым молоком и выделяются при горячем отстое нейтрализатора и холодном отстое азрированного охлажденного сусла. Для приготовления известкового молока используют негашеную известь. Шлам состоит из гипса, глины, непрореагировавших частиц извести. Отходы производственных сточных вод применяют для орошения полей или (после соответствующей очистки) в системе оборотного водоснабжения.

Таблица 2

Продукция и отходы на 1 т абсолютного сухого сырья, кг

Продукция и отходы	Завод дрожжевого профиля	Завод спиртового профиля
Спирт этиловый	–	175
Дрожжи кормовые	210	29
Фурфурол-сырец (94 %)	5,5	5,5
Углекислота жидкая	–	70
Метанол	2,0	2,0
Сивушные масла	–	3,0
Лигнин (абсолютно сухой)	380	380
Шлам (сухой)	225	225
Остатки	50	40

Промышленное использование гидролизного лигнина в натуральном виде:

1. В промышленности строительных материалов при производстве теплоизоляционных, кровельных и облицовочных материалов, кирпича, цемента, керамзита и др.

2. В производстве легковесных огнеупорных изделий в качестве выгорающей добавки и топлива.

3. В химической промышленности в качестве наполнителя в композициях различных полимеров.

Комплексная переработка сырья наиболее эффективно реализуется при комбинировании производств и предприятий в виде комбинатов или территориально-промышленных комплексов (ТПК). При этом отходы одних производств используются в виде сырья на других производствах. Экономический эффект подобной связи обусловлен изменением дешевого сырья – отходов и возможностью ведения совместного общезаводского хозяйства (транспорт, энергетика, очистные сооружения и т. п.). При этом на 60÷70 % сокращаются капитальные вложения в общезаводское хозяйство, что в конечном итоге приводит к снижению себестоимости продукции.

Существует несколько форм комбинирования при комплексном использовании сырья.

Так, для химической промышленности наиболее характерна форма использования отходов основного производства в качестве сырья вновь организуемых подчиненных производств.

Типичный пример комбинирования предприятий с использованием отходов основного производства – объединение заводов цветной металлургии с химическим, в первую очередь с сернокислотным. Так, произ-

водство серной кислоты, объединенное с металлургическим производством, базируется на отходах последнего – флотационном колчедане и отходящих печных газах, содержащих диоксид серы.

Такое комбинирование способствует и техническому прогрессу, т. е. внедрению на предприятиях новой техники и технологии, более прогрессивных в отношении охраны окружающей среды. Например, для обжига концентратов цветных металлов на заводах применяют печи кипящего слоя, которые сокращают выбросы диоксида серы в отличие от старых обжиговых систем.

Уровень комплексности использования минерального сырья можно оценить коэффициентом комплексности (K_K), представляющим собой отношение суммарной стоимости извлеченных в товарную продукцию полезных компонентов к суммарной стоимости компонентов в сырье:

$$K_K = \frac{\sum M_{n_i} \cdot C_i}{\sum M_{C_i} \cdot C_i}, \quad (29)$$

где M_{n_i} и M_{C_i} – массовая доля ценных компонентов в сырье и товарной продукции соответственно;

C_i – единые цены, установленные для каждого целевого компонента в товарном виде.

4.2.2. Вторичные материальные ресурсы

При создании БОП большое значение имеет комплексная переработка и непосредственно связанная с ней переработка и использование вторичных материальных ресурсов (ВТР).

Развитие науки и техники способствует постоянному расширению используемых отходов как вторичных материальных ресурсов. На предприятиях вводится в эксплуатацию специальное оборудование для переработки отходов, проводятся организационно-технические мероприятия для повышения уровня использования отходов в качестве вторичного сырья.

Результатом выполняемой в этом направлении большой работы можно считать использование (полностью или частично) более 250 видов отходов, в том числе таких многотоннажных, как огненно-жидкий шлак (отход фосфорного производства), из которого получают гранулированный шлак, щебень, пемзу, фторсодержащие растворы (отходы производства простого суперфосфата, двойного суперфосфата, экстракционной фосфорной кислоты). Эти растворы используются взамен при-

родного сырья – плавикового шпата – для получения кремнефтористых и фтористых солей – фторида алюминия и фторида натрия.

Ниже будут рассмотрены источники и кругообороты вторичного полимерного сырья.

Пластмассовые отходы возникают в промышленности при получении материалов, их переработке, изготовлении полуфабрикатов и изделий, а также в сфере потребления в виде отслуживших свой срок изделий. Отходы производства применяют на том же самом производственном процессе (это замкнутый оборот материала), в другом производственном процессе после соответствующей их подготовки (это разветвляющийся поток материалов) отходы вообще не используют (круговорот материального потока теоретически замыкается через окружающую природную среду). Нужно стремиться к созданию замкнутых оборотов, сберегающих материал.

Регенерат термопласта вводят в первичное сырье, и получается смесь для изготовления тех же самых, что и ранее, изделий, в этом случае имеет место замкнутый материальный оборот относительно отходов производства. Производство плекса (органическое стекло) построено на таком принципе.

Поскольку многократная переработка ведет к изменению структуры и свойств полимерных материалов, регенераты, как правило, используют для производства изделий с более низкими потребительскими свойствами. В этом случае имеет место разветвляющийся материальный поток, т. е. регенерат используется в другом процессе.

Третий вариант, т. е. неиспользование отходов, особенно часто встречается в производстве изделий из реактопластов. Отходы из них подвергают длительному хранению и даже уничтожению (сжиганию).

Для классификации вторичного пластмассового сырья (ВПС) используют различные критерии, в основном технологические, позволяющие делать заключение о возможностях его применения.

К ним относятся место и сфера возникновения (отходы) производства и потребления, а также особенности внешнего вида: загрязненность, тип, вид, форма. По этим критериям можно характеризовать кругообороты ВПС, выделив пять различных ситуаций, требующих различных хозяйственно-организационных и специфических технологических мероприятий для их осуществления.

Кругооборот I вторичного пластмассового сырья

Он возникает в промышленности, производящей пластические массы. К отходам относятся корки, образующиеся на стенках реакторов и фильтров, некондиционные полимеры (пониженная или повышенная

молекулярная масса, частицы с нестандартным размером, а также образцы материалов после физико-химических испытаний). Около 40 % таких отходов еще могут быть реализованы как товарная продукция, а остальные 60 % используют сами производители пластмасс (например, с помощью деполимеризации получают исходные реагенты). Доля отходов в производстве полиолефинов – 1,2 %.

Кругооборот II вторичного пластмассового сырья

Он относится к промышленности, перерабатывающей пластмассы (отходы используют на тех же предприятиях, где они возникают), литниковые отходы, брак и другие отходы, возникающие при запуске перерабатывающей машины. Эти отходы обычно измельчают в резательной мельнице, а затем пропускают через одночервячный экструдер с целью гомогенизации, стабилизации и грануляции.

В США долю отходов при первичной переработке пластмасс оценивают в пределах 5,6÷6,9 %, причем от 1,9 до 2,5 % не используются в дальнейшем.

Кругооборот III вторичного пластмассового сырья

Он охватывает производственные отходы термопластов, возникающие при дальнейшей обработке полуфабрикатов и изделий. Термопластичные полуфабрикаты проходят дальнейшую обработку (вакуумное формование, прессование, строгание) на большом числе предприятий. Отбор осложняется тем, что отходы многократно смешиваются с другими материалами. Много технических проблем возникает в связи с отходами комбинированных материалов, например комбинацией полимеров с текстилем. Такого рода отходы составляют примерно 18 % термопластичных материалов.

Кругооборот IV вторичного пластмассового сырья

Он затрагивает отходы термопластов, которые возникают в сфере производства и потребления как использованные продукты. Это, например, пленочные материалы в сельском хозяйстве и упаковочные материалы в торговле. Такие отходы сильно загрязнены, содержат инородные тела, отличаются повышенной влажностью.

Кругообороты V ВПС

Они охватывают индивидуальные отходы, а также частично отходы общественного потребления. Большая часть таких отходов приходится на домашнее хозяйство страны. Они, как правило, загрязнены и содержат инородные тела.

Следует признать, что из-за недостаточного уровня знаний и технологических сложностей около 0,84 % перерабатываемого материала (или 13÷15 % отходов) не могут быть использованы вообще, что оценивается величиной порядка 4 тыс. т в год. Сюда относят загрязненные, смешанные, сильно поврежденные термореактивные или комбинированные материалы.

Исследовательские и проектные разработки должны быть направлены на то, чтобы за счет применения материальных отходов и более простых форм изделий снизить количество отходов, разработать более эффективные технологические процессы, которые позволили бы на основе современных знаний получать из регенератов высококачественные изделия.

4.2.3. Использование и уничтожение отходов пластмасс

Отходы реактопластов после измельчения можно в определенных количествах добавлять в формовочные массы без значительного изменения свойств последних. Измельчения проводят в двухмолотковых мельницах. Размолотый материал просеивают, отделяя частицы размером больше 0,5 мм, в смесительной емкости смешивают со свежим сырьем. Пыль из молотковых мельниц отделяют фильтрованием и отсасывают. Воздух подвергается каталитическому сжиганию, т. к. во время измельчения реактопластов при высоких температурах могут выделяться токсичные газы.

Установки делают подвижными, производительностью 50 кг/ч. Размолотые отходы реактопластов используют в качестве инертных наполнителей. Смеси с отходами реактопластов перерабатывают литьем под давлением, литьевым прессованием. Эффективным методом измельчения отходов реактопластов является переработка их при низких температурах, когда почти 95 % частиц получаются с размерами, меньше или равными 0,4 мм. Измельченные отходы реактопластов можно также вводить в качестве наполнителей в термопласты. Материалы, содержащие до 30 % наполнителей из отходов реактопластов, могут перерабатываться литьем под давлением.

При введении в бетон производственных отходов полиэтилена низкого давления получают бетон с повышенными теплоизоляционными свойствами. Размолотые упаковочные изделия из вспененного полистирола применяют в качестве звукопоглощающего материала.

В дорожном строительстве отходы термопластов применяют для модификации битумов. Значительно хуже совмещаются с битумом полипропилен и АБС-пластики. Добавка от 7 до 8 % полипропилена значительно расширяет температурную область использования асфальта.

Целесообразно вводить измельченные отходы ПВХ в асфальтовую смесь при ремонте дорожного покрытия, т. к. это способствует повышению его морозо- и теплостойкости.

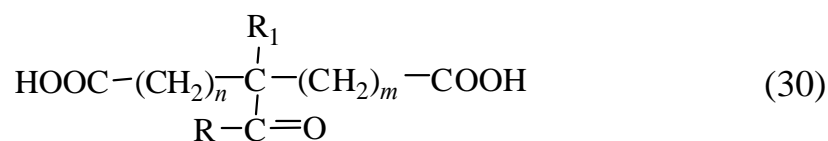
В сельском хозяйстве отходы вспененного полистирола (хлопья) применяют для улучшения почвы. Хлопья отходов смешивают с землей, и эта смесь заменяет торф или сосновые иголки. При этом облегчается обработка земли, ускоряется прогрев почвы, улучшается структура почвы.

4.2.4. Разрушаемые полимеры

Разработка фото-, био- и водоразрушаемых пластмасс вызвана требованиями охраны окружающей среды. Изделия из таких пластмасс безвредно разрушаются. Они не участвуют далее в материальных и энергетических оборотах. Эффект деструкции достигается главным образом за счет введения добавок или присоединения иницирующих групп к полимерным цепям.

Для осуществления фотоокислительной деструкции полимеров используют введение в их состав фотосенсибилизаторов, которые усиливают естественные процессы, введение фотосенсибилизирующих звеньев в полимерные цепи (разрушение происходит в этих местах), а также синтезируют новые сенсибилизирующие полимеры; например, фото-разрушаемые полимеры получают, вводя кетокарбонильные группы, которые под воздействием УФ-излучения вызывают деструкцию органических соединений. В высокомолекулярные соединения, получаемые полимеризацией, вводят винилкетоны, а в поликонденсационные полимеры – бифункциональные соединения.

Для смешанных полимеров можно использовать двухосновные кислоты, диамины и гликоли:



В качестве катализаторов деструкции рекомендуется использовать органические соли многовалентных переходных металлов железа, марганца, цинка, кобальта, а также хелаты с этими металлами общей формулы –



Примером биоразрушаемых полимеров является «Биопластик», наполненный 10÷40 % крахмала. При хранении старых пленок крахмал

представляет собой идеальный объект атаки множества микроорганизмов, которые, выделяя ферменты, переводят его в растворимую амилазу.

Полиолефины при сжигании позволяют сберечь приблизительно равное по массе количество мазута.

В Чехии разработана установка для сжигания отходов пластмасс и эластомеров, в которой за 1 час сжигается 1 м³ отходов с добавлением 20 кг дизельного топлива, светлого нефтяного продукта или отопительного газа. Опытная установка в Германии перерабатывает 400 кг/ч резины, полимерных пленок и изделий, упаковочный материал. На первой стадии отходы проходят термическую подготовку, а на второй сжигаются.

4.2.5. Переработка и утилизация отходов производств, химикатов-добавок для полимерных материалов

Производства химикатов-добавок для полимерных материалов, как и вся анилиноокрасочная промышленность, к которой они относятся, характеризуются рядом специфических особенностей, наиболее существенными из которых являются многообразие ассортимента выпускаемой продукции, большие расходы различного сырья, многостадийность процессов.

Основную массу отходов производств подотрасли составляют сточные воды, солевые отходы переработки сточных вод, кубовые остатки и другие твердые компоненты. Из более чем 40 тыс. т/год твердых отходов и побочных продуктов, образующихся в производствах химикатов-добавок для полимерных материалов, 18 тыс. т не находят применения в промышленности. Основное количество неиспользуемых отходов составляют минеральные соли и их смеси, содержащие примеси органических веществ, кубовые остатки и отходы растворителей. Их направляют на длительное хранение в шламонакопители, на свалку промышленных отходов или на уничтожение.

Различная номенклатура отходов производств химикатов-добавок и небольшой объем их образования по отдельным процессам затрудняют решение проблемы их утилизации и обезвреживания. Поиск решений необходимо вести для индивидуальных отходов или их групп, обобщенных по свойствам.

По месту переработки отходы можно разделить на следующие группы:

1. Отходы, которые целесообразно перерабатывать непосредственно в том цехе, где они образуются. К таким относятся отходы, из которых можно извлечь непрореагировавшее сырье и промежуточные продукты, а также дополнительное количество целевого продукта данного

производства, трудно транспортируемые отходы и отходы, не имеющие подобных на данной площадке, а отправлять которые на другие заводы нецелесообразно.

2. Отходы, которые целесообразно перерабатывать на централизованных станциях общезаводского характера.

3. Отходы, которые целесообразно отправлять на специализированные заводы, в организации и перерабатывать там совместно с исходным сырьем этих предприятий.

Способы переработки заключаются в утилизации, обезвреживании и изоляции отходов. Методы переработки основываются на физических (механических), химических, биологических и смешанных принципах.

Основными направлениями при переработке отходов производств химикатов-добавок для полимерных материалов являются первичная или вторичная утилизация отходов. Первичная утилизация – применение отходов в различных отраслях промышленности страны без предварительной глубокой физико-химической переработки, вторичная – использование продуктов физико-химической переработки.

Отходы производств химикатов-добавок для полимерных материалов имеют как неорганическую, так и органическую природу. Основными неорганическими отходами являются соли (сульфат и тиосульфат натрия, карбонаты калия и натрия, хлорид натрия) или их смеси, загрязненные незначительными количествами органических примесей, выделяемые при переработке сточных вод или при очистной фильтрации реакционных масс от катализаторов. Отходы химических предприятий применяют в качестве добавки в бетон, в стекольной промышленности и для получения сернистого натрия, а также в качестве сырья для изготовления сульфида натрия (продукт переработки сточных вод диафена ФП).

Органические отходы в производстве химикатов-добавок для полимерных материалов и полупродуктов для них образуются на стадии очистки технологических растворов или при перегонке, дистилляции, ректификации целевых продуктов и отходных растворителей. Эти процессы связаны с тепловой обработкой исходных веществ, что во многих случаях приводит к полимеризации и конденсации содержащихся в них примесей. В результате в кубовом остатке концентрируются тяжелые смолообразные вещества, содержащие примеси минеральных веществ.

Одним из крупнотоннажных является смолистый отход производства ускорителей вулканизации 2-меркаптобензтиазола. Предложено использовать указанный отход для получения топливной композиции, представляющей смесь 10÷15 % смолистых отходов производства 2-меркаптобензтиазола с 85÷90 % производства изопрена. Композиция имеет теплотворную способность – 8000 ккал и применяется для терми-

ческого обезвреживания, упарки сточных вод, а также в качестве теплоносителя.

Одной из перспективных областей применения органических отходов химических производств является дорожное строительство. Для асфальтобетонных покрытий наиболее характерным являются разрушения, обусловленные их недостаточной водо- и морозостойкостью, что объясняется отсутствием прочного сцепления битума с минеральными материалами. С целью повышения водостойкости покрытия предложено использовать в качестве органического вяжущего органоминеральной смеси кубовый остаток дистилляций 4-аминодифениламина при производстве стабилизатора диафена ФП. Существенно улучшает качество асфальтобетонных покрытий применение ПАВ (преимущественно катионоактивных).

Показано применение кубового остатка производства анилина в качестве пластифицирующей добавки при производстве кирпича. Солянокислый анилин (отход производства стабилизаторов) можно использовать в композиции для получения пенопласта. Для повышения прочности и теплостойкости пенопласта в композицию для его получения вводят морфолиновую смолу (отход производства морфолина).

Кубовый остаток производства анилина можно применять в качестве ингибитора коррозии черных металлов в кислых средах. Ингибирующий эффект – 94÷96 %.

В производстве толуилендиаминов (промежуточный продукт получения полиизоцианатов) кубовый остаток представляет собой смолу. На основе этой смолы разработан ингибитор кислотной коррозии металлов и внедрен на металлургических заводах при травлении проката.

4.2.6. Обезвреживание отходов

Отходы обезвреживают, если удаление их в окружающую среду опасно и не проводится их утилизация. Обезвреживание отходов заключается в их переработке, резко снижающей их токсичность или агрессивность.

Представляют интерес методы связывания компонентов отходов в результате различных реакций. Так, описан способ обработки отходов производства анилина, в основе которого лежит связывание компонентов кубового остатка формальдегидом в кислой среде. Продукт переработки отхода безвреден и может применяться в качестве порозаполнителя при обработке древесины или в качестве наполнителя пластмасс.

Традиционным способом обезвреживания отходов все же является термический метод.

Основой создания БОП является комплексная переработка сырья, поскольку отходы – это по тем или иным причинам неиспользованная или недоиспользованная часть сырья. В химической промышленности до 60÷70 % себестоимости продукции приходится на долю сырья, поэтому рациональное его использование является важной государственной задачей.

Как показывает опыт отечественного производства, разработка (и внедрение) технологий комплексной переработки сырья более экономична в ТПК. Структура ТПК должна представлять собой замкнутый цикл, в котором отходы одних предприятий являются сырьевыми ресурсами для других.

4.3. Использование вторичных энергоресурсов

4.3.1. Энергосбережение

Состояние экономики России и, как следствие, жизненный уровень людей во многом определяются наличием запасов топливно-энергетических ресурсов и эффективностью их использования. По оценкам специалистов, долю затрат на энергоресурсы в себестоимости продукции можно снизить за счет внедрения эффективного механизма энергосбережения, и в том числе использования вторичных энергоресурсов (ВЭР).

Энергосбережение в химической промышленности заключается в совершенствовании технологии и аппаратного оформления с целью максимального использования первичных и утилизации вторичных энергоресурсов.

Под ВЭР принято понимать энергетический потенциал продукции, отходов и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах (установках, процессах), который не используется в самом агрегате, но может быть частично или полностью использован для энергосбережения других агрегатов (процессов).

В химической технологии значительная часть энергоресурсов превращается в ВЭР в виде горючих отходов, теплот материальных потоков, отходящих и технологических газов, паров, продуктов химических реакций, холода, вырабатываемого в холодильниках, сжатых газов и т. п.

По видам все ВЭР подразделяют на три основные группы:

- горючие (топливные), представляющие собой побочные горючие газы, жидкости, твердые отходы, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве топлива;

- тепловые, представляющие физическое тепло отходящих газов, сточных вод, основной и побочной продукции, рабочих тел систем охлаждения и т. п.;

- избыточного давления, представляющие собой потенциальную энергию газов и жидкостей, выходящих из технологического агрегата с избыточным давлением, которое необходимо снижать перед их использованием или выбросом в атмосферу.

Перспективным направлением рационального использования энергоресурсов является организация энерготехнологических систем – агрегатов, установок, производств, в которых теплота химических реакций и физико-химических процессов используется полностью. Наиболее эффективно комбинирование крупнотоннажных установок и производств, в которых энерговоделеляющиеся устройства сочетаются с энергопотребляющими.

Характерными примерами энерготехнологических систем могут служить установки синтеза аммиака и производств слабой азотной кислоты, карбамида и метанола. В этих системах низко- и высокопотенциальная теплота дымовых и технологических газов утилизируется с максимальной полнотой, в том числе с подачей выработанного пара другим потребителям.

Отличительной особенностью энерготехнологических систем является строгая сбалансированность производства и потребления энергетического пара, основанная на утилизации ВЭР, в частности теплоты экзотермических реакций. Например, при производстве серной кислоты суммарное количество энергии, выделяющейся главным образом в виде тепловой, составляет, в зависимости от вида используемого сырья, от 5000 до 8000 МДж на 1 т кислоты.

Для современного комплекса производительностью 6000 т серной кислоты в сутки мощность теплового потока достигает 480 тыс. кВт. Использование только 5 % мощности выходящего потока позволит полностью компенсировать затраты энергии на производство кислоты. Остальная часть энергии должна применяться для получения высокопотенциального газа.

Кроме того, энергосбережение может быть достигнуто за счет совершенствования технологических процессов, выбора рациональных видов сырья и методов его подготовки, комплексного использования сырья, применения эффективных катализаторов, применения энергосберегающего оборудования, установки приборов учета и контроля.

Классическим примером рационального выбора сырья при производстве аммиака является замена бурого угля на природный газ. Расходный коэффициент по энергии в производстве аммиака на основе га-

зификации угля составляет 1780 кВт·ч/т связанного азота. На современных установках, использующих природный газ для синтеза NH_3 , расходный коэффициент по энергии составляет 60÷100 кВт·ч/т связанного азота. Как говорится, комментарии излишни.

Использование более активных катализаторов, обладающих высокой селективностью и устойчивостью, позволяет проводить процессы при более низких температурах и снизить энергозатраты на регенерацию катализаторов. Например, в производстве ароматических углеводородов использование новых, более активных и устойчивых катализаторов позволило снизить расход энергии на 0,26 т условного топлива на 1 т продукта, а в каталитическом реформинге повышение активности катализатора на 1 % приводит к снижению энергозатрат на 2,9 %.

Перспективна возможность использования тепловых насосов – принципиально новых энергетических устройств для обогрева помещений. Принцип действия и устройство тепловых насосов аналогичны холодильным машинам, но они предназначены для выработки теплоты. Теплонасосные станции обирают теплоту низкопотенциальных источников и обогревают объекты, где требуется умеренная температура, не выше 60÷80 °С. Эти устройства не загрязняют окружающую среду и экономичны, т. к. используют незначительное количество электроэнергии.

В связи с истощением энергоресурсов государственное значение приобретает более полное использование вторичных топливно-энергетических ресурсов (ВЭР), о чем речь пойдет ниже.

4.3.2. Утилизация горючих отходов химических производств

Газообразные отходы химических производств, полученные в результате переработки углеродсодержащего сырья, обладающие определенным запасом химической энергии, могут быть использованы в качестве горючих ВЭР. Такие горючие ВЭР образуются в производствах аммиака, метанола, ацетилен, капролактама, карбида кальция и др.

В производстве аммиака выделяются различного рода газы (ретурные, танковые и продувочные), фракция CO , а также жидкие углеводороды, которые могут быть использованы в качестве топлива. В производстве ацетилена выделяется сажевый шлам и высшие ацетиленовые гомологи, в производстве капролактама – продувочный газ и водород. Все указанные горючие ВЭР используются в качестве топлива либо для других целей. Использование их экономически весьма целесообразно, т. к. затраты на осуществление схемы утилизации горючих газов составляют не более 10÷20 % от затрат на добычу и транспортировку первичного топлива, которые при этом экономятся и вытесняются из топливно-энергетических балансов промышленных предприятий. Кроме

того, отходы термически обезвреживаются до выброса в атмосферу от токсичных и канцерогенных веществ, что способствует снижению загрязнения окружающей среды.

Значительную часть горючих ВЭР, для сжигания которых не требуется специального оборудования, используют в качестве котельно-печного топлива в технологических установках либо для выработки тепловой и электрической энергии в котельных или на электрических станциях.

Основная сложность при использовании горючих ВЭР заключается в их сборе, транспортировке, иногда в необходимости создания и применения для их сжигания специальных горелочных устройств, совершенствования существующих и разработки новых методов сжигания.

На большинстве химических предприятий образуются высоко- и низкотемпературные тепловые отходы, которые могут быть использованы в качестве ВЭР. К ним относятся уходящие газы различных котлов и технологических печей, охлаждаемые потоки продуктов, охлаждающая вода и отработанный пар.

Тепловые ВЭР в значительной степени покрывают потребности в тепле отдельных производств. Так, в азотной промышленности за счет ВЭР удовлетворяются более 26 % потребности в тепле, в содовой промышленности – более 11 %. Количество использованных ВЭР зависит от трех факторов:

- температуры ВЭР;
- их тепловой мощности;
- непрерывности выхода.

4.3.3. Пути использования высокотемпературных тепловых отходов

Наиболее полное и рациональное использование тепла высокотемпературных отходящих газов для теплоснабжения потребителей и для выработки электроэнергии осуществляется с помощью паровых котлов-утилизаторов. Оптимальная эффективность применения котлов-утилизаторов определяется начальной температурой отходящих газов (400÷500 °С и выше), а также количеством потребляемого промышленными печами топлива, среднегодовой расход которого должен составлять 500÷600 кг у. т. При этом количество отходящих газов составляет 5000 м³/т, а возможная производительность – 1000 кг/ч.

Применяемые в химической промышленности паровые котлы-утилизаторы подразделяются на следующие типы:

а) газотрубные для установок малой мощности с давлением 1,4 МПа, работающие при температурах отходящих газов $850 \div 1200$ °С;

б) конвективные с естественной и принудительной циркуляцией, рассчитанные на производство под давлением 1,8 и 4,5 МПа при температуре греющего газа $850 \div 1200$ °С;

в) радиационно-конвективные с естественной циркуляцией, работающие на отходящих газах при температуре до 1600 °С и рассчитанные на получение пара давлением 1,4 и 4,0 МПа.

В химической промышленности большое внимание уделяется разработке установок огневого обезвреживания отходов с использованием тепла отходящих газов.

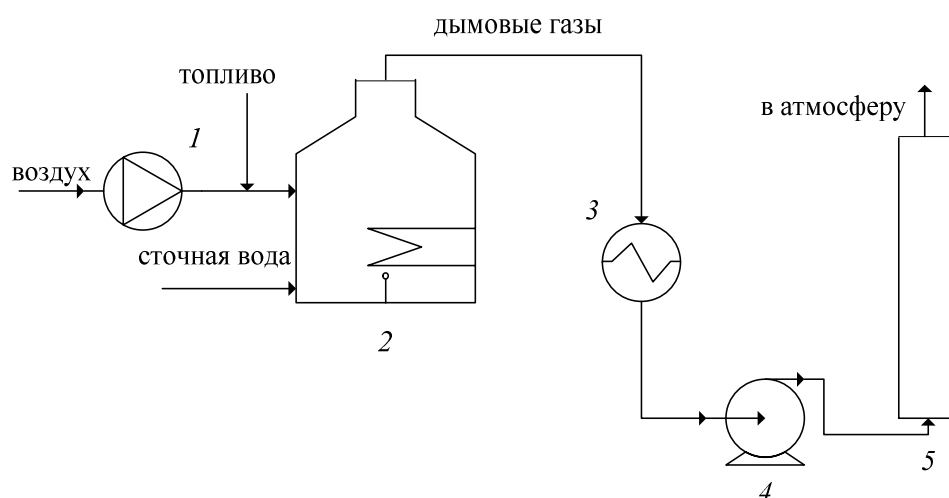


Рис. 17. Схема огневого обезвреживания сточных вод класса I с утилизацией отходящих газов для получения пара:

1 – воздуходувка; 2 – печь; 3 – котел-утилизатор;

4 – дымосос; 5 – дымовая труба

На рис. 17 приведена схема огневого обезвреживания сточных вод класса I с утилизацией тепла отходящих газов для получения водяного пара. В такой схеме удельный расход условного топлива может достигать 300 кг/т.

Схема, приведенная на рис. 17, не имеет газоочистки и пригодна только для сточных вод класса I. Это сточные воды, содержащие только органические вещества, не образующие при горении минеральных веществ.

Сточные воды, содержащие органические и минеральные вещества или только органические вещества, образующие при сгорании минеральные соединения, относятся к сточным водам II класса. При обезвреживании сточных вод II класса за котлом-утилизатором необходимо устанавливать систему сухой или мокрой газоочистки.

4.3.4. Утилизация низкопотенциального тепла некоторых отходов химических предприятий

Низкопотенциальные тепловые отходы составляют примерно половину всех вторичных энергоресурсов. До недавнего времени считалось, что сбросное низкопотенциальное ($50\div 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) тепло невозможно использовать. Для этого существовали объективные причины: во-первых, не умели находить потребителей «низкосортного» тепла, во-вторых, не было технических средств для его утилизации. Как правило, такое тепло отводилось в окружающую среду через систему оборотного водоснабжения или же непосредственно от технологического оборудования. При этом, с одной стороны, терялось значительное количество тепла, а с другой – бесполезно тратилась энергия и вода на охлаждение механизмов и агрегатов.

Низкопотенциальные вторичные энергоресурсы обычно содержатся в коррозионно-активных, загрязненных и запыленных жидкостях и газах, от которых невозможно отвести тепло, используя стандартную теплообменную аппаратуру. Но, даже отыскав способ отвода тепла от загрязненных технологических потоков, очень сложно найти надежных потребителей этого тепла. Прежде всего, следует искать потребителей в основной технологической линии. Если потребителя в основной технологической линии нет, нужно изучить возможность использования низкопотенциального тепла для вспомогательных целей: отопления и горячего водоснабжения предприятия, очистки стоков и конденсатов, выделения ценных веществ из стоков, опреснения, производства холода, обессоливания питательной воды. Наконец, если нет надежных потребителей на самом предприятии, нужно искать потребителей: отопления, горячего водоснабжения жилых массивов, отопления теплиц и парниковых устройств, опреснения морской воды для коммунальных нужд на стороне.

Итак, использование низкопотенциальных ВЭР связано с решением двух задач: создание надежной и эффективной системы теплопотребления и создание надежного утилизационного оборудования. Основные технологические средства для утилизации тепла низкопотенциальных ВЭР:

- многоступенчатые установки с аппаратом мгновенного вскипания для использования тепла загрязненных горячих стоков;
- контактные аппараты с различными насадками для использования тепла парогазовых потоков;
- абсорбционные холодильные установки (на водных растворах аммиака, хлорида кальция и др.);
- установки, работающие по водофреоновому циклу;

- тепловые насосы (пароструйные и другие для производства холода и теплоснабжения);
- рекуперационные агрегаты для использования тепла паровоздушной смеси в схеме рециркуляции;
- регенеративные вращающиеся теплообменники, пластинчатые рекуператоры и др.

4.3.5. Утилизация тепла отработанного пара

Существенный резерв ВЭР заключен в отработанном паре различных технологических машин и аппаратов (насосов, компрессоров, автоклавов, выпарных установок и др.). В большинстве случаев отработанный пар имеет низкое давление, загрязнения химическими и механическими примесями, а при переменных нагрузках производственных агрегатов образуются прерывистые потоки пара. На рис. 18 приведена принципиальная схема использования отработанного пара для теплоснабжения.

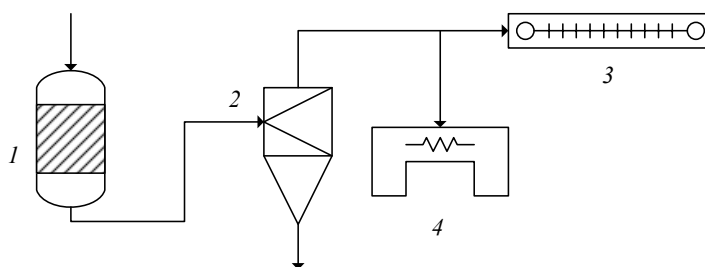


Рис. 18. Схема использования отработанного пара для теплоснабжения:

1 – производственный агрегат; 2 – пароочиститель; 3 – потребитель пара;

4 – тепловой аккумулятор

Наиболее простой способ утилизации тепла отработанного пара после его соответствующей очистки – использование его на отопительные, бытовые и другие подобные нужды. Отработанный пар может быть использован и для решения несложных технологических задач: нагрева сырой и химически очищенной воды в системе водоподготовки, обогрева технологических аппаратов, пропарки бетона и т. д. Степень использования тепла отработанного пара зависит только от температуры отводимого конденсата, обычно она составляет 85 %, а в ряде случаев – 100 %.

Аккумуляторы тепла подразделяются на водяные, паровые и паровоздушные. Водяные аккумуляторы накапливают теплую или горячую воду при постоянном давлении. Они бывают двух типов: циркуляционными и вытесняющими. В циркуляционном аппарате изменение степе-

ни зарядки происходит за счет изменения температуры находящейся в нем воды, а в вытесняющем аппарате – за счет изменения в нем количества горячей воды, вытесняемой холодной водой, или наоборот. Паровые аккумуляторы работают без воды и накапливают тепловую энергию только в результате изменения объема пара при постоянном давлении или изменения давления пара при постоянном объеме (купольные аккумуляторы). Они не нашли широкого распространения вследствие их высокой стоимости и громоздкости.

Итак, в связи с истощением энергоресурсов на первый план выступает в масштабе государства полное использование вторичных топливно-энергетических ресурсов (ВЭР). Для реализации этого направления в промышленности разрабатываются новые технологии и создается оборудование, позволяющее более полно использовать ВЭР. С некоторыми из них мы познакомились в данной главе.

Заключение

Комплексное использование сырья, более глубокая его переработка, увеличение ассортимента и объема выхода готовой продукции из единицы исходного сырья, всемерное сокращение потерь материально-сырьевых ресурсов, снижение объемов образования отходов и вовлечение их в производство является важнейшей государственной и, разумеется, экологической задачей. Ее решение способствует не только повышению эффективности производства, но и сохранению запасов природного сырья, снижению негативной антрополической нагрузки на окружающую среду.

Некоторые предприятия уже сейчас достигают относительно высокого уровня использования отходов. Например, в азотной промышленности газообразные отходы (оксид и диоксид углерода) применяются для получения карбида (мочевины), используемого затем в производстве карбамид-формальдегидных смол, и жидкой технической кислоты.

Одним из направлений использования горючих газов, в состав которых входит оксид углерода, является создание энерготехнологических процессов, позволяющих утилизировать теплоту сгорания последнего.

Отходы шинной промышленности используются для производства волнистой кровли, плит для покрытия полов сельскохозяйственных помещений, подрельсовой прокладки и др.

Комплексное использование сырья в химическом производстве является главным условием организации мало- и безотходных технологий.

Глава 5. ПРИНЦИП ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1. Требования экологической безопасности

К важнейшему принципу, который лежит в основе БОП, необходимо отнести требование экологической безопасности. Обеспечение экологической безопасности означает необходимость:

а) охраны редких и исчезающих видов растений и животных с целью обеспечения биологического разнообразия. Именно сокращение максимального биологического разнообразия является основным гарантом поддержания стабильных условий существования жизни на Земле;

б) рационального расходования природных ресурсов, в том числе комплексного использования добываемых минеральных ресурсов.

К сожалению, несовершенство современной технологии не позволяет полностью перерабатывать минеральное сырье. Большая часть его возвращается в природу в виде отходов. По некоторым данным, готовая продукция составляет $1\div 2\%$ от используемого сырья, а все остальное идет в отходы, что свидетельствует о нерациональном подходе к природным ресурсам. Ежегодно в биосферу поступает более 30 млрд т бытовых и промышленных отходов, загрязняющих атмосферу, гидросферу и литосферу. В атмосферу планеты ежегодно выбрасывается более 300 млн т оксида углерода, более 50 млн т углеводородов, около 200 млн т диоксида углерода, 53 млн т оксидов азота, $200\div 250$ млн т различных аэрозолей, 1250 млн т золы. В России выход золошлаковых отходов теплоэнергетики в 1990 г. составил $140\div 150$ млн т;

в) решения энергетической проблемы, в первую очередь на базе повышения эффективности использования энергии;

г) решения проблемы сбора, хранения, ликвидации и утилизации бытовых и производственных отходов;

д) создания энерго- и ресурсосберегающих технологий и технических средств;

е) организации охраняемых территорий – заповедников, национальных парков и т. д., которые могут являться эталоном нетронутой природы;

ж) обеспечения радиационной безопасности;

з) рекультивации земель;

и) создания и внедрения экологически чистых и щадящих природу технологий.

Итак, принцип экологической безопасности в первую очередь связан с сохранением и воспроизводством таких природных ресурсов, как атмосферный воздух, пресная вода, почва, растительный и животный

мир. Важнейшее следствие соблюдения указанного требования – сохранение здоровья населения.

Следует подчеркнуть, что реализация этого принципа осуществима лишь в сочетании с эффективным контролем и управлением рационального природопользования. В частности, в эти задачи входят установление предельно допустимых экологических нагрузок на окружающую среду и введение соответствующего ограничения (нормирования) с учетом совокупности самых разных факторов и возможных последствий их воздействия. Именно экологическое нормирование должно лечь в основу критериев, ограничивающих воздействие промышленных предприятий на окружающую среду. В качестве примеров можно привести существующие ПДК вредных веществ для водоемов рыбохозяйственного использования и лесных экосистем, в целом более жестких, чем соответствующие санитарно-гигиенические нормативы для водоемов и атмосферного воздуха.

5.2. Общие принципы экологической оценки и их связь с принципом устойчивого развития

Принципы экологической оценки

Экологическая оценка – это процесс систематического анализа и оценки экологических последствий намечаемой деятельности, консультации с заинтересованными сторонами, а также учет результатов этого анализа и консультации в планировании, проектировании, утверждении проектов.

Эффективные системы экологической оценки отвечают трем основным принципам:

- превентивности;
- комплексности;
- демократичности.

Принцип *превентивности* означает, что экологическая оценка проводится до принятия основных решений по реализации намечаемой деятельности, а также что ее результаты используются при выработке и принятии решений. Одним из важных инструментов реализации принципа превентивности является анализ альтернатив. Рассмотрение и сравнение нескольких альтернатив достижения целей намечаемой деятельности и вариантов ее осуществления обеспечивает свободу принятия решений в зависимости от результатов экологической оценки.

Принцип *комплексности* подразумевает совместное рассмотрение и учет воздействия намечаемой деятельности и связанных с ними изменений в биосфере, а также в социальной среде.

Этот принцип основывается на представлении о том, что разделение окружающей среды на «компоненты» (воздух, вода, почва) является упрощением реальной ситуации. На самом деле мы имеем дело с единой природной системой, неразрывно связанной с обществом. Задача экологической оценки состоит не только в том, чтобы проследить, насколько соблюдаются «стандарты и нормативы» для отдельных компонентов природной среды, но и в том, чтобы понять, как природно-социальная система в целом отреагирует на воздействие намечаемой деятельности.

Принцип *демократичности* отражает тот факт, что экологическая оценка не сводится к научно-техническому исследованию, а является инструментом принятия взаимоприемлемых решений.

Предполагаемое воздействие намечаемой деятельности на окружающую среду затрагивает интересы потенциально неограниченного круга лиц и организаций. Большинство из них не обладает какими-либо формальными полномочиями в отношении этой деятельности. Инструментом защиты интересов этих сторон (общественных интересов) могут служить разного рода системы разрешений и лицензирования, нормы проектирования. Однако принцип демократичности подразумевает признание за этими сторонами права на непосредственное участие в процессе принятия решений. И их мнение должно учитываться наряду с заключениями экспертов при формировании выводов и использовании результатов процесса экологической оценки.

Демократические процедуры экологической оценки обычно противопоставляются «технократическим», в которых решения принимаются закрытым образом. В таких системах предполагается, что проблема воздействия намечаемой деятельности на окружающую среду носит преимущественно научно-технический характер, и при ее рассмотрении значимы только мнения экспертов-профессионалов, а также компетентных лиц, принимающих решения.

Отсутствие демократичности, закрытость, непрозрачность процесса принятия решений часто приводит к тому, что на практике решения в таких системах принимаются на основе неформальных переговоров и соглашений с участием отдельных, наиболее влиятельных, заинтересованных сторон. В результате нередко нарушаются и принципы объективности.

Экологическая оценка может служить одним из основных инструментов устойчивого развития. Цель устойчивого развития сформулирована в третьем принципе – «Декларации по окружающей среде и развитию» – следующим образом: «...на равноправной основе удовлетворить потребность как нынешнего, так и будущих поколений в развитии и благоприятной среде обитания...».

Для этого совокупный природный и экономический капитал, оставаемый будущим поколениям, должен быть сохранен или приумножен в результате намечаемой деятельности. Именно на это нацелен принцип комплексности экологической оценки.

Если же капитал сохраняется или даже накапливается, но распределяется крайне неравномерно, то более обеспеченная часть общества становится еще богаче, а менее обеспеченная – еще беднее. Другими словами, если развитие идет без учета принципа справедливости, то вряд ли возможно говорить о развитии. Устойчивое развитие подразумевает как справедливость по отношению к будущим поколениям, так и справедливость по отношению к представителям нынешнего поколения.

Предметом экологической оценки являются проекты конкретных хозяйственных объектов. На рис. 19 приведена общая схема процесса экологической оценки проектов.

Окончательные результаты экологической оценки проектов могут использоваться проектировщиками БОП при выборе проектных решений, созданных с наименьшим воздействием на окружающую среду и при планировании мер по снижению воздействий, при выборе альтернатив осуществления намечаемой деятельности (или принятия решений об отказе от таковой) и т. п.

Заключение

Завершая краткий раздел, следует отметить, что «биосфера может прожить» без человека. Человек существовать вне биосферы не может (Н.И. Моисеев). Вот почему человечество, в первую очередь инженеры-технологи и ученые, должно быть способным предвидеть результаты своих действий, уметь оценивать состояние окружающей среды и заранее знать, где находится та запретная черта, которая отделяет дальнейшее развитие цивилизации от ее угасания.

В этой связи необходима экологическая оценка намечаемой деятельности людей. Экологическая оценка основана на простом принципе: легче выявить и предотвратить негативные последствия деятельности для окружающей среды на стадии разработки проекта, чем обнаружить и исправить их на стадии осуществления. Экологическая оценка сосредоточена на всестороннем анализе возможного воздействия планируемой деятельности на окружающую среду и использовании результатов этого анализа для предотвращения или смягчения экологического ущерба.

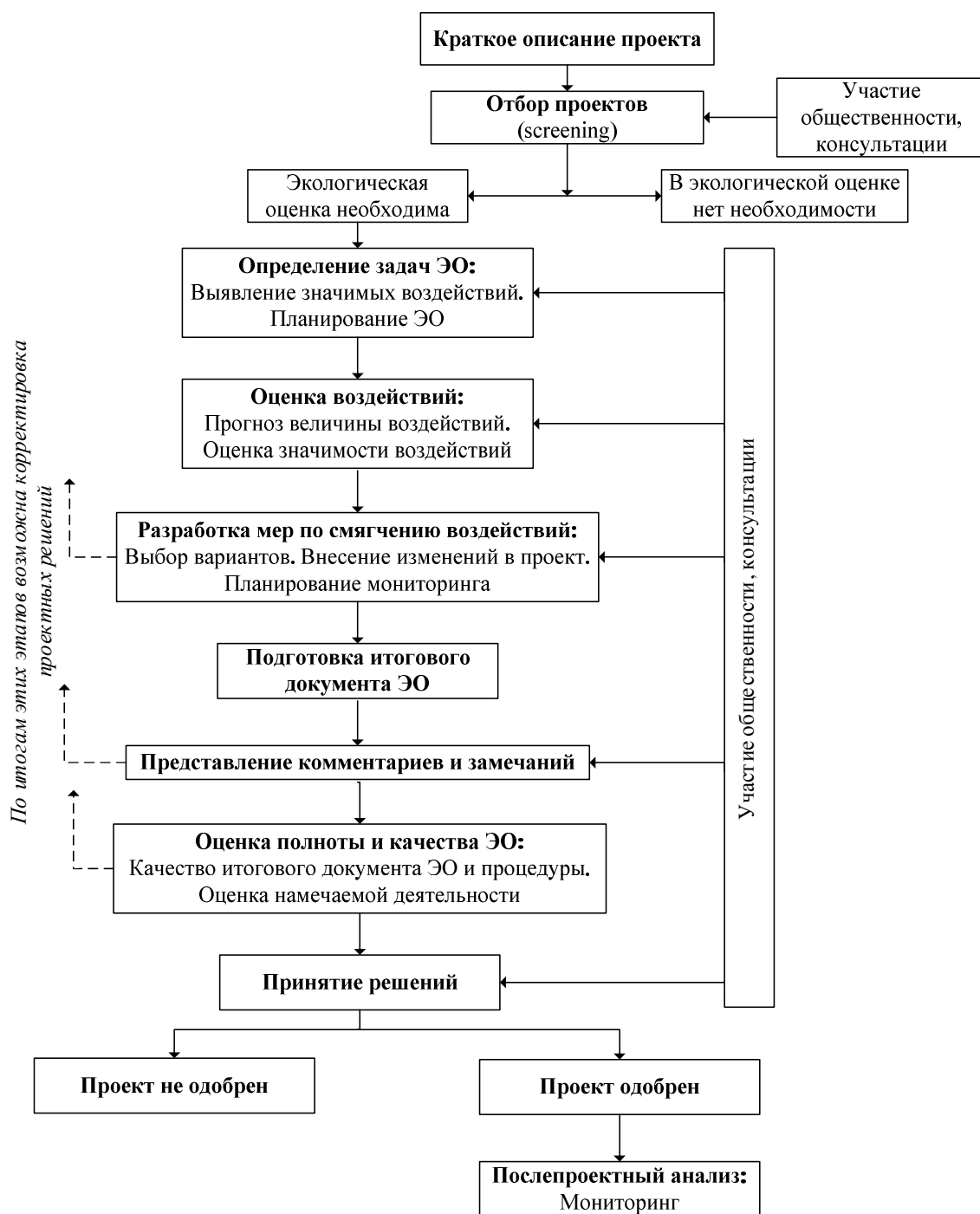


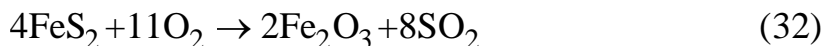
Рис. 19. Общая схема процесса экологической оценки проектов

Глава 6. ПРИНЦИП РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗОТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

6.1. Общие положения

Современный этап развития технологии в целом характеризуется большой динамичностью, и поэтому общим требованием к подобным технологиям является принцип их рациональной организации. При этом подразумевается, что увеличение объема производства и расширение номенклатуры выпускаемой продукции не приводят к невосполнимым потерям природных ресурсов в регионе. Наиболее прогрессивной формой организации промышленного производства, с учетом требований охраны окружающей среды, является комбинирование нескольких производств на основе комплексного использования одного и того же сырья.

Существует несколько форм комбинирования при комплексном использовании сырья. Например, для химической промышленности наиболее характерна форма использования отходов основного производства в качестве сырья вновь организуемых подчиненных производств. Типичный пример – комбинирование предприятия с использованием отходов основного производства и объединением заводов цветной металлургии с химическими, в первую очередь с сернокислотным. Производство серной кислоты базируется в этом случае на отходах металлургического производства – флотационного колчедана (FeS_2) и отходящих печных газов, содержащих диоксид серы:



Комбинирование способствует и техническому прогрессу – внедрению на предприятиях новой техники и технологии, более прогрессивной в отношении охраны окружающей среды.

Весьма важной организационной формой является разработка энерготехнологических систем, направленных на полное использование сырьевых и энергетических ресурсов. Затраты энергии можно уменьшить путем ее регенерации между стадиями процесса и использованием потенциала потоков в самом процессе. В частности, таким образом организованы крупнотоннажные производства аммиака, азотной кислоты и мочевины. Организация энерготехнологического получения аммиака позволила снизить удельные расходы электроэнергии в 8 раз.

Вследствие относительной новизны создания БОП еще отсутствуют не только организационные формы, но и даже достаточно полная

информация о количестве, качестве и технологических свойствах как накопленных, так и ежегодно образующихся отходов.

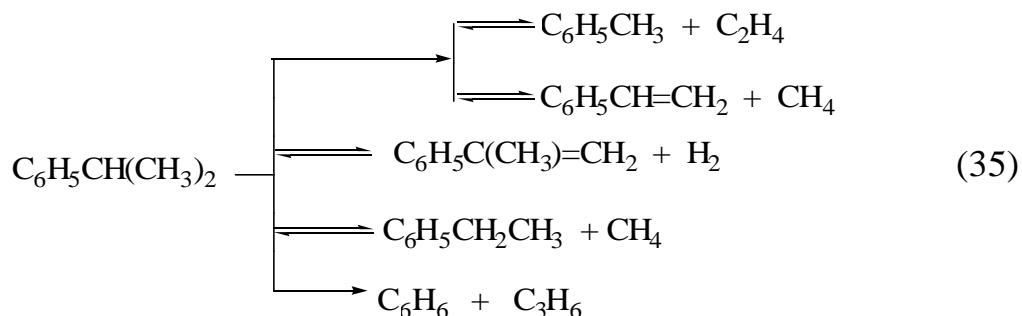
Организация БОП требует больших капитальных вложений и текущих затрат, что, несмотря на возможность получения большего количества продукции, прибыли, лучшего использования сырья, вызывает определенные трудности.

6.2. Эффективность организации химико-технологического процесса

Химическое производство характеризуется эффективностью организации процесса. Для такой характеристики необходимо уяснить, насколько режим процесса в технологическом производстве приближается к теоретически возможному и насколько рассматриваемое производство оправдано экономически. Эффективность ХТП определяется технологическими и экономическими показателями.

Предельная эффективность ХТП – это эффективность процесса, в котором при принятой совокупности условий его достигаются максимально возможные (предельные) значения конверсии сырья и селективности, основанные на данной конкретной химической схеме превращения исходного сырья. Степень приближения к этим предельным показателям является характеристикой совершенства, разрабатываемой ХТП.

Рассмотрим химическую схему высокотемпературного превращения кумола в 2-метилстирол:



Образующиеся из кумола побочные продукты (бензол, толуол, стирол, метан, этилен, пропилен) снижают селективность процесса. При высоких температурах (530÷580 °С) на железооксидных катализаторах в условиях разбавления водой протекает преимущественно реакция дегидрирования до α-метилстирола. Рассчитанные для этих условий теоретически возможные степень превращения и селективность соответственно равны $x_T = 0,99$, $s_T = 0,98$. Конверсия кумола в действующем производстве достигает $x_A = 0,5$, а селективность по α-метилстиролу $s_A = 0,9$.

Коэффициент эффективности реактора дегидрирования равен

$$\eta = \frac{x_T \cdot s_T}{x_A \cdot s_A} = \frac{0,5 \cdot 0,9}{0,99 \cdot 0,98} = 0,46 < 1. \quad (36)$$

Таким образом, дальнейшее совершенствование реально действующего процесса синтеза α -метилстирола возможно при использовании высокоактивных и селективных катализаторов, которые обеспечат повышение конверсии при сохранении селективности процесса на достаточно высоком уровне.

Экономическая эффективность ХТП – это приведенные затраты, себестоимость продукта, прибыль, рентабельность (отношение прибыли к себестоимости). Эти показатели рассчитываются инженерами-экономистами и используются в хозяйственной деятельности предприятия.

При разработке ХТП используют приведенные затраты:

$$\Pi_3 = Z_{уп} + Z_{ук}, \quad (37)$$

где $Z_{уп}$ – условно-переменные затраты, т. е. стоимость сырья, вспомогательных материалов и энергии;

$Z_{ук}$ – условно-постоянные затраты, т. е. часть стоимости капитальных затрат на оборудование.

6.3. Факторы, определяющие организацию периодических или непрерывных процессов

При проектировании БОП необходимо определить, как он будет проводиться – периодически или непрерывно. Например, проведение процесса непрерывным способом исключает перерывы работы реактора при выполнении основной операции и затраты времени на вспомогательные операции (загрузку, разгрузку, чистку аппарата и т. д.), характерные для периодического процесса.

Непрерывный метод работы позволяет получить большее количество продукта с единицы объема реактора. Другие преимущества непрерывного метода производства – исключение потерь теплоты на периодическое нагревание реакторов и большая однородность продукта. Необходимо также отметить более приемлемый контроль непрерывных процессов и возможность их автоматизации.

Технико-экономическое сравнение периодического и непрерывного реакторов синтеза поликарбоната общей формулой



показало предпочтительность непрерывного процесса. Так, сьем целевого продукта с 1 м³ реакционного объема возрастает в 20–30 раз, металлоемкость снижается в 5–7 раз, установленная мощность электродвигателей – в 3–5 раза, а мощность холодильной станции – примерно в 5 раз.

Но всегда ли непрерывный процесс так уж безусловно выгоден? Каковы те основные критерии, которые определяют целесообразность проектирования непрерывного БОП?

Как известно, любой ХТП представляет собой сочетание операций, связанных с химическим превращением вещества, и операций, имеющих чисто физический или физико-химический характер, связанный с необходимостью выделения целевого продукта. Физические стадии обработки (например: операции промывки, фильтрации, кристаллизации, экстракции, сорбции, сушки) сравнительно легко могут быть спроектированы непрерывными. А вот сама химическая реакция и реактор, в котором она осуществляется, требует более детального рассмотрения.

Первостепенное значение в этом случае имеют кинетические закономерности, которые при всей их сложности в основном сводятся к определению времени пребывания исходных веществ в реакторе. Так, если это время сравнительно мало и соизмеримо с продолжительностью операций загрузки и выгрузки периодического реактора, то переход на непрерывный процесс позволит сократить объем реакторов и уменьшить расход энергии как на перемешивание, так и на подогрев и охлаждение. В периодическом реакторе большого объема неизбежны неравномерные пиковые нагрузки, которые требуют больших пиковых затрат энергии и расхода теплоносителей, в то время как в непрерывном процессе тот же суммарный тепловой эффект проявляется равномерно, и поэтому уровень энергопотребления значительно снижается. Именно такой случай представляет собой упомянутый ранее синтез поликарбоната.

Однако в случае медленных химических реакций время пребывания исходных веществ в реакторе значительно превышает продолжительность операции загрузки и выгрузки. Тогда объемы реакторов в периодическом процессе примерно равны объемам реакторов непрерывного действия, и заметных преимуществ процесс не дает.

Если еще при этом гетерогенная система склонна к расслоению или существует необходимость непрерывного дозирования твердых веществ, то преимущества непрерывного процесса будут весьма сомнительны.

Имеется еще один фактор, который непременно должен быть учтен при выборе непрерывного процесса. Этот фактор – производительность. При этом далеко немаловажным является то обстоятельство, что по

трубопроводам непрерывно действующей установки будут перемещаться потоки, составляющие $5 \div 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ (или более) или всего лишь десятки–сотни литров в час. В первом случае процесс будет устойчивым, возможные колебания производительности не окажут существенного влияния, тепло- и массообмен в аппаратах будут стабильными, теплотери относительно невелики.

Таблица 3

Сопоставление основных факторов,
определяющих периодичность и непрерывность процесса

Фактор	Тип процесса	
	периодический	непрерывный
1. Период процесса – время между проведением отдельных стадий процесса (например, между двумя смежными выгрузками продукта) $\Delta\tau$	$\Delta\tau > 0$	$\Delta\tau \rightarrow 0$
2. Степень непрерывности процесса $\frac{\tau}{\Delta\tau}$, где τ – время, необходимое для проведения всех стадий процесса	$\frac{\tau}{\Delta\tau} < 1$	$\frac{\tau}{\Delta\tau} \rightarrow \infty$
3. Последовательность осуществления отдельных стадий процесса	последовательно	параллельно
4. Место проведения отдельных стадий процесса	в одном реакторе	в разных реакторах или в разных частях одного реактора

Во втором случае, при малых потоках, процесс будет неустойчивым. Незначительные колебания будут резко сказываться на тепло- и массообмене, контроль и автоматизация будут нестабильны, относительные температуры велики.

Таким образом, выбор непрерывного или периодического процесса в химической технологии является непростым делом, а непродуманные его решения приводят подчас к пагубным результатам.

Заключение

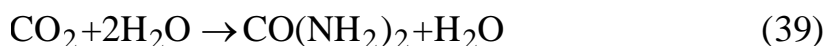
При разработке БОП и МОП возникает комплекс не только научных и технических проблем, но и организационные формы. Организация БОП требует больших капитальных вложений и текущих затрат, что вызывает определенные трудности. Наибольшего внимания заслуживают организационные вопросы при создании БОП в ТПК.

Организационные вопросы возникают как на стадии предпроектной разработки БОП, так и на стадиях их проектирования, о чем речь пойдет в других главах.

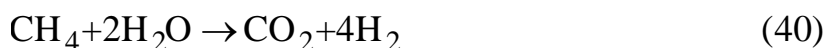
Глава 7. ПРИНЦИП КОМБИНИРОВАНИЯ И МЕЖОТРАСЛЕВОГО КООПЕРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ

7.1. Комбинирование в химико-технологических производствах

Комбинированное производство – это комплекс взаимосвязанных технологических процессов для производства одного или нескольких продуктов. В этом отношении весьма показательным примером является совместное производство карбамида $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и аммиака NH_3 . Так, карбамид получают по схеме



Исходные компоненты образуются в производстве аммиака:



При этом 1 моль CH_4 дает 1 моль CO_2 и $2/3$ моль NH_3 . На образование 1 моль карбамида расходуется 1 моль CO_2 и 2 моль NH_3 . Таким образом, из 1 моль CH_4 можно получить 1 моль карбамида и 2 моля аммиака. Оба технологических процесса объединены не только линиями передачи CO_2 и NH_3 , но и другими вспомогательными связями – материальными и энергетическими.

Рассмотрим еще один пример комбинирования производства, в котором получают один продукт, например винилхлорид $\text{CH}_2=\text{CHCl}$.

В первом варианте (рис. 20, а) этилен разделяют на два потока, и один из них идет на хлорирование. Выделившийся при этом HCl направляют на окислительное хлорирование этилена до винилхлорида.

Другой вариант (рис. 20, б) основан на изменении условий пиролиза, при которых можно получить в равных количествах этилен и ацетилен. Этилен хлорируют до винилхлорида, а выделившийся HCl направляют на гидрохлорирование ацетилена с получением также винилхлорида (см. рис. 20, б).

В обоих вариантах почти вдвое сохраняется расход одного из компонентов – хлора. При таком комбинировании получают в двух связанных друг с другом различных технологических процессах один и тот же продукт – винилхлорид – ценнейший мономер для производства поливинилхлорида.

Следует заметить, что комбинированное химическое производство не решает до конца проблемы использования всего вещественного (или компонентного, элементного) потенциала сырья. В этом смысле более высоким уровнем комбинирования производств было бы замкнутое

производство, в которое поступает сырье и выходят только полезные, потребляемые продукты и полупродукты для других производств.

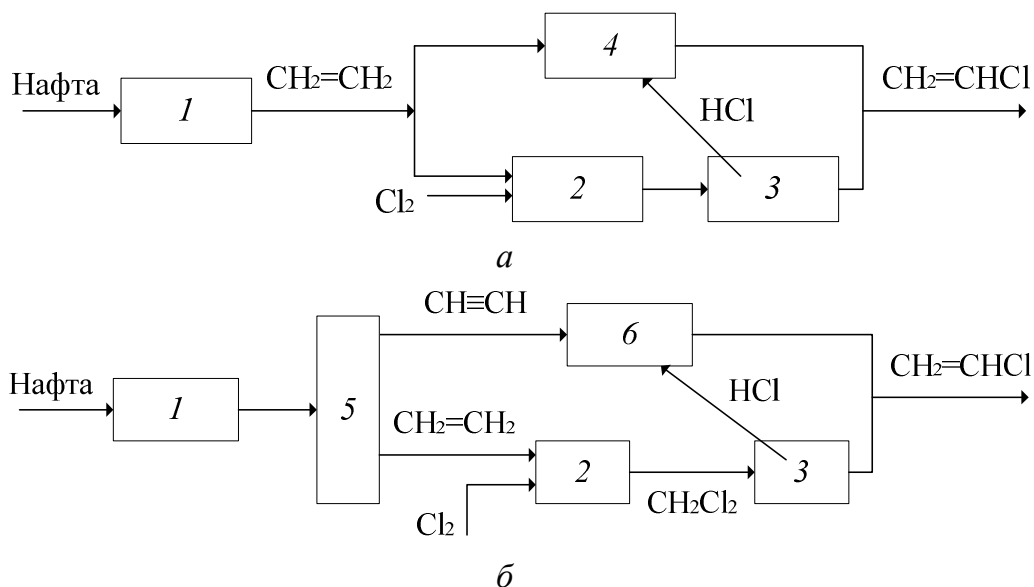


Рис. 20. Схема получения винилхлорида
в комбинированных производствах двух типов (а и б):
1 – пиролиз; 2 – хлорирование этилена; 3 – пиролиз дихлорэтана;
4 – окислительное гидрохлорирование этилена; 5 – разделение;
6 – гидрохлорирование ацетилена

Однако замкнутое производство нереально из-за многокомпонентности сырья. Например, в полиметаллических рудах содержится более 50 ценных элементов, в том числе олово, медь, кобальт, вольфрам, молибден, серебро, золото, металлы платиновой группы. Зачастую сопутствующие элементы обладают большей ценностью, чем основные, ради которых организовано производство.

7.2. Формирование безотходной технологии в территориально-промышленных комплексах

Особенно важна кооперация производств с большим количеством отходов (получение фосфорных удобрений, стали, переработка угля и т. д.) с производством строительных материалов. Наиболее благоприятные возможности для этого складываются в условиях ТПК. В рамках таких комплексов возникают наиболее благоприятные условия для организации производства таким образом, чтобы отходы этих предприятий использовались другими.

Экономическое и экологическое развитие ТПК проходит по трем основным направлениям:

- 1) создание эффективной безотходной и малоотходной технологии производства основных видов продукции;
- 2) рациональное использование ресурсов (комплексное использование сырья и вторичных материалов);
- 3) охрана окружающей природной среды.

При размещении производительных сил необходимо:

- максимально сохранять природные условия на определенной территории;
- внедрять безотходные процессы, потребляющие минимальные количества воды;
- экономно использовать имеющиеся земли;
- перераспределять природные ресурсы и промышленное сырье с целью создания благоприятной природной среды;
- ограничивать или даже сокращать отдельные производства в некоторых районах, курортных, туристических зонах, заповедниках и т. п.

Объединение производств различного профиля в рамках ТПК (промышленность, транспорт, отрасли агропромышленного комплекса, строительство и объекты инфраструктуры) на относительно небольшой территории дает возможность комплексно перерабатывать природные ресурсы по безотходной и малоотходной технологии, рационально распределять энергетические, водные, трудовые ресурсы и целенаправленно обеспечивать охрану окружающей среды. ТПК дает дополнительные возможности (по сравнению с одним предприятием) для сокращения отходов, которые идут на производство целевых продуктов на смежных предприятиях.

В каждом ТПК можно выделить семь ресурсных циклов (энергетический, рудных и нерудных полезных ископаемых, лесной, почвенный, климатический, сельскохозяйственный, дикая фауна и флора) и серию надциклов, которые тесно связаны друг с другом. При создании комплексов постепенно возникают сложные взаимодействия этих циклов и надциклов, на которые влияют прежде всего количество, химический состав и свойства веществ, поступающих в окружающую среду.

В нашей стране развиваются Оренбургский, Кольский, Красноярский, Приморский и многие другие производственные комплексы. В качестве примера на рис. 21 показана схема связи части химических производств приморского ТПК.

Исходным сырьем в ТПК является сильно насыщенная солями в результате естественного упаривания морская вода – рапа. В результате

комплексной переработки из рапы извлекают ряд ценных соединений: оксид и гидроксид магния, бром; кроме того, получают соду и другие продукты.

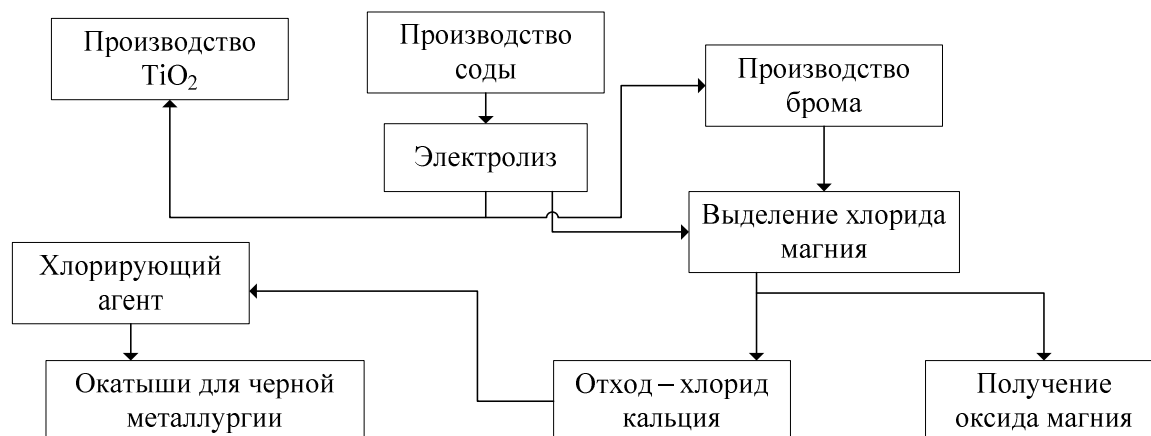


Рис. 21. Схема технологических связей химических производств ТПК

Технологическая цепь начинается производством соды. Ее электролизом получают гидроксид кальция и хлор. Хлор затем идет на производство брома, а гидроксид кальция направляется для выделения гидроксида магния из сточной воды, поступающей из хлорного производства. В свою очередь, из гидроксида магния на другом предприятии получают оксид магния. В результате такой взаимосвязи химических производств количество отходов сведено к минимуму.

7.3. Стадии процессов безотходного ТПК

Ниже рассмотрим процессы формирования безотходного ТПК по схеме, состоящей из четырех стадий.

На *первой* стадии оценивают ресурсный потенциал окружающей среды как среды обитания людей и как производственный базис размещения производительных сил. Кроме того, оценивают природные факторы, действующие на всей территории, отведенной для организации ТПК, или на отдельных ее частях (запасы и количество водных, земельных, лесных ресурсов, состояние растительного покрова и природных ландшафтов (животного мира, почв, климатические условия и др.).

На второй стадии разрабатывают варианты промышленного развития на основе имеющихся данных о необходимости минеральных ресурсов, определяют также степень воздействия производственных отходов при используемой технологии на состояние окружающей среды. В процессе разработки сначала определяют блок профилирующего про-

изводства, потребляющий основные ресурсы, а затем энергетический блок, который должен обеспечивать весь развивающийся комплекс, включая потребности населения. После составления и сопоставления различных вариантов осуществляют первоначальную оптимизацию структуры ТПК.

На *третьей* стадии в структуру ТПК включают обслуживающие отрасли промышленного производства и по имеющимся данным строят график материальных потоков отходов с таким расчетом, чтобы обеспечить максимальную возможную безотходность в пределах реально осуществимого технологического цикла.

Как показывает практика, для нейтрализации отходов их целесообразнее всего перерабатывать в товарную продукцию длительного пользования, например в строительные или дорожные материалы. В этом случае в любом ТПК должно быть создано производство строительных материалов.

На этой же стадии необходимо провести оптимизацию транспортных потоков, исходя из ориентировочно принятого оптимального расстояния перевозки отходов на железнодорожном, морском и речном транспорте – 400÷6000 км, а на автомобильном транспорте – до 70÷100 км.

На четвертой стадии планируют перспективное развитие ТПК (включая создание новых отраслей), связанное с ростом населения и увеличением его разносторонних потребностей, а также замену существующих технологических процессов принципиально новыми, обеспечивающими создание безотходного производства.

Создание безотходных технологических схем ТПК зависит от правильного взаимодействия следующих пяти производственных блоков: добыча сырья; предварительная подготовка сырья; основной технологический процесс; переработка, выпуск готовой продукции производства; переработка и утилизация вторичных материальных ресурсов.

Заключение

Комплексное развитие ТПК протекает путем постоянной организации связанных друг с другом производств. При таком развитии продукция одного производства становится сырьем или полуфабрикатом для другого предприятия. При этом происходит совершенствование отдельных производств с целью сокращения потребления энергии, воды, повышения производительности труда и увеличения степени комплексности переработки первичного сырья.

Взаимодействие развивающегося промышленного производства и окружающей среды в пределах ТПК связано с концентрированием определенных видов промышленности в конкретных природных районах. При этом следует учитывать последующее расширение зон влияния ТПК на окружающую среду. В пределах ТПК ключевые природные ресурсы используются для получения основных видов товарной продукции.

Структура ТПК должна представлять собой замкнутый цикл, в котором отходы одних предприятий являются сырьевыми ресурсами других предприятий.

Централизованное управление промышленностью, игнорирующее территориально-производственные принципы, привело в ряде регионов нашей страны к резкому ухудшению экологической обстановки. Некомплексная концентрация однотипных химических производств оказывает негативное влияние на окружающую среду. Например, нефтехимический комплекс вблизи г. Ярославль выбрасывает половину всех вредных выбросов региона.

Раздел II

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СНИЖЕНИЯ ОТХОДОВ

При создании химико-технологического процесса следует помнить, что конечной целью является оптимальное решение как с технической, так и с экономической точек зрения. Чтобы такой процесс был наиболее экономичен, он должен проходить возможно быстрее на всех этапах при максимальном использовании сырья, минимальных затратах энергии и как можно более высоком выходе продукта с единицы объема оборудования.

Эти основные задачи приводят к установлению технологических принципов. Так, решение первой из них основано на проведении всего процесса при возможно более высокой движущей силе и наилучшем использовании разностей потенциалов на каждом этапе процесса. Таким образом, основополагающим будет принцип наилучшего использования разности потенциалов. Другие, менее существенные, принципы – наилучшее использование сырья (исходных веществ), наилучшее использование энергии, наилучшее использование оборудования.

В данном разделе будут рассмотрены перечисленные технологические принципы в указанной последовательности.

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

1.1. Принцип наилучшего использования движущей силы химической реакции

Для любой химической реакции величиной, определенным образом связанной с движущей силой, является изменение энергии Гиббса.

Возможность повышения движущей силы химического превращения рассмотрим на примере реакции, протекающей в кинетической области между азотом и водородом в присутствии катализатора:



Для этой реакции связь между разностью энергии Гиббса (ΔG) и константой равновесия (K_p) выражается уравнением вида

$$\Delta G = -R \cdot T \cdot \ln K_p. \quad (43)$$

В свою очередь,

$$K_p = \left(\frac{p_{\text{NH}_3}^2}{p_{\text{N}_2} \cdot p_{\text{H}_2}^3} \right), \quad (44)$$

где p – давление компонентов системы.

Когда система еще не достигла состояния равновесия, движущая сила в данный момент времени определяется уравнением

$$-\Delta G = R \cdot T \cdot \left[\underset{\text{(I)}}{\ln K_p} - \ln \frac{16 \cdot x^2 \cdot (2-x)^2}{27 \cdot (1-x)^4 \cdot p^2} \right], \quad (45)$$

где x – мольная доля азота, превращенного в аммиак;

p – общее давление в системе.

В знаменателе выражения (II) общее давление (p) возведено в квадрат. Это значит, что повышение давления в системе приводит к уменьшению значения (II), а, вследствие постоянства выражения (I), в уравнении (45) повышается разность (I-II), т. е. увеличивается отдаление системы от состояния равновесия.

Таким образом, с термодинамической точки зрения процесс выгоднее проводить при высоком давлении.

С кинетической точки зрения реакцию (42) также выгоднее проводить при высоком давлении, о чем свидетельствует кинетическое уравнение Бентона рассматриваемой реакции:

$$V_S \cdot x = K_1 \cdot S \cdot \frac{P}{a \cdot x} - K_2 \cdot S, \quad (46)$$

где V_S – объемная скорость отходящих газов;

x – мольная доля аммиака в отходящих газах;

S – полная поверхность катализатора;

P – общее давление в системе;

a – коэффициент, представляющий отношение скорости абсорбции и десорбции аммиака на катализаторе;

K_1 и K_2 – константы скорости образования и разложения аммиака соответственно.

Давление P входит в числитель правой части уравнения (46), и, следовательно, скорость реакции увеличивается.

Таким образом, при разработке нового процесса предварительно нужно провести термодинамические расчеты, позволяющие оценить возможность протекания побочных реакций. По известным начальным концентрациям реагентов и константе скорости химических равновесий можно рассчитать равновесные выходы основных и побочных продуктов.

На стадии кинетических расчетов снижение выхода побочных продуктов возможно за счет повышения селективности сложных реакций. Под селективностью понимают долю превратившегося исходного вещества в конечные продукты.

Основным способом повышения выхода целевых продуктов следует считать селективный катализ. В ряде случаев возможно повышение выхода целевых продуктов сложных реакций за счет соответствующего подбора концентрационных условий, давления и температуры.

Если протекает реакция по схеме



где S – нежелательная реакция (например: крекинг, полимеризация), то селективность (ϕ) по целевому продукту R

$$\phi = \frac{K_1 \cdot C_A - K_2 \cdot C_R}{K_1 \cdot C_A}. \quad (48)$$

Она возрастает при повышении концентрации исходного продукта A .

Следовательно, правильный выбор технологического режима сложных реакций способствует повышению селективности целевой реакции и уменьшает образование отходов на стадии химических превращений.

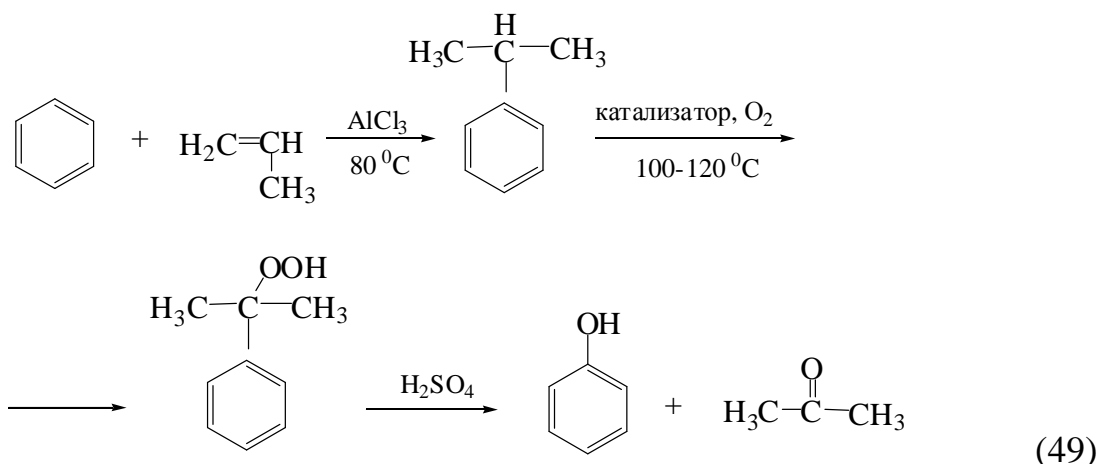
1.2. Принцип использования смены механизма химической реакции

Известно, что один и тот же химический продукт может быть произведен по разным механизмам, из разных видов сырья и с затратой различного количества реагентов и энергии. В качестве примера такого подхода к решению вопроса о создании безотходных технологий рассмотрим синтез фенола.

Синтетический фенол ранее в промышленности получали сульфированием бензола с последующей заменой в его молекуле сульфогруппы на гидроксигруппу. При таком способе из 1 т фенола получали более 1 т сульфита натрия, десятки килограммов оксифенола. Эти отходы трудно поддавались утилизации и ухудшали экологическую обстановку на соответствующих производствах.

Другой метод синтеза фенола гидролизом хлорбензола водным паром сопровождается образованием 100 кг полихлоридов бензола из 1 т продукта. В качестве побочных продуктов образуется дифениловый эфир, орто- и параксилолы.

В настоящее время фенол получают по схеме



При таком химическом превращении из 1 т фенола образуется шестьсот килограмм ацетона.

Выход фенола и ацетона близок к 90 %, и тем не менее процесс можно считать безотходным, т. к. другие соединения, получаемые при этом (*о*-метилстирол, кумилфенол, оксифенилпропан), также выделяют из реакционной смеси и используют в дальнейшем в других производствах.

1.3. Принцип использования реагента в избытке

Использование избытка реагента для химических реакций определяется различными причинами:

- смещением положения равновесия в соответствии с законом действия масс;
- ускорением реакции;
- выгодным воздействием на механизм процесса.

Ниже рассмотрим перечисленные причины, вызывающие использование избытка реагента.

Так, избыток реагента приводит к выгодному для проведения процесса смещению положения равновесия в соответствии с законом действия масс. Данная причина имеет термодинамический характер, т. к. увеличивается движущая сила процесса. Примером такого процесса является реакция окисления SO_2 до SO_3 при избытке кислорода:



Константа равновесия этой реакции равна

$$K_p = \left(\frac{p_{\text{SO}_3}^2}{p_{\text{SO}_2}^2 \cdot p_{\text{O}_2}} \right)_{\text{равн}}, \quad (51)$$

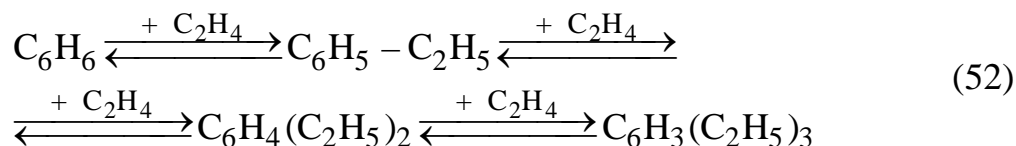
где p – парциальные давления компонентов системы.

С повышением парциального давления кислорода в газах (p_{O_2}), поступающих в реакционный объем, возрастает значение знаменателя в формуле для константы равновесия, а, следовательно, чтобы величина K_p осталась постоянной, необходимо одновременное увеличение числителя. Это означает, что состояние равновесия реакции смещается в направлении образования целевого продукта.

Кроме того, избыток реагента ускоряет реакцию, поскольку скорость ее пропорциональна концентрации исходных веществ (кинетический фактор).

Примером может служить сжигание метана в избытке воздуха, вследствие чего достигается более полное сгорание.

Использование избытка одного из реагентов выгодно воздействует на механизм процесса, приводя к образованию целевого продукта, когда возможны побочные параллельные или последовательные реакции. Сказанное выше подтверждает процесс алкилирования бензола этиленом в присутствии катализатора (AlCl_3):



Целевым продуктом является этилбензол. В реакционной системе очень быстро устанавливается состояние равновесия. Положение его зависит от количественного соотношения этилена и бензола. Избыток бензола, через который барботирует этилен, предотвращает образование побочных продуктов.

1.4. Противоток веществ

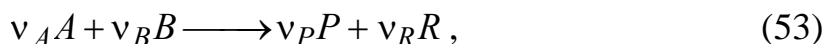
Противоток является рациональным способом максимального использования исходных веществ в гетерогенных системах, когда фазы не очень измельчены и значительно отличаются по плотности, что способствует их быстрому разделению.

Когда какой-либо компонент находится одновременно в двух контактирующих фазах, концентрация его стремится к выравниванию. Наибольшая разность концентраций достигается при противотоке.

В противотоке проводятся также химические реакции, когда реагенты содержатся в разных фазах. Примером могут служить процессы экстрагирования какого-либо компонента из твердой фазы или абсорбции газа жидкостью, осложненной одновременно химической реакцией.

Проведение реакций в противотоке выгодно с точек зрения термодинамической, кинетической, а также связанной с использованием реагентов в избытке.

Рассмотрим реакцию вида



проводимую в противотоке и прямотоке.

Скорость реакции описывается уравнением

$$R_A = K \cdot C_A \cdot C_B = K \cdot C_{A_0} \cdot (1 - x_A) \cdot C_{B_0} \cdot (1 - x_B), \quad (54)$$

где C_{A_0} , C_{B_0} – мольные концентрации компонентов A и B в потоке;

x_A и x_B – степени превращения исходных веществ A и B .

О выгодах проведения реакций в противотоке свидетельствуют нижеследующие данные:

Конечная конверсия, x_k , – 0,1 0,3 0,5 0,7 0,9 0,99.

Соотношение $\frac{\tau_p}{\tau_w}$ – 0,996 0,978 0,923 0,793 0,465 0,092,

где τ_p – время проведения реакции в противотоке;

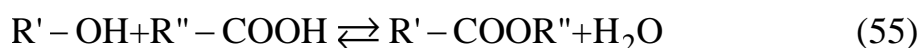
τ_w – время проведения реакции в прямотоке.

Таким образом, реакция в противотоке особенно выгодна при высоких степенях превращения, достигаемых в системе.

1.5. Принцип смещения равновесия при обратимых реакциях

Известно, что обратимую реакцию можно доводить почти до конца, если один из продуктов постоянно отводить из системы.

Примером может служить известная реакция этерификации



Следовательно, одновременно достигается избыток исходных веществ по отношению к количеству продукта в обратимой реакции:

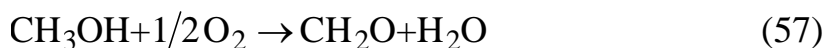
$$K_p = \frac{[R'COOR''] \cdot [H_2O]}{[R'OH] \cdot [R''COOH]}. \quad (56)$$

Поскольку постоянно отводится вода, то понижается значение числителя в выражении K_p , а вследствие того, что K_p – величина постоянная при постоянной температуре, в той степени должен уменьшаться и знаменатель, т. е. исходные вещества переходят в целевой продукт – эфир $R'COOR$ ". Таким образом, возрастает отдаленность системы от состояния равновесия, а значит, достигается увеличение движущей силы процесса.

1.6. Принцип «замораживания» системы в состоянии, наиболее выгодном для проведения процесса

Во время проведения некоторых реакций достигаются довольно высокие концентрации целевого продукта, но в дальнейшем может произойти разложение этого продукта. В подобных случаях систему «замораживают», т. е. так снижают температуру процесса, чтобы скорость разложения неустойчивого продукта была очень незначительной.

В качестве примера можно привести реакцию окисления метанола до формальдегида при температуре 600 °С в присутствии серебряного катализатора:

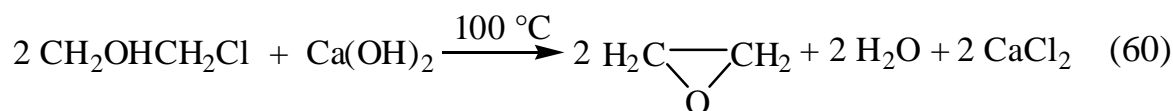
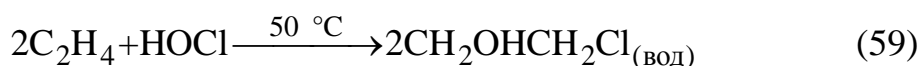


Для получения формальдегида реакцию нужно проводить до промежуточной стадии, ограничивая время контактирования реагентов с катализатором и снижая температуру послереакционной смеси. С этой целью смесь пропускают через систему холодильников, затем в нее вводится такое количество воды, чтобы получить раствор, содержащий 30 % CH_2O и 3 % CH_3OH . Выход достигает 82 % от теоретически возможного.

1.7. Регенерация реагентов

Часто в реакционную систему необходимо вводить вспомогательные исходные вещества. Например, когда новый ход процесса будет более выгодным, чем при непосредственном взаимодействии основных исходных веществ, или даже единственно возможным. В этом случае нужно так организовать производственный процесс, чтобы вспомогательное исходное вещество можно было регенерировать. После регенерации это вещество возвращается в цикл и его расход ограничивается только потерями. Такой метод широко используется в химической технологии.

Одним из примеров, подтверждающим вышесказанное, может служить производство оксида этилена через этиленхлоргидрин с использованием хлора и гидроксида кальция как вспомогательных веществ:



Этилен вступает в побочную реакцию с хлором, образуя дихлорэтан, может получаться дихлордиэтиловый эфир, количество которого возрастает с повышением температуры и концентрации реагентов.

Оксид этилена подвергают дистилляции, освобождая его от таких примесей, как вода, дихлорэтан, хлоргидрин, ацетальдегид. Из оставшейся смеси можно было бы регенерировать гидроксид кальция и хлор, но процесс этот трудоемкий и нерентабельный.

1.8. Принцип реакционно-массообменных процессов

В реакционно-массообменных процессах химические превращения протекают одновременно с разделением реакционной смеси в одном аппарате. Это позволяет упростить технологические схемы, интенсифицировать производство, в ряде случаев повысить конверсию исходных реагентов и селективность сложных реакций.

Поскольку при организации совмещенных процессов уменьшается число аппаратов, промежуточных емкостей, насосов, то все это приводит к снижению потерь продуктов за счет негерметичности оборудования и, следовательно, способствует охране окружающей среды.

Особенно наглядно преимущества совмещенных процессов предстают при проведении обратимых реакций. Если в обычных реакторах при проведении реакций вида $A \rightleftharpoons B$ максимальная конверсия реагента A не может превышать равновесную и последующее разделение реакционной смеси неизбежно приводит к образованию некоторых количеств отходов, то в реакционно-массообменном процессе при селективном выводе реагента B можно достичь 100%-й конверсии реагента A , и совмещенный процесс будет безотходным. Селективный вывод продукта B также приводит к повышению скорости обратимой реакции в совмещенном реакционно-массообменном процессе по сравнению с обычными реакторами.

Совмещенные процессы имеют преимущества и при проведении необратимых реакций. Если реакцию $A \rightleftharpoons B$ проводить в обычном реакторе, то при высокой конверсии реагента A скорость реакции резко снижается, что требует длительного времени на реакцию и соответственно приводит к резкому увеличению объема реактора. Но даже и в этом случае получить чистое вещество B практически невозможно, и последующая очистка вещества B приводит к образованию отходов.

Если в реакционно-массообменном процессе удастся организовать селективное отделение продукта B , то это вновь приведет к увеличению скорости и возможности организации безотходного производства.

Для возможности организации совмещенного реакционно-массообменного процесса необходимы условия. Во-первых, технологические режимы реакции и разделительного процесса должны быть более или менее общими, в основном это касается температуры и давления.

Во-вторых, реагенты и продукты реакции должны отличаться между собой по основным свойствам, характерным для принятого разделительного процесса: для ректификации – по относительной летучести, для экстракции – по растворимости и т. д.

В реакционно-ректификационных процессах реакция протекает с одновременной ректификацией реакционной смеси в одном аппарате.

В целенаправленных реакционно-ректификационных процессах ректификация используется как для интенсификации простых, так и для повышения селективности сложных реакций. Например, реакцию $A \rightleftharpoons B$ (B является более летучим компонентом, чем продукт A) целесообразно организовать в виде совмещенного процесса, что показано на рис. 22, *а*. Если продукт B менее летуч, чем A , то реакцию проводят по схеме (рис. 22, *б*).

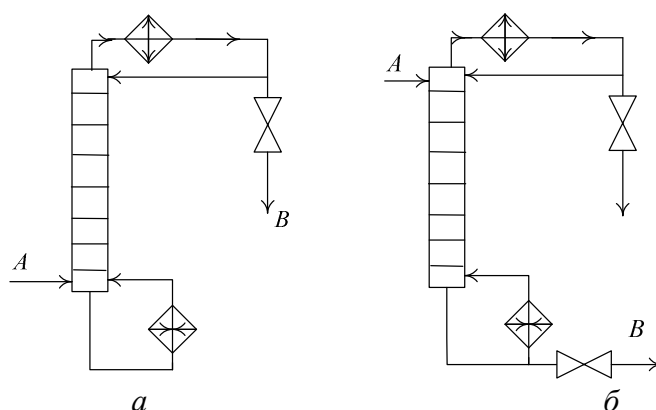


Рис. 22. Схемы реакционно-ректификационных процессов для реакции $A \rightleftharpoons B$:
а – легкокипящий продукт B ; *б* – тяжелокипящий продукт B

Обе схемы обеспечивают полную конверсию реагента A с выводом чистого продукта B .

1.9. Снижение потерь продуктов на стадии разделения реакционной смеси

Потери целевого продукта на стадии разделения возникают за счет утечек через неплотности, из-за остатков в реакторах периодического действия и при остановках непрерывных процессов, а также возможны потери, связанные с равновесным распределением продукта в целевой фракции и побочной – в массообменных процессах.

Это, например, остаточное содержание отгоняемого компонента в кубовом продукте при ректификации.

Рассмотрим, как снизить потери целевого продукта с побочной фракции разделительного процесса, часто являющиеся отходами.

Пусть на разделение поступает реакционная смесь с объемной скоростью и концентрацией целевого продукта C . Реакционная смесь разделяется на две фракции:

- отходы с объемной скоростью $V_{\text{отх}}$;
- целевую фракцию с объемной скоростью $V_0 - V_{\text{отх}}$ и концентрацией целевого продукта $C_{\text{ф}}$.

Определим величину потерь (Π) целевого продукта с отходами в процентах от количества в исходной смеси, подаваемой на разделение:

$$\Pi = \frac{V_{\text{отх}} \cdot C_{\text{отх}}}{V_0 \cdot C} \cdot 100 \% . \quad (61)$$

Уравнение материального баланса для целевого продукта имеет вид

$$V_0 \cdot C = V_{\text{отх}} \cdot C_{\text{отх}} + (V_0 - V_{\text{отх}}) \cdot C_{\text{ф}} . \quad (62)$$

Отношение $\frac{V_{\text{отх}}}{V_0} = \frac{C - C_{\text{ф}}}{C_{\text{отх}} - C_{\text{ф}}}$, найденное из уравнения материального баланса, подставим в формулу для определения потерь продукта:

$$\Pi = \frac{C_{\text{отх}} \cdot (C - C_{\text{ф}})}{C \cdot (C_{\text{отх}} - C_{\text{ф}})} \cdot 100 \% . \quad (63)$$

Содержание продукта в целевой фракции определяется техническими условиями или ГОСТом и может быть принято постоянным.

На рис. 23 представлены зависимости потерь целевого продукта на стадии разделения и зависимости от его содержания в отходах при раз-

личных концентрациях смеси, поступающей на разделение, и зависимость от его содержания в отходах при различии концентраций в смеси, поступающей на разделение C .

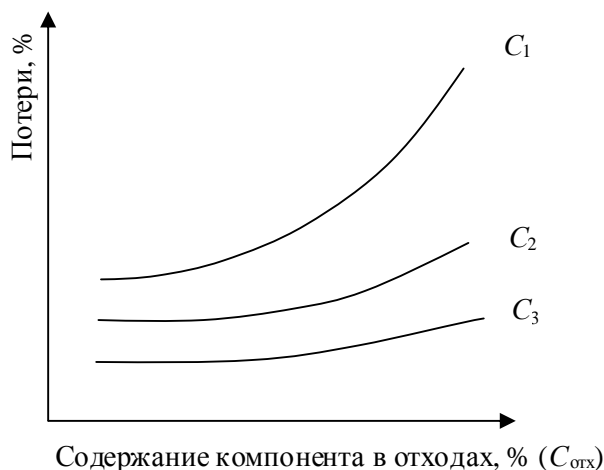


Рис. 23. Зависимость потерь продукта (Π) на стадии разделения от содержания его в отходах ($C_1 < C_2 < C_3$)

Из рис. 23 видно, что процент потерь продукта возрастает с увеличением концентрации целевого продукта в отходах. При этом процент потерь возрастает тем быстрее, чем ниже концентрация продукта в реакционной смеси, поступающей на разделение.

При постоянной концентрации целевого продукта в отходах процент потерь возрастает с уменьшением его концентрации в исходной смеси.

Отсюда вывод: для более полного выделения продукта на стадии разделения необходимо увеличивать его концентрацию в реакционной смеси, поступающей на разделение, и уменьшить его концентрацию в отходах.

Наиболее распространенными способами предотвращения протекания нежелательных химических превращений на стадии разделения реакционной смеси являются:

- проведение разделения при низких температурах;
- использование вакуума;
- применение ингибиторов побочных реакций;
- исключение контактирования термостойких продуктов с горячими поверхностями.

Заключение

Одним из направлений природоохранной работы инженеров является совершенствование важнейших технологий. Технологический процесс должен исключать выброс отходов, а побочные продукты использоваться на этом или ином предприятии.

Протекание побочных реакций можно уменьшить или совсем ликвидировать отходы, используя различные рекомендации, основанные на различных технологических принципах.

Следует помнить, что рекомендации, основанные на технологических принципах, следуют основным законам химии, физики и экономики. Они содержат лишь общее указание о рациональном оформлении технологического процесса. Решающую роль при этом играют экономические соображения, процесс должен быть экономичен. Таким образом, в технологии химических соединений, кроме общих технических принципов, необходимо учитывать также экономические проблемы, обусловленные обычно местом и временем.

Глава 2. ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Активному изменению самих технологических процессов с целью комплексной, более полной переработки исходных веществ (и тем самым сокращению до минимума отходов) способствуют следующие принципы технической рационализации:

1. Непрерывное ведение технологических процессов, сокращение стадийности производства и числа операций, уменьшение числа промежуточных хранилищ, транспортировка продуктов в виде расплавов, растворов, суспензий, увеличение единичной мощности реакторов.

2. Подготовка высококачественного сырья, внедрение химических реакций, протекающих при минимальном образовании побочных продуктов; использование для подавления побочных процессов избытка одного из реагентов, как правило, более дешевого, доступного и легко регенерирующегося; смещение равновесия обратимых реакций в сторону образования целевых продуктов; уменьшение значений максимальных температур и времени реакции; изменение конструкции реактора позволяет снизить уровень образования продуктов побочных реакций.

3. Уменьшение количества или исключение вспомогательных веществ и материалов, применяемых в ХТП (отработанные катализаторы, адсорбенты, растворители, вода от промывки тары, оборудования, помещений и др., воздух, применяемый для транспортировки продуктов, сушки и т. д.). Применение этих мероприятий позволяет снизить материальный индекс производства – суммарный удельный расход сырья и вспомогательных материалов на единицу массы готовой продукции. Во всех реальных производствах избыток сырья и вспомогательных продуктов идет на образование отходов.

4. Замена одних реактивов другими. Часто это приводит к снижению количества отработанных вспомогательных реагентов.

5. Использование побочных продуктов в этом же производстве, т. е. эти вещества будут рассматриваться как сырье.

6. Создание новых технологических процессов получения данного продукта, в которых уменьшается количество технологических стадий, ведущих за собой образование отходов.

7. Внедрение процессов, предусматривающих промышленное использование промежуточных и побочных продуктов, в тех случаях, когда количество или концентрация этих веществ достаточны для их выделения.

8. Разработка и выпуск специализированного оборудования, обеспечивающего максимальную очистку выбросов и сбросов от различного рода загрязняющих веществ.

9. Преимущественная разработка и внедрение технологий, отходы которых являются естественными компонентами биохимических циклов (вода, CO_2 , CaO и др.) и выделяются в количествах, не нарушающих естественного равновесия в технобиогеоценозах.

10. Применение в технологических схемах принципов противотока, противоточного многоступенчатого каскада реакторов, рекуперации, регенерации и возврат в цикл производства. Это позволяет повысить абсолютный выход любого продукта сложной химической реакции, процессов разделения гетерогенных систем и рекуперации энергии.

11. Создание технологических режимов, обеспечивающих выпуск продукции высокого качества, которую можно использовать более эффективно и более длительный срок.

12. Совершенствование и интенсификация основных технологических процессов, при которых концентрация токсичных веществ в отходах будет резко уменьшаться. В этих случаях очистные установки не всегда будут нужны и утилизация отходов облегчается.

Одиннадцатое и двенадцатое направления технологического совершенствования БОП особенно важны, т. к. позволяют одновременно совершенствовать и интенсифицировать проектируемое производство и осуществлять его эколого-экономическую оценку, заключающуюся в определении допустимых социально-экономических границ в развитии производительных сил и в использовании конкретных ресурсов региона с учетом рациональных взаимосвязей всех элементов природно-технической системы.

13. Перевод предприятий на оборотное и повторное водоснабжение с использованием очищенных вод для технических нужд на этом же предприятии, организация внутрицехового водооборота, создание локальных схем очистки с утилизацией ценных компонентов, а не объединение сточных вод в один поток перед их очисткой.

14. Разработка комплексных схем, позволяющих максимально использовать все ингредиенты сырья, построение безотходных технологий с позиции системного подхода к большой системе «человек – производство – окружающая среда». Использование эксергетического термодинамического и других видов анализа, позволяющих дать необходимую характеристику материальных и тепловых потоков в технологической схеме.

15. Повышение общей культуры производства, заключающееся в том, что предотвращаются разовые, залповые выбросы вредных ве-

ществ в атмосферу и водоемы, складирование и хранение на территории предприятий твердых отходов и т. п.

Итак, менее всего в настоящее время разработано и обобщено главное направление природоохранной работы инженеров, связанное с коренным совершенствованием важнейших химических технологий. Борьба с загрязнением окружающей среды путем интенсификации и рациональной организации технологических процессов может дать стойкую эффективность и привести к практически полному устранению неорганизованных выбросов. Интенсивный технологический процесс должен разрабатываться так, чтобы исключался или доводился до минимума выброс отходов, а побочные продукты удовлетворяли требованиям перерабатывающих технологий.

Заключение

Совершенствование технологий действующих производств должно оставаться в поле деятельности инженеров-экологов, т. к. это позволит сократить количество вредных выбросов в окружающую среду. К сожалению, сейчас менее всего разработано и обобщено направление природоохранной работы технологов-химиков, связанное с коренным совершенствованием действующих технологий. Такая технология должна доводиться до состояния минимальных выбросов отходов производства.

Глава 3. ПРИНЦИПЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Законы познания требуют того, чтобы в начале рассмотрения какого-либо объекта были приведены о нем самые общие сведения. Итак, что же понимают под интенсивностью химико-технологического процесса (системы).

В промышленной экологии под интенсивностью ХТП понимают осуществление всех мероприятий как внутри, так и вне его, связанных с увеличением производительности, улучшением качества выпускаемой продукции и качества окружающей среды, с экономией материально-энергетических ресурсов. Напомним, что качество окружающей среды – это степень соответствия природных условий потребностям людей или других живых организмов. Требования любого живого организма к качеству среды вырабатывались в течение многих тысячелетий эволюции. При резком изменении факторов, отклонения их от некоторых требуемых организму норм возможны нарушения обмена веществ и, как крайний случай, – несовместимость этих нарушений с жизнью организма.

Возможны два способа интенсификации или их комбинация:

- интенсифицирующих факторов;
- структурно-вариантной оптимизации.

Ниже будут рассмотрены эти способы интенсификации химических производств.

3.1. Способ интенсифицирующих факторов

В основу этого метода положено увеличение скоростей химических реакций, пропорциональных концентрациям реагирующих веществ. Последние во времени изменяются по гиперболическим зависимостям, что предопределяет значительные времена реакций и капиталовложений в реактор, необходимые для достижения предельно допустимых концентраций исходных веществ в реакционных смесях.

Применение интенсифицирующих факторов для коренного изменения старых технологий позволяет также одновременно соблюдать основные концепции создания малоотходных производств:

- достаточную глубину и полноту переработки сырья;
- минимальные выбросы низкопотенциального тепла и материальных отходов в окружающую среду;
- максимальное снижение площадей и капитальных вложений в производственное и очистное оборудование.

3.1.1. Основные направления интенсификации химико-технологических процессов

При интенсификации химических процессов стремятся осуществить целенаправленное изменение какой-либо группы факторов, которые оказывают определенное влияние на скорость реакции и выход продуктов. Для процессов, протекающих в кинетической области, такими факторами будет температура, давление, концентрация реагирующих веществ и применение катализаторов. Для процессов, протекающих в диффузионной области, применяют гомогенизацию, перемешивание, турбулизацию потока, а также осуществляют рациональный выбор направления движения потоков. Для процессов, протекающих в переходной области, необходимо применять как кинетические, так и диффузионные факторы.

Рассмотрим кратко основные случаи изменения основных параметров процесса.

Перемешивание

Перемешивание позволяет выравнивать концентрации и температуру взаимодействующих фаз. Особенно эффективно оно для жидкостей вследствие небольшой скорости диффузии молекул в жидкой фазе. Применяют следующие виды перемешивания: механическое, пневматическое, электромагнитное и др.

Применение турбулентного режима движения потока дает возможность за счет ускорения перемешивания взаимодействующих фаз существенным образом интенсифицировать процесс естественной диффузии молекул. При турбулизации происходит ускорение процесса смешения фаз и увеличение поверхности взаимодействия между ними. Для улучшения процесса турбулизации стремятся более тонко измельчать взаимодействующие потоки и добиваться высокой скорости движения их в аппарате.

Степень гомогенизации

Повышение степени гомогенизации взаимодействующих веществ особенно эффективно для систем *ж-ж*, *г-тв*, *тв-ж* и т. д., поскольку позволяет достигнуть требуемой степени завершения процесса, повысить выход и качество продукции и интенсифицировать процесс. Для достижения однородности химического и фракционного состава применяют гравитационные, центробежные, электромагнитные, химические и другие способы разделения неоднородных систем. Для осуществления гомогенизации неоднородных жидких и твердых фракций используют,

например, механические измельчители, вибрацию, ультразвук, высоковольтные электрические разряды в жидкой среде.

Температура

Повышение температуры обычно позволяет увеличить константу скорости реакции, однако в значительно меньшей степени оно влияет на рост коэффициента диффузии. При увеличении температуры на 10 °С скорость реакции в среднем увеличивается в 2–4 раза. Верхний предел повышения температуры может быть ограничен вследствие низкой термостойкости конструкционных материалов реагентов и катализаторов, для которых рабочая температура в ряде случаев не соответствует максимально допустимому значению.

Рассмотрим влияние температуры на селективность реакции. Влияние температуры на селективность (относительную скорость реакции) зависит от соотношения энергии активации параллельных реакций.

Для параллельных реакций

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{R \cdot T}}, \quad (64)$$

где A_1 и A_2 – предэкспоненциальные множители;

$\Delta E = E_1 - E_2$, E_1 и E_2 – энергии активации основной и побочной реакции соответственно.

Если $E_1 > E_2$, то при низких температурах скорость побочной реакции значительно выше, чем основной. Поэтому селективность по продукту B невелика при низких температурах. Повышение температуры увеличивает соотношение констант скоростей реакции и соответственно повышается селективность процесса по продукту B .

Если $E_1 < E_2$, то при низких температурах скорость основной реакции выше, чем побочной, и селективность по целевому продукту при низких температурах выше, чем при высоких. Таким образом, при $E_1 < E_2$ повышение температуры нецелесообразно.

Селективность последовательных реакций зависит также от соотношения скоростей протекающих реакций. Например, для реакции $A \xrightarrow{K_1} B \xrightarrow{K_2} D$ соотношения скоростей образования продуктов B и D будет равно

$$\frac{R_B}{R_D} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{C_A}{C_B} - 1. \quad (65)$$

Это уравнение показывает, что селективность будет тем больше, чем выше концентрация исходного реагента C_A и соотношение K_1/K_2 . Следовательно, для проведения последовательных реакций с получением высокой селективности по промежуточному продукту предпочтительны реактор идеального вытеснения и реактор периодического действия полного смешения. В них средняя концентрация веществ, участвующих в реакции, всегда выше, чем в проточном реакторе полного смешения.

Давление

Повышение давления позволяет существенно увеличить скорость реакции в газовой фазе, протекающей с уменьшением объема, что позволяет снизить габариты аппарата и диаметры трубопроводов. Ограничения максимальной величины давления могут быть целесообразны по экономическим причинам при переработке низкоконцентрированных газов вследствие высоких энергетических затрат на сжатие и перемещение неучаствующих в реакции газовых фракций, которые в данном случае являются балластом.

Концентрации реагирующих веществ

Повышение концентрации реагирующих компонентов может быть осуществлено в результате обогащения исходного сырья, а также при непрерывном отводе продуктов реакции из зоны взаимодействия (при использовании вакуума, конденсации, поглощения газа на твердом поглотителе для газообразных продуктов, кристаллизации, испарения — для жидких смесей и т. д.).

Катализаторы

Широкие возможности для интенсификации химических производств создает использование достижения каталитической химии. Например, разработанные новые катализаторы для производства метанола, содержащие Al, Cu, Zn, дали возможность уменьшить рабочее давление в 3 раза. Создание давления в технологических аппаратах позволяет изменять параметры ведения процесса, применять менее дорогое оборудование, уменьшать энергоемкость и другие показатели процесса. Большое распространение в дальнейшем должны получить мембранные катализаторы, которые не только ускоряют химический процесс, но и позволяют разделять образовавшиеся продукты реакции. Гетерогенный катализ в последнее время широко применяется при осуществлении

процессов в псевдооживленном слое и его разновидностях, что позволяет проводить процессы более интенсивно, чем при использовании неподвижных слоев катализатора.

Направленное движение потоков

Для ускорения и повышения эффективности диффузионных процессов применяют направленное движение потоков. Например, при противотоке достигаются большие равномерность и полнота протекания процесса в объеме аппарата, что сопровождается и более высоким выходом продукта. Высокая интенсивность процесса может быть достигнута и в аппаратах с перекрестным током, однако такая организация движения потоков более сложна, чем при противотоке.

3.1.2. Основные закономерности процессов химического превращения

Кинетика химических реакций играет определяющую роль в достижении требуемых показателей процесса. Информация о кинетике открывает перед исследователем возможность сознательного управления химическими процессами с целью их интенсификации. На величину константы скорости реакции

$$r_A = -\frac{dC_A}{d\tau} = K \cdot C_1^{n_1} \cdot C_2^{n_2} \cdot \dots \cdot C_i^{n_i} = K \cdot \sum C_i^{n_i} \quad (66)$$

оказывают влияние различные факторы (температура, давление, условия перемешивания и др.). Константу скорости реакции можно представить в виде уравнения Аррениуса

$$K = K_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right), \quad (67)$$

где K_0 – предэкспоненциальный множитель;

E_a – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура в градусах Кельвина.

Влияние температуры на интенсификацию химико-технологических процессов

В последнее время наметилась тенденция к сочетанию высокотемпературных процессов с электрохимическими, ультразвуковыми, плазменными и другими методами воздействия на вещество. В целом пра-

вильный выбор оптимального температурного интервала ведения процесса позволяет существенным образом повысить скорость процесса и увеличить выход продукции. Основное влияние температура оказывает на те процессы, которые протекают в кинетической области, причем характер этого влияния определяется величиной теплового эффекта процесса. Наиболее сильное воздействие на скорость процесса имеет температура эндотермических реакций, при проведении которых (согласно принципу Ле-Шателье) увеличивается скорость реакции и соответственно сокращается время, необходимое для достижения равновесия.

При протекании химической реакции типа $A + B \rightleftharpoons D - Q$, требующей подвода дополнительного количества теплоты, при повышении температуры равновесие смещается слева направо, что способствует увеличению равновесной степени превращения целевого компонента. При повышении температуры фактически достигаемая степень превращения вещества, вследствие увеличения скорости процесса, приближается к равновесной.

Обратимые экзотермические реакции также интенсифицируются при увеличении скорости прямой реакции с увеличением температуры процесса. В случае обратимой экзотермической реакции, при достижении определенного значения температуры, ее скорость начинает возрастать быстрее, чем скорость прямой реакции, что приводит к смещению равновесия в сторону образования исходных продуктов. Кривая зависимости фактической скорости превращения от температуры процесса имеет максимум, при котором достигаются наибольшие выход продукции и общая скорость процесса. Очевидно, что ограничение верхнего предела температуры делает невозможным применение ее в качестве фактора, интенсифицирующего процесс, поэтому для экзотермических процессов используют другие факторы воздействия, приводящие к повышению скорости реакции и достижению требуемых технологических показателей (применяют катализаторы, повышенное давление).

Увеличение скорости диффузионных гетерогенных процессов может быть достигнуто за счет уменьшения вязкости и плотности, повышения давления и температуры, увеличения скорости потоков взаимодействующих фаз, интенсивного перемешивания, увеличения поверхности контакта фаз и времени взаимодействия. Повышение температуры позволяет увеличить подвижность частиц и тем самым ускорить диффузионные процессы.

Влияние давления на интенсификацию химических процессов

Велика роль применения повышенного давления для создания замкнутых БОП и энергосберегающих технологических схем. При принятии решения о необходимости использования повышенного давления учитывают агрегатное состояние взаимодействующих веществ, возможность получения требуемой степени достижения равновесия и необходимого выхода продукта при данном режиме. Применение повышенного давления позволяет увеличить или уменьшить концентрации взаимодействующих веществ, изменить их объем, теплофизические свойства, замедлить или ускорить переход веществ из одного агрегатного состояния в другое и т. д. Указанные выше факторы приводят к возможности получения оптимального выхода продукта и повышению его качества.

Широко применяется также изменение давления процесса в сочетании с увеличением температуры, использованием катализаторов и т. д.

Для процессов с газовой фазой применение давления позволяет увеличить концентрацию газообразного реагента при уменьшении его объема. Повышение концентрации реагентов приводит к ускорению реакции. При увеличении давления может происходить изменение порядка реакции, а также уменьшение константы скорости реакции.

При повышении давления, в случае осуществления реакции типа $A + B \rightarrow C + D + Q$, в начальный момент времени происходит концентрирование газа, и равновесие смещается в сторону образования $C + D$ до некоторого накопления побочных продуктов взаимодействия.

Дальнейшее увеличение давления будет невыгодным в связи с тем, что для сжатия газа требуется все больший расход энергии, а газ, находящийся под высоким давлением, сжимается все хуже и хуже, вследствие чего энергозатраты возрастают быстрее прироста продукта.

Проведение процесса при низком давлении упрощает аппаратное оформление, но увеличивает объем реактора и энергозатраты на транспортировку реагентов, повышаются требования к исходному составу реагентов. В случае когда процесс сопровождается протеканием обратимых реакций с увеличением объема, в начальный период выход продукта возрастает при повышении давления до момента приближения к равновесному состоянию, а потом снижается, проходя через максимум. Если в результате протекания реакций продукты взаимодействия переходят в другое агрегатное состояние (жидкую или твердую фазу), то повышение давления широко используется с целью ускорения этого перехода. Для перевода вещества в газообразное состояние используется вакуум при низких температурах, что позволяет выделять особо чистые вещества.

Для жидкофазных процессов возможно повышение давления в пределах 200÷300 МПа, что дает возможность получить более плотный продукт, повысить степень превращения вещества и улучшить качество конечных продуктов.

Процессы, протекающие в системе «жидкость – жидкость», сопровождаются преимущественно ростом молекулярных цепочек с образованием малого числа коротких боковых ответвлений; для системы «газ – жидкость – твердое тело» это число возрастает, причем увеличиваются и размеры в боковых ответвлениях, что бывает нежелательным при проведении ряда технологических процессов. В связи с этим при выборе фазового состояния реакционной смеси обязательно учитывают ее влияние на качество получаемого продукта и изменяют фазовое состояние системы в ходе процесса с учетом получения продукта высокого качества и предотвращения нежелательных процессов.

Применение перемешивания для интенсификации процессов химической технологии

При осуществлении процесса перемешивания частицы жидкости или сыпучего материала в результате многократного перемещения в объеме аппарата под действием импульса, передаваемого среде от механической мешалки либо струи жидкости, пара, газа, смешиваются друг с другом. При перемешивании потоков фаз преследуются следующие цели:

- ускорение течения химических реакций, а также растворения твердых веществ;
- равномерное распределение частиц в объеме жидкости и равномерное распределение и диспергирование газа или жидкости в потоке;
- интенсификация процессов охлаждения и нагревания.

Таким образом, основной задачей процесса перемешивания является получение однородных растворов или смесей, эмульсий или суспензий.

Для реализации процесса перемешивания применяются механические мешалки, газ, пар, перемешивание циркуляцией жидкости, вибрационное и пульсационное перемешивание. Для характеристики процесса перемешивания используются следующие показатели: степень перемешивания, интенсивность перемешивания, эффективность перемешивания. Степень перемешивания – взаимное распределение компонентов после завершения процесса перемешивания всей системы. Она характеризует степень однородности системы, а следовательно, может широко применяться для оценки эффективности и интенсивности перемешивания.

Использование перемешивания для интенсификации процессов может быть проиллюстрировано следующими примерами:

- смешение взаимно растворимых жидкостей;
- выравнивание температур в объеме перемешиваемой среды;
- распределение взвешенных частиц в объеме жидкости или предотвращение их оседания;
- диспергирование капель или пузырьков газа;
- улучшение теплообмена;
- улучшение массообмена.

Выбор режима перемешивания и конструкции аппарата с целью интенсификации процесса осуществляют, исходя не только из физико-химических особенностей перемешиваемой системы, но и с учетом технико-экономической оценки процесса.

3.1.3. Примеры интенсификации химико-технологических процессов

Разделение смесей

На рис. 24 приведены схемы разделения смесей с перечистками целевого продукта, отходов и специально выделяемого промежуточного продукта соответственно.

Технологические схемы очистных операций могут быть трех основных разновидностей:

- схема с получением в основной операции загрязненного примесями целевого продукта, который в дальнейшем подвергается последовательным перечисткам для удаления таких примесей (см. рис. 24, *а*);
- схема, при которой выделяется в небольших количествах очень чистый по содержанию примесей целевой продукт и отходы, подвергающиеся затем повторным перечисткам, чтобы предотвратить потери ценного компонента (см. рис. 24, *б*);
- схема с выделением трех продуктов: готового целевого продукта с низким содержанием посторонних примесей, отходов с малыми потерями в них целевого компонента сырья и так называемого промежуточного продукта, в котором содержание этого компонента находится в интервале значений его содержания в продукте и отходах (см. рис. 24, *в*).

Выбор варианта схемы зависит прежде всего от того, насколько малыми могут быть потоки, поступающие на перечистные операции: чем они меньше, тем выгоднее применение рассматриваемого варианта схемы. Оптимальным будет тот вариант схемы, при котором в основной операции разделения сразу можно будет получить возможно большее количество готовых, не подлежащих дальнейшей переработке, продук-

тов или целевого продукта (экономичнее применять первый вариант схемы) или отходы (выгоднее применять второй вариант). Если это сразу недостижимо, то приходится прибегать к третьему варианту схемы.

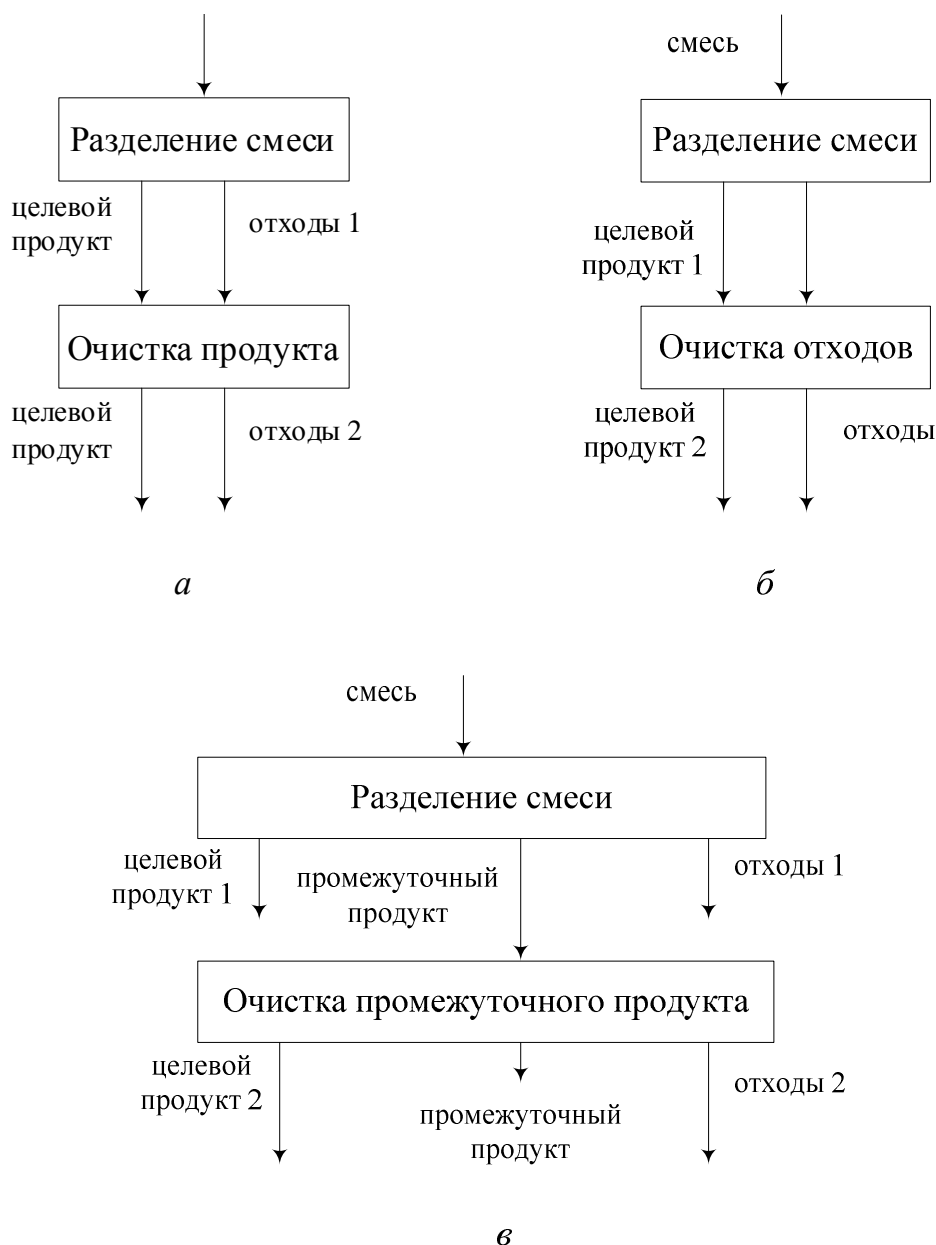


Рис. 24 Схема разделения смесей:
a – продукта; *б* – отходов; *в* – промежуточного продукта

Первый вариант обычно применяется тогда, когда исходный продукт относительно богат целевым компонентом, а ожидаемое количество отходов относительно невелико. Второй – когда разделению подлежит бедное целевым компонентом сырье. Третий вариант схемы харак-

терен для промежуточных случаев и тогда, когда технологически трудно ожидать эффективного разделения компонентов смесей. Кроме того, третий вариант схемы необходим в тех случаях, когда в сырье не один, а два или более целевых компонента или когда при одном целевом компоненте в сырье может быть примесь, вредно влияющая на качество готовой продукции.

В некоторых случаях из-за плохого, трудноосуществимого разделения приходится отказаться от переработки промежуточного продукта и использовать его как самостоятельную побочную продукцию производства или (при очень дорогом сырье) применять к нему какую-либо другую технологию переработки, более дорогостоящую, но и более эффективную. В исключительных случаях такой промежуточный продукт может складироваться на складе отходов в расчете на его переработку в дальнейшем, при новых, более благоприятных условиях (например, когда будет найдена новая, более удачная технология процесса).

Применение технологии переработки продуктов с повторными перечистками связано с двумя отрицательными последствиями:

- получением большого количества сортов конечной продукции, выделяемой на разных стадиях перечисток;
- увеличением числа единиц применяемого оборудования.

Большое число сортов получаемых продуктов создает трудности в их реализации, при хранении и при транспортировке. Выход из этого положения можно найти, смешивая продукты разной сортности и получая в результате меньшее число конечных продуктов. Качество продуктов при этом усредняется, и, следовательно, уже полученную высококачественную продукцию приходится сознательно портить.

Для сокращения числа применяемых в процессе аппаратов и для того, чтобы не применять аппараты разных типоразмеров, можно использовать повторные перечистки, направляя соответствующие потоки не в специально установленные для этого аппараты, а возвращая их в предшествующие стадии для перечисток, т. е. применяя циркуляцию технологического потока (см. рис. 25).

Особенно эффективны схемы, в которых происходит разделение потока на три продукта: промежуточный продукт разделения возвращается на перечистку в тот же аппарат, в котором он получен. При этом сокращается не только число применяемых в процессе аппаратов, но и число технологических операций.

На практике могут применяться смешанные варианты технологических схем перечистных процессов разделения смесей, когда бедные целевым компонентом продукты могут совместно перерабатываться с относительно богатыми отходами (см. рис. 26).

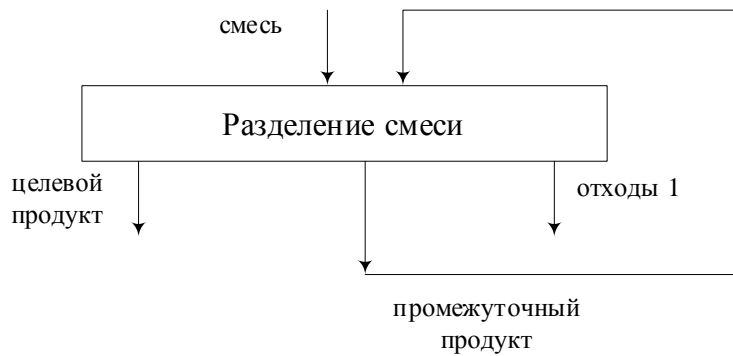


Рис. 25. Схема перечисток с применением циркуляции технологического потока

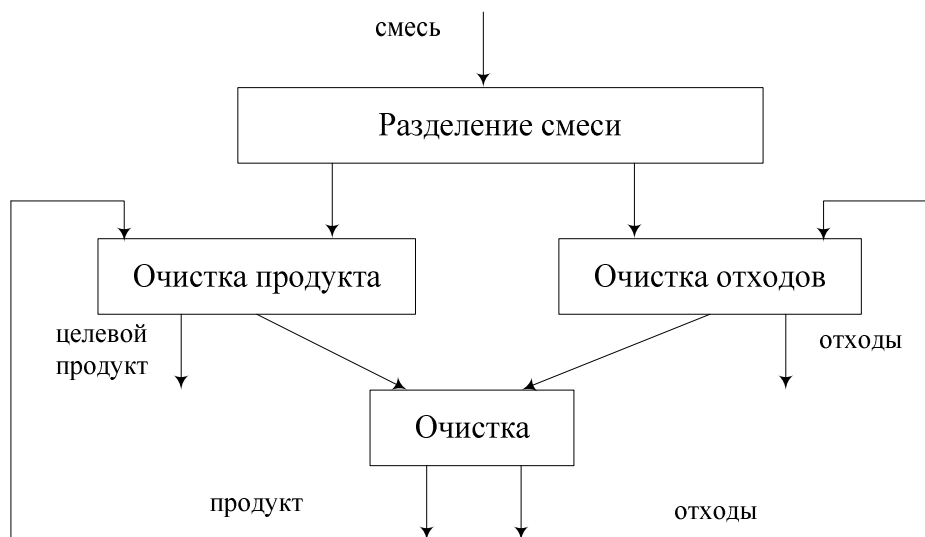


Рис. 26. Смешанный вариант разделения смесей

Окончательный выбор варианта схемы определяется на основании технико-экономического анализа (расчета), учитывающего качество конечных продуктов процесса, производственные затраты и эффективность использования основных фондов производства.

Таким образом, применение интенсифицирующих факторов позволяет изменить старые технологии, приблизив их к статусу малоотходных технологий. С чисто технологической позиции вывод из эксплуатации предприятия, работающего по старой технологии, которая неизбежно связана со значительными выбросами, может оказаться преждевременным.

3.2. Оптимизация химико-технологических процессов

Целью БОП является его наилучшая реализация, его оптимизация. Оптимизация – это процесс достижения наилучших или определение (нахождение) наиболее благоприятных условий проведения какого-либо процесса. В приложении к химико-технологическому процессу – определение наилучших условий проведения процесса.

Для современного подхода к оптимизации характерна формализация задачи. На этапе формулирования задачи приходится учитывать физико-химические особенности процесса, его экономичность, общее развитие промышленности, рыночную конъюнктуру и множество других обстоятельств. Как правило, формулировка задачи оптимизации включает:

- выбор критерия оптимальности;
- установление ограничений;
- выбор оптимизирующих факторов;
- запись целевой функции.

Критерий оптимальности – это главный признак, по которому судят о том, насколько хорошо функционирует данная система, работает данный процесс, насколько хорошо решена задача оптимизации. О работе судят по ее результатам. Поэтому критерий оптимальности является одним из результатов, одним из выходов систем.

Чтобы выбранный критерий оптимальности можно было эффективно использовать на следующем этапе, он должен удовлетворять трем основным требованиям:

1. Критерий оптимальности должен быть единственным. Это самое тяжелое требование. Дело в том, что нас интересует ряд выходов системы и мы хотим, чтобы на каждом из них система была наилучшей. Иногда говорят так: оптимальным является такое ведение технологического процесса, при котором производительность установки и качество продукта максимальны, а затраты и потери минимальны. Такая постановка задачи утопична и поэтому объективно вредна.

Пример. Сопоставление двух критериев оптимальности.

Оптимизируется работа ректификационной колонны. Желательно получить максимально чистые продукты. Однако если стремиться только к улучшению этого показателя, то оптимальным окажется режим при бесконечном флегмовом числе, т. е. без питания и без отбора дистиллята. Производительность в таком оптимуме равна нулю. С другой стороны, если мы будем стремиться к увеличению производительности, то придем к абсурдному решению: используя колонну просто как трубопровод, мы сможем пропустить через нее огромное количество смеси, но разделение окажется нулевым.

2. Критерий оптимальности должен выражаться числом. В противном случае сопоставление различных вариантов становится крайне затруднительным.

3. Величина критерия оптимальности должна изменяться монотонно при улучшении качества функционирования системы. Это значит, что оценивать объект можно по принципу: чем больше критерий, тем лучше. Но ни в коем случае не по принципу: вот это значение критерия оптимально и отклоняться от него не следует.

Условия, которые необходимо соблюдать независимо от того, как их соблюдение повлияет на величину критерия оптимальности, называют ограничениями.

Пример. Что является ограничением?

В научной работе указано, что протекание синтеза исследовано в интервале 363÷383 К. Нижний предел определяется тем, что при дальнейшем снижении температуры смесь сильно загустевала и ее не удавалось перемешать. Верхний – тем, что дальнейший рост температуры приводил к резкому падению выхода продукта. Если за критерий оптимальности принять выход, то нижний предел – ограничение, независимо от того, как снижение температуры влияет на выход, охлаждать смесь нельзя вследствие роста вязкости. А вот верхний предел не стоит считать ограничением. Исследователи его забраковали не потому, что не могли его достичь, а вследствие неблагоприятного влияния режима на выход. Чаще всего ограничения возникают по следующим причинам:

1. По количеству и качеству сырья и продукции состав сырья задается не нами, и менять его нельзя. Количество сырья также может быть ограничено, выпуск продукта не может быть меньше планового и больше того, что можно реализовать, качество продукта не должно быть ниже требований ГОСТа.

2. По условиям технологии расход воздуха не должен превышать производительности вентилятора, размеры аппарата менять мы не можем и т. д.

3. По экономическим и конъюнктурным соображениям капитальные затраты не должны превышать выделенной суммы, срок ввода нового производства не должен быть позже запланированного, нельзя применять методы и устройства, защищенные иностранными патентами.

4. По соображениям охраны труда и окружающей среды.

Возвращаясь к критериям (или показателям) эффективности, следует заметить, что основными показателями эффективности, по которым оценивается деятельность любой химико-технологической схемы, являются нижеследующие:

а) технологические показатели;

- б) качественные показатели выпускаемой продукции;
- в) экономические показатели.

Каждую ступень химического предприятия характеризуют определенными показателями эффективности функционирования. Так, показателями эффективности отдельных аппаратов, узлов, отделений чаще всего являются технологические критерии – удельная производительность, выход целевого продукта, коэффициент полезного действия и т. д. Для отдельных элементов системы, например узлов кристаллизации, ректификации, абсорбции и т. д., могут быть использованы качественные критерии эффективности.

Показателями эффективности функционирования более высоких ступеней иерархии химического производства – технологических цехов и отдельных химических производств, представляющих собой сложные химико-технологические системы (ХТС), – являются расходные коэффициенты на сырье, топливо, греющий пар и охлаждающую воду (технологические критерии), мощность, себестоимость продукции, приведенные затраты, фондоотдача, прибыль, рентабельность (экономические критерии), качество и ассортимент выпускаемой продукции (качественные показатели).

Обычно наиболее обоснованно работают экономические критерии, такие как прибыль, рентабельность, себестоимость и др.

Для упрощения задачи зачастую пользуются технологическими критериями, например: производительностью, чистотой продукции, выходом продукта и т. д. Однако каждый технологический критерий в конечном счете связан с экономикой: чем больше производительность, тем выше будет прибыль. При оптимизации производства в целом или его крупных подразделений, естественно, будут применять экономические критерии. Они удобны при оптимизации более мелких объектов: отдельного узла, аппарата, т. е. при локальной оптимизации. При их применении следует особенно тщательно учитывать особенности процесса: критерий, пригодный в одних условиях, может совершенно не годиться в других.

Пример. Критерии оптимальности при оптимизации химической реакции.

Если протекает реакция типа «реагенты → продукты», то в качестве критерия оптимальности обычно можно принять скорость реакции. Единственная реакция проходит оптимально тогда, когда в каждой точке аппарата она проходит с наибольшей возможной скоростью. Но если есть побочные стадии, тогда скорость реакции обычно не годится в качестве критерия оптимальности. Ускоряя целевую реакцию, мы получим низкую селективность. В этом случае приходится пользоваться более сложными критериями, например, такими:

$$F = \sum_{j=1}^n m_j \cdot q_j - m_V \cdot V_a, \quad (68)$$

где F – критерий;

q_j – количество вещества на j -м выходе;

n – общее количество вещества;

m_j и m_V – коэффициенты, задающие прибыль (или затраты), получаемую от единицы вещества, и затраты на единицу объема аппарата.

Ввиду многообразия критериев, используемых для оптимизации ХТС, рассмотрим только наиболее важные.

Степень превращения – доля прореагировавшего исходного реагента относительно его начального количества. Селективность – доля (или процент) превращенного исходного реагента, израсходованная на образование данного продукта. Ее можно определить как отношение количества полученного вещества к его теоретическому количеству, которое могло бы образоваться из превращенного реагента при отсутствии побочных реакций и потерь.

Удельная производительность – съём целевого продукта с единицы реакционного объема в единицу времени.

Себестоимость складывается из четырех видов затрат, доля которых в промышленности, например органического синтеза, следующая (%):

- сырье, основные и вспомогательные материалы 40÷70;
- энергетические ресурсы 10÷40;
- амортизационные отчисления 15;
- заработная плата и другие денежные расходы 10÷15.

Прибыль как критерий амортизации наиболее часто используется при оптимизации работы действующего производства, выпускающего несколько продуктов:

$$\Pi = \sum F_i \cdot (\Pi_i - C_i^{\text{зав}}) = \sum F_i \cdot C_i - c^{\text{зав}}, \quad (69)$$

где F_i – мощность производства по i -му продукту;

Π_i , $C_i^{\text{зав}}$ – цена и заводская себестоимость i -го продукта соответственно;

$c^{\text{зав}}$ – суммарные эксплуатационные затраты.

Оптимизирующими факторами являются те, которые в процессе оптимизации относят к управляющим. Это те воздействия, которые мы применяем для оптимизации процесса. Остальные факторы при этом не регулируются, хотя их значения, разумеется, учитывают при определении оптимальных условий. Эти факторы фигурируют в задаче в качестве ограничений типа равенства.

Если производство еще проектируется (оптимальное проектирование), то к числу оптимизирующих целесообразно отнести как можно большее число факторов. Действительно, на этой стадии регулировать факторы проще всего: регулирование (изменение значений) осуществляется не в действительности, а на математической модели. Поэтому здесь желательно найти оптимальные значения максимального числа факторов. Но задача оптимизации возникает и после пуска производства (оптимальное управление). При этом число оптимизирующих воздействий становится существенно меньшим. Часть факторов мы уже не можем менять. Таковы, например, размеры аппаратов. Но и нецелесообразно теперь регулировать все остальные факторы. Дело в том, что чем больше управляющих факторов, тем сложнее система управления, сложнее ее математическая модель.

Целевая функция – это то же самое, что критерий оптимальности, но это критерий, рассматриваемый как функция входных факторов:

$$F = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n, h_1, h_2, \dots, h_m). \quad (70)$$

Чем больше (или чем меньше) значение F , тем лучше. Поэтому можно дать такое определение оптимума. Оптимум – это экстремум (либо максимум, либо минимум) целевой функции. Те значения факторов x , при которых достигается оптимум, называют оптимальными значениями. Отсюда математическая задача оптимизации формулируется как задача отыскания экстремума. При этом в точке экстремума должны соблюдаться все ограничения. Поэтому во многих случаях оптимум приходится искать на краю области допустимых значений, за пределы которой нельзя выйти вследствие наличия ограничений (см. рис. 27).

Методы отыскания точки оптимума можно разделить на три основные группы:

а) аналитические методы. Их применяют в тех случаях, когда существует возможность продифференцировать целевую функцию и искать экстремум из условия равенства нулю производных;

б) численные методы. Для их применения существует условие вычислимости целевой функции, т. е. должен быть известен алгоритм, по которому можно рассчитать значение критерия оптимальности при заданных значениях факторов;

в) методы, применяемые, если целевая функция невычислима. Практически это значит, что вид функции неизвестен. Тогда остается одно – планировать и реализовать эксперимент так, чтобы в результате достичь района оптимума. Это экспериментальная оптимизация.

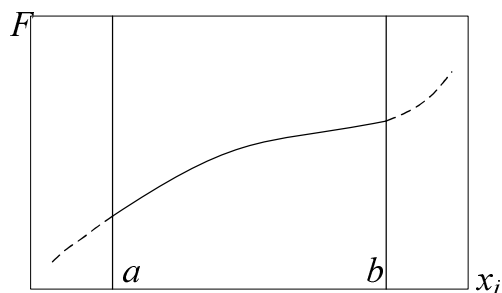


Рис. 27. График, иллюстрирующий оптимум на краю области допустимых значений. Отрезок ab является областью допустимых значений, определяемой ограничением $a \leq x \leq b$

Рассмотрим оптимизацию методом дифференциального исчисления.

Пусть целевая функция задана формулой (70).

Классический метод отыскания экстремума заключается в решении системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dF}{dx_1} = 0; \quad \frac{dF}{dx_2} = 0; \quad \frac{dF}{dx_n} = 0. \quad (71)$$

Левые части уравнений – функция от факторов x_1, x_2, \dots, x_n . Поэтому решение системы может дать $x_{1\text{опт}}, x_{2\text{опт}}, \dots, x_{n\text{опт}}$, являющиеся оптимальными значениями факторов. Их совокупность определяет оптимальное решение задачи.

Если оптимизируется технологический процесс, то этому решению соответствует оптимальный режим. Однако, чтобы убедиться в том, что полученные значения действительно оптимальны, нужно выяснить четыре обстоятельства:

1) действительно ли решение системы (71) определяет экстремум? Известно, что условию (68) могут удовлетворять и седловая точка, и точка перегиба;

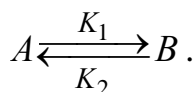
2) получен ли экстремум нужного знака (максимум, если нас интересует максимум, или минимум в обратном случае);

3) если система имеет несколько решений, то какое из них отвечает глобальному оптимуму, а какое – локальным? Так, если зависимость имеет несколько максимумов, то глобальным будет тот из них, который выше всех остальных, остальные будут локальными;

4) все ли ограничения соблюдаются в точке экстремума.

Рассмотрим некоторые важные задачи оптимизации.

Если химическая реакция протекает без побочных стадий, то удастся найти очень простой критерий оптимальности – скорость реакции



Целевая функция имеет вид

$$F \equiv R = A_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T}} \cdot C_A - A_2 \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T}} \cdot C_B. \quad (72)$$

Таким образом, наш критерий зависит от трех параметров: температуры, концентраций A и B (C_A и C_B). Ясно, что для увеличения скорости следовало бы иметь как можно большее значение C_A и как можно меньшее C_B . Цель же процесса противоположная – увеличить C_B и уменьшить C_A . Поэтому концентрации нельзя рассматривать как независимые факторы.

Итак, есть лишь один независимый фактор, которым можно влиять – это температура.

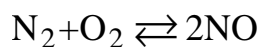
Рассматриваемая задача обычно называется задачей об оптимальной температуре химической реакции. Но при разных концентрациях влияние температуры может быть различным. Поэтому будем решать задачу в следующей постановке. Фиксируем некоторые значения C_A и C_B и при этих значениях найдем оптимальную температуру. Это означает, что концентрации веществ A и B выступают в нашей задаче как ограничения типа равенства. Кроме того, учтем одно ограничение типа неравенства, которое существует в любой практической задаче: температура не может превысить некоторого максимального значения T_{\max} , т. е. $T \leq T_{\max}$.

Рассмотрим два случая, когда оптимум можно найти из физических соображений без расчета. Если реакция необратима, т. е. $A_2 = 0$, то в правой части формулы (72) остается только первый член, который с ростом температуры растет неограниченно. Максимум в смысле условия (68) отсутствует. Тогда оптимум определяется ограничением: следует поддерживать максимально допустимую температуру: $T_{\text{опт}} = T_{\max}$.

Пример. Оптимальная температура необратимой реакции.

Реакция сгорания топлива практически необратима. В тех случаях, когда требуется максимальная интенсивность горения, следует поддерживать максимально достижимую температуру. На увеличение этой температуры направлены усилия при конструировании топок современных производств. Если реакция обратима, но эндотермична, т. е. $E_1 > E_2$, то результат рассуждений тот же, что и в предыдущем случае. Действительно, с ростом температуры и равновесие сдвигается вправо, и скорость прямой реакции растет. Поэтому оптимум определяется равенством $T_{\text{опт}} = T_{\max}$.

Пример. Оптимальная температура эндотермической реакции типа



Процесс нашел применение лишь в начале нашего века, когда дешевая гидроэлектроэнергия и разработка дуговых печей позволили поднять T_{\max} до 3000 °С. Но в дальнейшем этот метод фиксации азота был вытеснен синтезом аммиака. После появления плазмотронов можно рассчитывать на увеличение его конкурентоспособности.

Если реакция обратимая, экзотермическая, то к решению потребуются применить иной подход. В этом случае с ростом температуры вначале более существенным будет возрастание скорости прямой реакции, обратная еще слишком медленна. При дальнейшем повышении температуры обратная реакция, имеющая большую энергию активации, начинает «нагонять» прямую. При данном составе существует температура $T_{\text{равн}}$, при которой смесь находится в равновесии, затем ход реакции смещается влево. Где-то посередине имеется температура, при которой суммарная скорость реакции максимальна. Это и есть $T_{\text{опт}}$. Для ее расчета запишем условие (68) для формулы (72):

$$\frac{dR}{dT} = \frac{d}{dT} \left(A_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T}} \cdot C_A - A_2 \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T}} \cdot C_B \right) = 0; \quad (73)$$

$$T_{\text{опт}} = \frac{E_2 - E_1}{R \cdot \ln \frac{A_2 \cdot E_2 \cdot C_B}{A_1 \cdot E_1 \cdot C_A}}. \quad (74)$$

Из уравнения (74) следует, что чем выше C_A и чем меньше C_B , тем выше $T_{\text{опт}}$, по мере роста степени превращения величина $T_{\text{опт}}$ уменьшается. При $C_B \rightarrow 0$ по уравнению (74) $T_{\text{опт}} \rightarrow \infty$. Поэтому на начальном участке реактора следует устанавливать максимально допустимую температуру T_{\max} с момента, когда определенная по уравнению (74) $T_{\text{опт}}$ сравняется с T_{\max} ; изменение температуры должно определяться этим уравнением. Это положение иллюстрирует кривая 2 на рис. 28.

Рисунок иллюстрирует оптимальный ход температуры в зависимости от степени превращения. Реально осуществить такое распределение температуры чрезвычайно трудно, поэтому применяют другие распределения, более или менее приближающиеся к оптимальному. Так, ломаная 2 на рис. 28 показывает ход температуры в четырехслойном каталитическом реакторе, в каждом слое которого реагирующая смесь адиабатически разогревается за счет тепла реакции, а между слоями охлаждается в теплообменнике. Такое распределение температур приводит к несколько худшим результатам (большему объему катализатора), но его сравнительно легко осуществить. Чем больше ступеней катализа, тем ближе ломаная линия к оптимальной. Если реакцию проводить в аппарате смешения, то во всем его объеме имеем одну и ту же степень пре-

вращения. Ей соответствует точка на кривой 1, относящаяся к оптимальной температуре для данного аппарата.

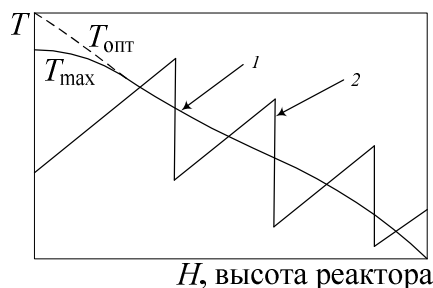


Рис. 28. График распределения температуры в зависимости от степени превращения:
1 – оптимальное; 2 – близкое к оптимальному
(четырёхслойный каталитический реактор)

Итак, в приложении к химико-технологическому процессу оптимизация – это определение наилучших условий проведения процесса. Главный признак, по которому судят о том, насколько хорошо функционирует данный процесс, – это критерий оптимальности. Критерий оптимальности должен быть единственным, выражаться целым числом, и его величина должна изменяться монотонно при улучшении качества функционирования процесса.

Заключение

Интенсификация химических производств достигается как за счет роста скоростей, температур, давления (параметров технологического процесса), так и за счет воздействия на ход химической реакции.

Скорость превращения зависит от концентрации реагентов и температуры. В ходе превращения состав реакционной смеси меняется и возникает вопрос: как надо менять температуру по мере протекания реакции, чтобы получить заданное превращение с максимальной интенсивностью? Критерием оптимизации является время, управляющим параметром – температура:

$$F(u) = \tau(T) = \int_0^x \frac{dx}{r(x, T)}; \quad (75)$$

$$T \leq T_{\max},$$

где x – конверсия;
 r – скорость реакции.

Глава 4. ПРИНЦИПЫ НАИЛУЧШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

В химических производствах энергия затрачивается на подготовку сырья, осуществление химических превращений, выделение продуктов, их транспортировку и т. п. Принципы полного использования энергетических ресурсов направлены на минимизацию энергетических и тепловых затрат, на полное их использование в процессе.

Эффективность расходования энергии в химических производствах устанавливается с помощью энергетического баланса. Однако энергетический баланс, рассчитанный на основе лишь первого начала термодинамики, не дает возможности определить место и причины возникновения потерь энергии, правильно произвести их количественную и качественную оценку, найти возможность их устранения.

Перечисленные задачи можно решить с использованием эксергетического метода термодинамического анализа.

4.1. Эксергетический метод термодинамического анализа

В таком методе за показатель качества объекта взята максимально полезная работа, которую можно получить от потоков вещества при его обратимом взаимодействии с окружающей средой:

$$E = A_{\text{пол}}^{\text{max}} = \int_{T_0}^{T_1} dQ \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) = Q - T_0 \cdot S, \quad (76)$$

где индекс «0» означает состояние системы в условиях окружающей среды;

Q – количество тепла;

S – энтропия системы.

При $P = \text{const}$

$$E = (H - T_0) - T_0 \cdot (S - S_0), \quad (77)$$

где H – энтальпия системы.

Для объективной оценки степени совершенства химического производства необходимо рассчитать эксергетический коэффициент полезного действия (КПД) $\eta_э$:

$$\eta_э = \sum \frac{E_{\text{вх}}}{E_{\text{вых}}} = 1, \quad (78)$$

где $E_{\text{вх}}$ и $E_{\text{вых}}$ – соответственно сумма эксергий потоков, подведенных к системе и отведенных от системы.

В табл. 4 приведены КПД различных технологических систем.

Таблица 4

Эксергетические КПД некоторых систем

Технологические системы	КПД, %
1. Производство азотной кислоты	9,0
2. Производство серной кислоты	23,0
3. Производство винилхлорида	36,0
4. Производство формальдегида	49,0
5. Синтез стирола	55,0
6. Синтез аммиака	55,0
7. Синтез метанола	61,0
8. Синтез этилена	78,0

Из табличных данных видно, что термодинамическая эффективность технологических производств соединений различна и колеблется от 9,0 до 78 %.

Если правомерно сравнение с производством электроэнергии ($\eta_p = 40\%$), то напрашивается вывод, что такие производства, как синтез азотной и серной кислот, винилхлорида весьма несовершенны с позиции энергетики. Однако этот вывод необходимо подтвердить более детальным анализом, главной задачей которого является поиск причин энергетических потерь и рациональных способов их уменьшения. Для этого нужно распределить потери по стадиям производства.

В качестве примера рассмотрим производство циклогексана из бензола. На рис. 29 представлена принципиальная технологическая схема получения циклогексана из бензола.

Бензол гидрируют водородом в реакторе 1 под давлением и $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Горячая реакционная смесь охлаждается в конденсаторе 2 и разделяется в сепараторах 3 и 4. Непрореагировавший водород вновь возвращается в реактор 1 с помощью компрессора 5. Частично рециркулирует и жидкая фаза.

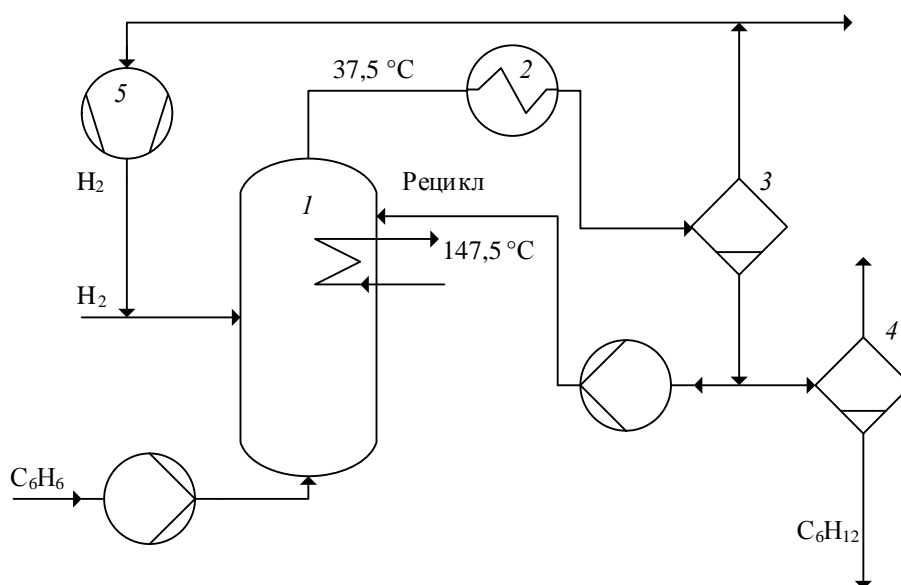


Рис. 29. Схема получения циклогексана из бензола:
 1 – реактор гидрирования; 2 – конденсатор; 3, 4 – сепараторы высокого и низкого давления; 5 – циркуляционный компрессор

В табл. 5 приведены результаты анализа термодинамической эффективности производства циклогексана из бензола.

Таблица 5
 Потери эксергии и значения КПД

Оборудование системы	Потери эксергии, %	η_z , %
1. Насос бензола	0,24	50,2
2. Циркуляционный насос	0,03	49,5
3. Компрессор	0,13	71,3
4. Смеситель и реактор	74,6	33,4
5. Конденсаторы	24,7	0,00
6. Сепаратор низкого давления	0,57	0,00
Итого	100	

Как следует из приведенных данных, основные потери от необратимости (~ 75 %) связаны с химической реакцией гидрирования бензола, остальные потери возникают в основном при разделении реакционной смеси. Эксергетический КПД (33,4 %) невелик. Низкие величины – невысокий КПД и большая доля потери реакции – объясняются тем, что реакция идет при низкой температуре, поэтому ее тепло используется частично и лишь для нагревания питательной воды котла до 150 °C (т. е. некавалифицированно). Кроме того, часть тепла вообще теряется, т. к.

отводится в конденсаторе при температуре, близкой к температуре окружающей среды, т. е. с нулевой эксергией.

Главный способ уменьшения потерь эксергии при экзотермической реакции в данном случае – это увеличение температуры реакции, т. е. проведение ее в условиях, противоположных требованиям, вытекающим из принципа Ле-Шателье для обратимых реакций.

В конкретных условиях повышение температуры ограничено не только снижением выхода продукта, а следовательно и увеличением расхода энергии на циркуляцию и разделение смеси, но и уменьшением селективности процесса, увеличением скорости протекания побочных реакций, а также другими факторами.

Если же возможность увеличения температуры существует, то для более рационального использования тепла реакции (т. е. при более высокой температуре) целесообразно подогревать отходящим потоком исходные продукты, а не вводить их непосредственно в реактор (как это показано на рис. 29). Очевидно, снятие некоторых ограничений возможно лишь при разработке новой технологии с учетом указанных требований энергетики.

В заключение заметим, что для процессов с заданными физико-химическими свойствами веществ существуют три группы методов уменьшения энергетических:

- методы, связанные с увеличением поверхности аппаратов, времени протекания реакции, применением более активных катализаторов и т. д.;
- методы, основанные на изменении технологического режима и не связанные с изменением технологической схемы. Применение этих методов может быть связано с увеличением габаритов аппаратов;
- методы, требующие наряду с приемами, изложенными выше, также изменения технологической схемы.

4.2. Регенерация теплоты

В случае когда нужно вещества подогреть на каком-то этапе процесса, то для этой цели можно использовать теплоту горючих веществ тремя способами:

- непосредственным теплообменом (т. е. теплоотдачей соприкосновением);
- через теплообменную поверхность (теплопередача);
- с помощью тепловых агентов.

Первый из названных способов используется в тех случаях, когда вещества (горячие и холодные) разделяются, т. е. находятся в разных фазах. С такими системами имеют дело при работе непрерывно-

действующих печей (рис. 30). Твердый материал, загруженный в печь, подогревается уходящими дымовыми газами или газообразными продуктами реакции, а воздух, необходимый для сжигания топлива, или газовые реагенты, движущиеся в зону реакции, отбирают теплоту от материала, сгоревшего в печи. Примеров использования побочных систем очень много (рис. 30).

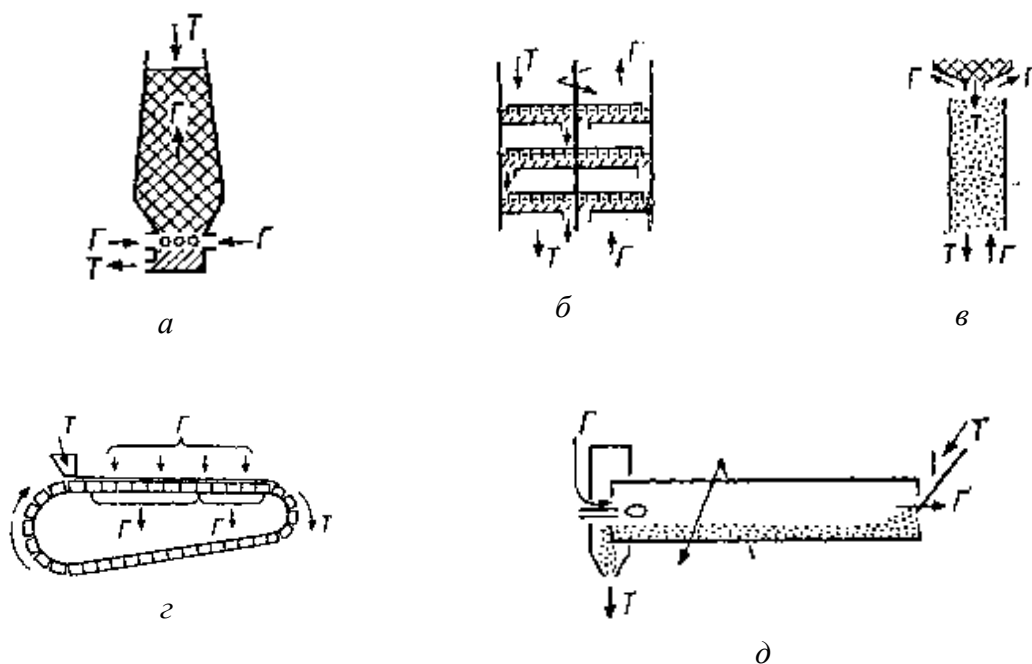


Рис. 30. Типы промышленных печей с прямым теплообменом:

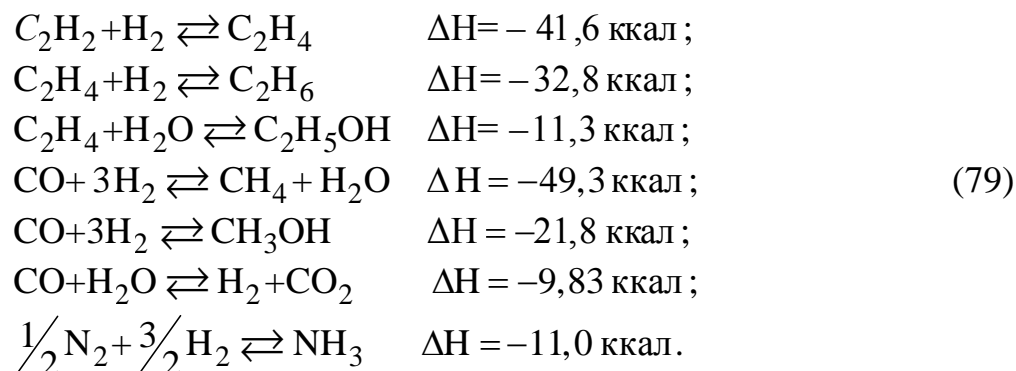
а – печь с движущимся слоем твердой фазы; *б* – полочная печь;

в – печь с кипящим слоем; *г* – аппарат Дуайт-Ллойда;

д – вращающаяся печь (*T* – твердая фаза, *Г* – газовая фаза)

В том случае, когда невозможно использовать теплоотдачу соприкосновением (например, две смешивающиеся жидкости, вещества, вступающие в химическую реакцию), тогда регенерация теплоты проводится с помощью теплопередачи через поверхность разделительной стенки. Применяется также тепловой агент, имеющий большую тепловую емкость и находящийся в ином агрегатном состоянии, чем нагретое и холодное вещества.

Можно привести несколько примеров использования теплопередачи для регенерации теплоты при проведении важных промышленных реакций, описываемых уравнениями:



На рис. 31 представлены схемы различных типов аппаратов для проведения этих реакций.

Иногда теплопередача соприкосновением и теплопередача через стенку невозможна. В этих случаях применяют твердые тепловые агенты. На их использовании основана работа тепловых регенераторов. Сначала горячие газы нагревают массу твердого заполнения камеры регенератора, а на следующем этапе цикла заполнение отдает аккумулированную теплоту газам, которые необходимо нагреть.

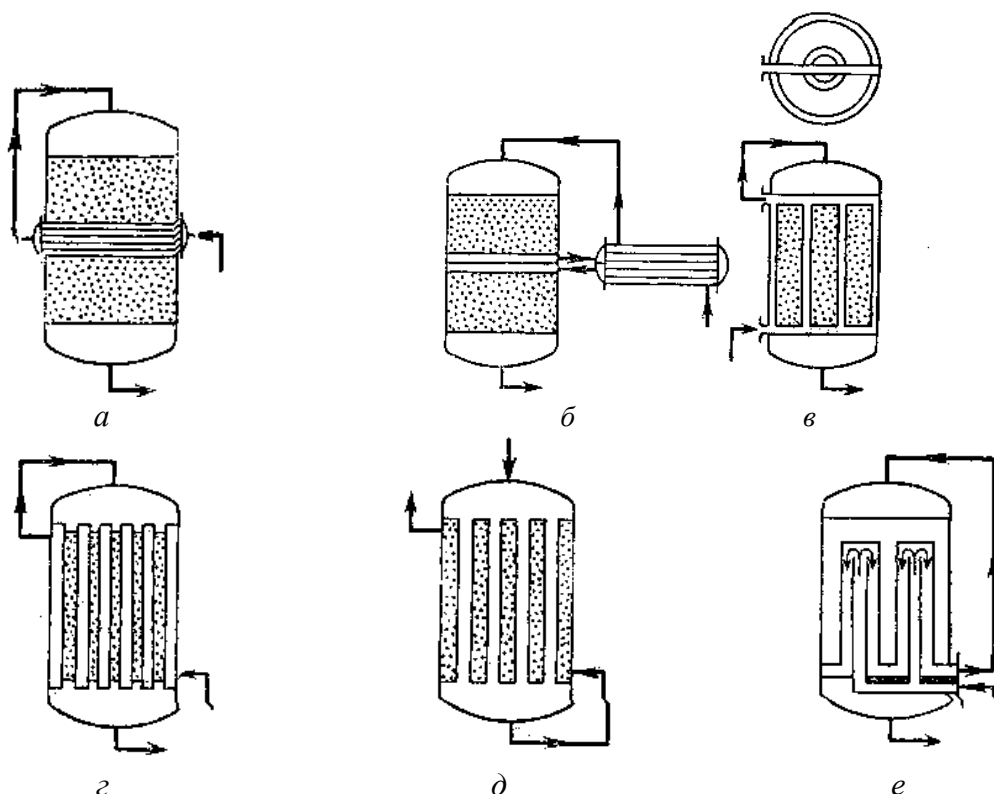


Рис. 31. Способы теплообмена в реакторах с неподвижным слоем катализатора:

a – внутренний теплообменник; *б* – внешний теплообменник; *в* – кольцеобразные охлаждающие пространства; *г* – трубки, заполненные катализатором; *д* – межтрубное пространство, заполненное катализатором; *е* – сдвоенные трубки («труба в трубе»)

Регенерацию теплоты можно проводить непрерывным способом, когда в качестве теплового агента применяется, например, твердый материал небольшого зёрнения, жидкость или даже газ, движущиеся в системе и поглощающие периодически теплоту горячего носителя, а затем отдающие ее материалу, который нужно нагреть. На рис. 32 показана схема регенерации теплоты с помощью движущихся твердых гранул.

Такая установка может применяться для нагревания воздуха, водорода, метана и других газообразных веществ в различных промышленных процессах.

Гранулы с диаметром $8\div 15$ мм нагреваются в верхней камере 2 при непосредственном соприкосновении (прямой теплообмен) с отдающим теплоту носителем, которым может быть любой газ с высокой температурой (например, продукты сгорания). После перемещения в нижнюю камеру 3 гранулы отдают теплоту газам, которые нужно нагреть. Подъемником гранулы транспортируются снова на верх камеры 2.

Гранулы – это смесь 85 % Al_2O_3 и 15 % каолина.

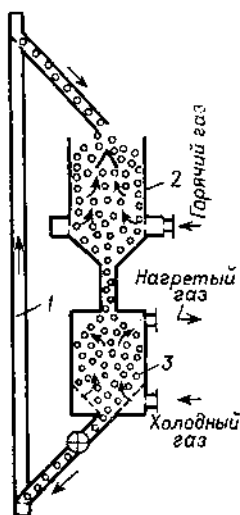
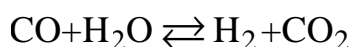


Рис. 32. Схема регенерации теплоты с помощью движущихся твердых гранул:
1 – подъемник; 2 – камера нагрева гранул;
3 – камера охлаждения гранул

Следует заметить, что жидкость также может служить тепловым агентом в непрерывных процессах теплообмена. Например, вода используется для этой цели в реакции



Реакция проходит при $450\div 500$ °С на катализаторе $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$.

Схема установки показана на рис. 33.

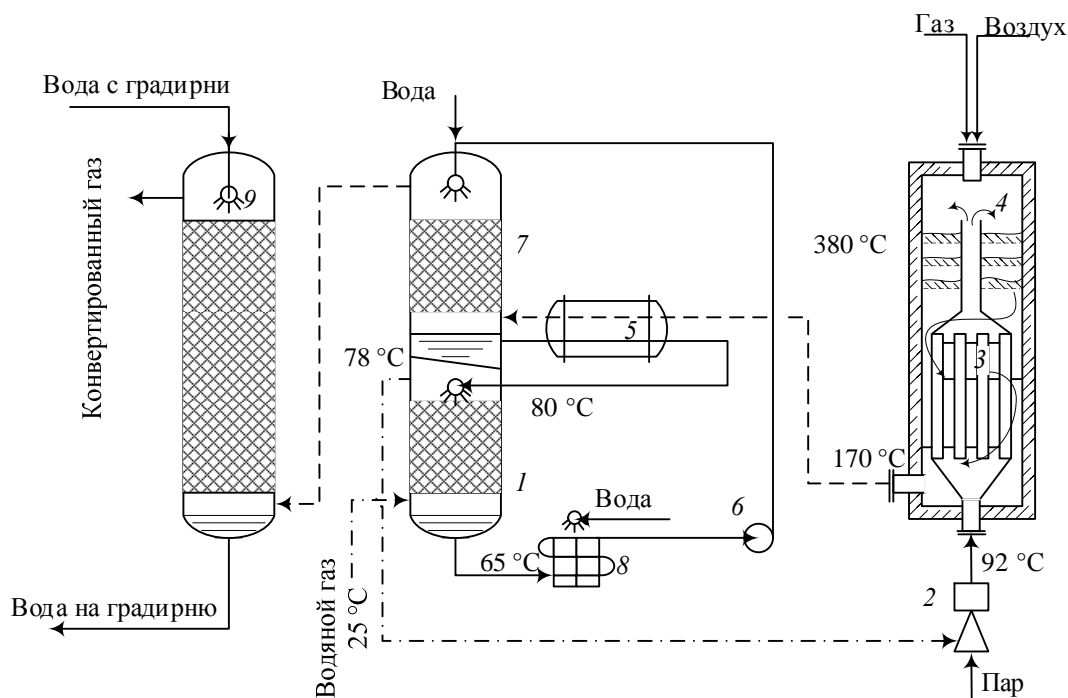


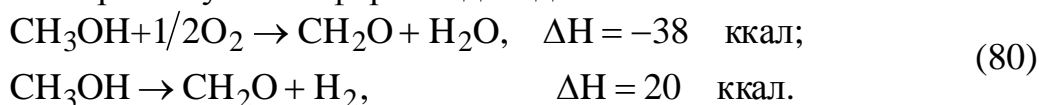
Рис. 33. Схема процесса конверсии оксида углерода:

1 – сатуратор (насыщение газа водяным паром); 2 – паровой инжектор; 3 – теплообменник; 4 – реактор; 5 – теплообменник (подогреватель воды); 6 – насос; 7 – предварительный холодильник газа (нагревание воды); 8 – оросительный холодильник; 9 – конечный холодильник газа

Тепловой баланс в данном случае показал, что при использовании поверхностного теплообмена подогревается вода 5 и при достигнутой в скруббере разнице температур в 2 °C между нагревающимся и охлаждающимся газами в систему возвращается 45,8 %, а с паром (инжектор 2) поступает 54,2 % общего количества теплоты.

4.3. Другие приемы экономии теплоты

Когда в каком-либо процессе необходимо проводить реакцию с большим тепловым эффектом, выгодно объединить ее в одном аппарате с другой реакцией, имеющей значительный обратный тепловой эффект, и тогда теплообмен проходит без потерь. Подобный случай имеет место при получении формальдегида:



Теплота, выделяющаяся в первой реакции, используется во второй, а остальное количество расходуется при сгорании водорода.

Таким образом, одним из способов оценки степени термодинамического совершенства процесса является эксергетический метод. Этот метод позволяет выявить не только общие потери эксергии, но и определить источник потерь.

Концепция полного использования энергетических ресурсов направлена на минимизацию энергетических и тепловых затрат, на полное использование их в процессе.

Тепловую энергию потоков в химических производствах можно использовать, вырабатывая, например, пар в котлах-утилизаторах.

Заключение

В химических производствах применяют следующие виды энергии – тепловую, электрическую, световую и др. Почти половина тепловой энергии на химических предприятиях расходуется на получение таких энергоемких соединений, как химические волокна (10,5 %), аммиак (9,5 %), полимеры (8,2 %), каустическая сода (4,7 %), капролактамы (3,5 %), карбамид (3,5 %), метанол (2,5 %).

В общем расходе топливно-энергетических ресурсов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях на долю органического топлива (природный газ, мазут, горючие отходы) приходится 45 %, тепловой энергии – 40 % и электрической энергии – 15 %.

Следовательно, концепция полного использования энергетических ресурсов направлена на минимизацию энергетических и тепловых затрат, на полное использование их в процессе.

Раздел III

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Соединение химической идеи с инженерным поиском в условиях, диктуемых технологическими, экономическими, экологическими факторами, и является истинной сутью проектирования. Созданию реально действующего безотходного производства (БОП) предшествует его «строительство» на бумаге в форме проекта.

Таким образом, проектирование БОП – это процесс переработки исходной информации, полученной в результате экспериментов, в конечную информацию, необходимую для создания (строительства и монтажа) промышленного объекта. В итоге получают проектно-сметную документацию (ПСД) или проект, представляющий собой комплект чертежей и текстовых материалов, которые описывают и изображают с минимально необходимой степенью детализации будущий объект в целом и его составные части. Содержание и объем ПСД строго регламентированы Госстроем РФ в «инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» (СНиП 11.01.95).

В процессе проектирования БОП прорабатываются следующие части общего проекта:

- технология производства и аппаратурное оформление;
- автоматизация и механизация;
- строительная и сантехническая части;
- водоснабжение и водоотведение;
- генеральный план;
- сметная и технико-экономическая документация и др.

Определяющей частью ПСД химического предприятия является механико-техническая часть, разработка которой включает:

- выбор метода производства, отвечающего экологическим требованиям;
- создание принципиальной и монтажно-технической схемы БОП;
- выбор, расчет необходимого технологического оборудования и его рациональное размещение;
- обеспечение высокой степени механизации и автоматизации всех операций процесса.

По мере решения этих вопросов переходят к остальным частям ПСД (проекта):

- архитектурно-строительной;
- энергетической;
- контроля и автоматики;
- внешних сетей и коммуникаций и т. д.

Таким образом, в процессе проектирования решаются многие вопросы, но нас в контексте раздела III интересует именно технологическое проектирование, т. е. та сердцевина, ради которой и вокруг которой создается то сложное и подчас весьма крупное инженерное сооружение, каким является современное химическое производство.

Для того чтобы подробнее разобраться в существе вопросов, рассмотрим кратко обычный путь разработки технологического процесса.

Глава 1. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЕЗОТХОДНОГО ПРОЦЕССА

1.1. Этапы проектирования

Эмпирически сложившаяся методология создания технологических процессов включает последовательное выполнение работ на различных этапах. Так, разработка начинается с поисковых исследований, проходит этапы лабораторных исследований, проектирования и конструирования одной или нескольких пилотных установок, их эксплуатации и получения исходных данных для проектирования БОП, проектирования, пуска и освоения промышленного химического процесса.

Объем исследований на каждой стадии может быть весьма различным, в зависимости от множества конкретных факторов. Цель лабораторных исследований обычно заключается в том, что сначала нужно получить образцы материала для первичного исследования свойств.

Если первичные исследования дали положительный результат, то проводятся более систематические исследования в лабораторном масштабе с целью определения оптимальных условий проведения синтеза.

Фактически это и есть исследование кинетики процесса, хотя полная обработка экспериментальных данных проводится не всегда. Именно на этой стадии возникают принципиальные вопросы:

- В каком объеме проводить лабораторные исследования?
- Достаточно ли формально-кинетического анализа или необходимо изучение детального механизма?

- Сколько времени нужно затратить на проведение эксперимента?
- Как выбрать наилучшее фазовое состояние реагентов?

Независимо от этого или параллельно этому исследованию осваивается производство опытных партий продукта для проведения широких исследований его структуры и свойств.

На этой стадии обычно решающее значение имеет выбор конструкции основного аппарата, которая впоследствии будет модернизироваться.

В объем исследований на пилотной установке обычно входит изучение воспроизводимости результатов, устойчивости и регулирования процесса, анализ материального и теплового балансов, которые являются основными исходными данными для проектирования.

Разработка режимов синтеза химических веществ тесно связана с разработкой оборудования. Важнейшим аппаратом в БОП синтеза веществ является реактор. Его разработкой занимаются две группы:

- технологическая;
- инженерного оформления процесса.

Идея будущего реактора никогда не возникает на пустом месте.

Лабораторный отчет дает материал для размышления, лабораторный реактор – первый прототип промышленного аппарата. Кроме того, технолог вооружен инженерным опытом, знаком с типовыми конструкциями реакторов для различных химических процессов.

После того, как конструкция реактора обоснована и продуманы условия его эксплуатации, можно разрабатывать техническое задание конструкторам. Полученная информация поступает на следующий этап – проектирование БОП.

1.2. Организация проектирования БОП

Проектирование БОП осуществляется проектными организациями (Пластполимер, ВНИИНП, ГИАП и др.) по заданиям заказчиков. Последний готовит, согласует и выдает проектировщику утвержденное задание на проектирование. На основе ПСД строительно-монтажные организации осуществляют строительство промышленного объекта.

В проектировании химических производств ведущая роль принадлежит инженеру-технологу. Он разрабатывает технологическую схему БОП, выбирает оборудование, рассчитывает материальные потоки и т. п., выдает задание специалистам на разработку общеинженерных разделов проекта (строительный, электротехнический и т. п.). Техническим руководителем ПСД в период ее разработки и реализации является главный инженер.

Основанием для начала работы над ПСД или проектом является задание на проектирование, в котором указываются все основные моменты, определяющие место строительства и характерные особенности проектируемого химического объекта; мощность и вид выпускаемой продукции; условие снабжения сырьем и энергетическими ресурсами; метод производства; обеспечение основным оборудованием; направления использования отходов и т. д. В задании на проектирование приводятся основные технико-экономические показатели будущего химического производства:

- уровень себестоимости продукции и производительности труда;
- лимиты капитальных вложений, сроки их окупаемости и др.

Первая стадия проектных работ может быть названа предпроектной разработкой. Такая предпроектная проработка, выполненная инженерами-проектировщиками, позволяет оценить правильность выбора метода производства, доступность и качество сырья, основные характеристики и конструктивные особенности машин и аппаратов и т. д. Все эти вопросы разрабатываются в разделе «технико-экономическое обоснование» (ТЭО).

1.3. Предпроектная разработка безотходных производств

Методология создания и проектирования безотходных химических производств включает последовательное выполнение работ на различных этапах:

- предпроектная разработка безотходных технологий;
- выполнение рабочего проекта.

Предпроектная разработка безотходных производств химических продуктов включает в себя:

- экологическое обоснование инвестиционных химических проектов;
- технико-экономическое обоснование проектных решений.

Экологическое обоснование проекта химического производства – этап проектирования, в ходе которого на основе экспериментальных и прогнозных построений доказывается, что неблагоприятные экологические последствия при реализации проекта не превысят существующих экологических норм или что проект соответствует экологическим требованиям, указанным в нормативных государственных документах.

Нормативной основой экологического обоснования хозяйственной и иной деятельности в России служат:

- инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности (утверждена приказом Минприроды России от 29.12.1995 г. № 539);

- положение об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ (утверждена приказом Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 г. № 377);

- санитарные нормы и правила (СНиП 11-02–96, СН 245–71, СанНиП 42-128-4960–88 и др.).

На основе утвержденного «Обоснования инвестиций» разрабатывается технико-экономическое обоснование строительства (ТЭО). Его задачи – детализация решений, отраженных в обосновании инвестиций, и уточнения основных технико-экономических показателей намечаемой деятельности.

1.4. Экологическое проектное обоснование

В инвестиционном проекте любого химического производства прежде всего обосновывается его экологическая и экономическая целесообразность, объем и сроки осуществления капитальных вложений, проектно-сметная документация, отвечающая соответствующим нормам и правилам проектирования промышленных объектов. На рис. 34 представлена процедура экологического обоснования инвестиционных проектов.

Экологическая экспертиза технологий химических веществ – это оценка малоотходности производства в сравнении с выработанными нормативами или имеющимися лучшими образцами. При этом определяется степень экономичности и экологической опасности способа производства и технологических переделов, выхода технологии в окружающую среду и т. д.

Методы экологической оценки технологии следующие:

- материальные балансы и технологические расчеты;
- технологическая альтернатива;
- прогнозирование технологического риска;
- оценка экологической опасности технологии;
- регистрация экологических последствий технологии производства химического продукта.

Метод материальных балансов и технологических расчетов позволяет выявить источники выбросов и сбросов химических продуктов, дать количественную оценку техногенных потоков в окружающую среду, выявить качественный состав и агрегатное состояние загрязнителей и в целом все каналы взаимосвязи в системе «технология – окружающая среда».

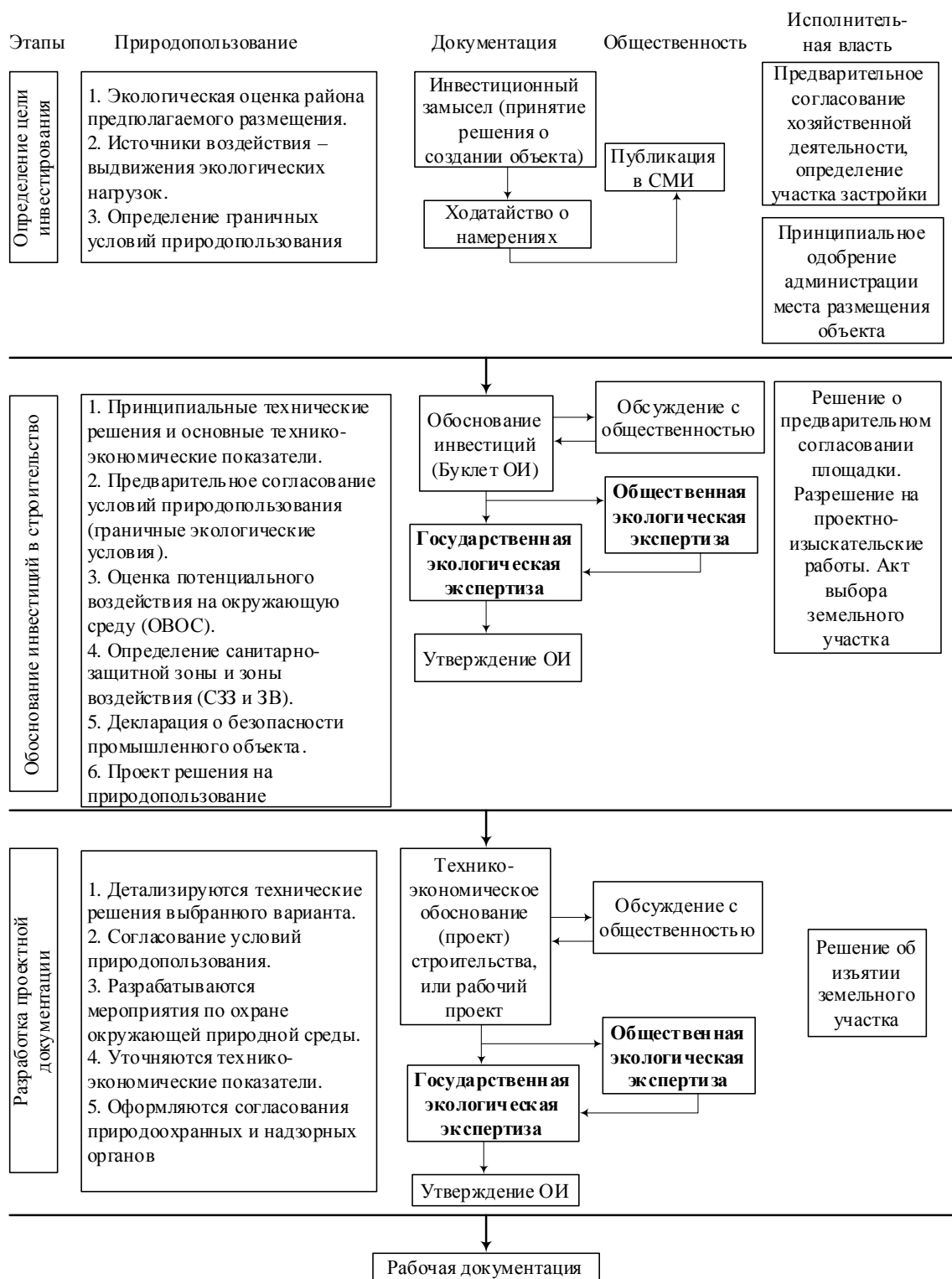


Рис. 34. Процедура экологического обоснования инвестиционных проектов химических производств

В свою очередь, метод технологической альтернативы предполагает анализ и оценку технологии по отношению к существующим технологическим аналогам химических производств с заданной экологичностью. Он позволяет сравнивать проектируемую технологию с экологически безопасными аналогами.

Методы прогнозирования технологического риска предусматривают системный анализ и прогнозирование возможных аварийных ситуаций, а также оценку технологического риска и аварийности при нормальной эксплуатации.

С позиции системного анализа методы регистрации экологических последствий технологий производства включают в себя анализ связей промышленной технологии химических веществ с окружающей средой, а также анализ каналов связей и оценку их экологичности.

1.5. Этапы проведения экологической экспертизы

Процедура проведения экологической экспертизы включает в себя следующие этапы:

- Формирование целей и задач экспертизы.
- Оценка источников и направления негативного воздействия химической продукции на окружающую среду и потребление природных ресурсов.
- Определение соответствия экологических характеристик проектируемой продукции, технологии, техники действующим нормам и правилам.
- Сравнительный эколого-экономический анализ и оценка проектируемого и базового варианта.
- Оценка полноты и эффективности мероприятий по предупреждению возможных аварийных ситуаций и ликвидация их возможных последствий.
- Оценка полноты, достоверности и научной обоснованности прогнозов возможного влияния новой продукции, техники и технологии химических соединений на состояние окружающей среды и использование природных ресурсов.
- Оценка выбора средств и методов контроля воздействия химической продукции на состояние окружающей среды и использование природных ресурсов.
- Экологическая оценка способа утилизации или ликвидации новой химической продукции после отработки ресурса.

Завершается экспертиза выдачей заключения ведомственной комиссии с рекомендациями об экологической целесообразности разра-

ботки и внедрения данной химической продукции, либо необходимости ее замены, или дальнейшего совершенствования технологии производства.

Существует три вида экспертных показателей:

- техногенные;
- эколого-техногенные;
- эколого-экономические.

Техногенные характеристики содержат расчетные укрупненные материальные и энергетические балансы, включающие потоки твердых отходов, выбросов и сбросов с определением по массе и объему, по классам опасности, степени токсичности, биостойкости, взрывоопасности. Все эти характеристики оцениваются и сравниваются с нормативными параметрами.

Эколого-техногенные характеристики включают:

- принципы и схемы малоотходных и безотходных ресурсо- и энергосберегающих технологических решений;
- характеристики систем очистки выбросов и сбросов;
- способы утилизации и переработки отходов химических производств;
- расчет возможных аварийных ситуаций, сопровождающихся выбросами и сбросами вредных веществ с учетом времени, массы и объема;
- способы и схемы ликвидации аварийных ситуаций и их последствия.

В эту экспертизу также включают расчетные удельные величины объемов отходов, выбросов, сбросов вредных веществ и их концентрации, а также величины материало-, энергоемкости, потребления топлива на единицу пробега и т. д.

Эколого-экономические характеристики включают:

- расчетные затраты на экологические мероприятия при разработке и эксплуатации новой технологии, оборудования и сравнение их с экологическим ущербом от техногенных воздействий;
- расчетные ценообразующие характеристики новой техники и оборудования с учетом экологических составляющих;
- расчетные удельные величины ущерба на единицу выброса (концентрации);
- расчетные платежи на единицу ущерба и сравнение их с нормативными параметрами.

1.6. Принципы экологической экспертизы

На рис. 35 представлены принципы государственной экологической экспертизы.



Рис. 35. Принципы экологической экспертизы

Принцип презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности предусматривает, что любой вид хозяйственной деятельности может повлечь неприятные экологические последствия для окружающей среды. Поэтому обязанность заказчика проекта – дать его экологическое обоснование и доказать экологическую безопасность будущего производства химических веществ. При этом необходимо спрогнозировать, с одной стороны, воздействие химического объекта на окружающую среду, с другой стороны, – обосновать допустимость такого воздействия и предусмотреть в этой связи необходимые природоохранные меры.

Принцип *обязательности проведения государственной экологической экспертизы* до принятия реализации объекта устанавливает:

- не противоречит ли намеченная деятельность экологическому законодательству РФ или субъектов РФ;
- соответствует ли намечаемая химическая деятельность требованиям нормативных актов по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов;

- достаточно ли полно произведена оценка воздействия намечаемой деятельности объекта на окружающую среду;
- допустима ли намечаемая деятельность объекта химического производства с точки зрения безопасности окружающей среды и населения;
- достаточны ли предусмотренные проектом меры по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Основной вопрос, на который должна ответить государственная экспертиза, – это возможность реализации проекта (рекомендовать или не рекомендовать проект к реализации, отправить проект на доработку и т. д.).

Заказчик обязан провести государственную экспертизу проекта до начала его деятельности.

Принцип *комплексности* оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной или иной деятельности и ее последствий означает, что заказчик и проектировщик-оценщик готовят «материалы по оценке воздействия», в которых определяются воздействие, его масштаб, область распространения, изменения в окружающей среде и т. д., включая отдаленные последствия реализации проекта.

Принцип *обязательности учета требований экологической безопасности* при проведении экспертизы предусматривает обязанность участников эколого-экспертного процесса соблюдать правовые, экологические требования проектирования, размещения, строительства, эксплуатации химических объектов экспертизы; выявлять несоблюдение нормативов качества окружающей среды в случае реализации проекта.

Под качеством окружающей среды понимают степень соответствия природных условий потребностям людей или других живых организмов. И в качестве критериев принимают высокую биологическую продуктивность популяций, оптимальное соотношение видов и биомассы популяций, находящихся на разных трофических уровнях, и др.

Принцип достоверности и полноты информации, представляемой на экологическую экспертизу, обязывает заказчика проекта химического производства обеспечить представление на государственную экспертизу достоверной и полной информации об объекте экспертизы, оценки его воздействия на окружающую среду, информации о современной экологической ситуации в регионе, о реализации проекта и т. д. Полной считается информация, которая передается органам экспертизы в соответствии с требованиями, которые предъявляются к комплектованию проектной документации.

Принцип независимости экологической экспертизы при осуществлении своих полномочий в области экологической экспертизы означает,

что никто не вправе вмешиваться в работу эксперта, выполняемую в соответствии с требованиями законодательства об экологической экспертизе, техническое задание на проведение экологической экспертизы и задачи, поставленные перед экспертом руководителем экспертной комиссии или руководителем группы. Оказываемое давление на эксперта в любых формах является противоправным действием.

Принцип научной обоснованности, объективности и законности заключения экологической экспертизы означает, что содержащиеся в заключении суждения и выводы должны быть научно аргументированными. Критериями при этом могут служить не только научные утверждения, ссылки на труды авторитетных ученых, но главным образом положения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования.

Эксперты и экспертные комиссии должны руководствоваться соображениями научной обоснованности, объективности и законности выводов, предусмотренных законодательством об охране окружающей среды.

Принцип *гласности*, участия общественных организаций, учета общественного мнения устанавливает обязанность субъектов эколого-экспертного процесса выполнить требования законодательства относительно информирования заинтересованных сторон о проводимой экологической экспертизе, участия общественных организаций, учета общественного мнения. Кстати, невыполнение этого принципа считается правонарушением и основанием для привлечения виновных лиц к ответственности.

Принцип *ответственности участников экологической экспертизы* и заинтересованных лиц за организацию, проведение, качество экологической экспертизы означает, что в случае невыполнения ими требований организации и проведения экспертизы они будут нести ответственность, предусмотренную действующим законодательством России. Экспертная комиссия проводится приказом министра природных ресурсов.

Заключение экспертной комиссии утверждается приказом министра природных ресурсов и приобретает статус государственного документа государственной экологической экспертизы (ГЭЭ), в котором также определен срок действия решений. Положительное заключение ГЭЭ является одним из обязательных условий начала финансирования проекта химического производства.

Кроме ГЭЭ, все большее значение стала приобретать общественная экологическая экспертиза двух видов:

- общественная экспертиза стихийно организовавшихся разных социальных слоев населения, проживающего преимущественно в одном регионе или городе;

- общественная экспертиза, организованная исполнительной властью по инициативе отдельных граждан и общественных организаций с привлечением профессионалов.

Однако решения таких общественных экспертиз носят обычно рекомендательный характер.

1.7. Технико-экономическое обоснование инвестиционного химического проекта

При проектировании любых химических производств важнейшим документом является технико-экономическое обоснование проекта. Главной задачей ТЭО является обоснование экологической, экономической целесообразности и технической необходимости создания объекта производства химической продукции.

1. Исходные положения.

Исходным положением для разработки ТЭО являются:

- стратегия развития производств химических продуктов;
- характеристика роли данного предприятия в обеспечении роста мощностей и покрытия потребностей в продукции, намечаемой к выпуску.

2. Обоснование потребности в химической продукции предприятия.

При разработке этого раздела ТЭО указывают следующие моменты:

- ассортимент и качество продукции;
- текущие и перспективные балансы производства и потребления химических продуктов по основным потребителям и экономическим районам России, регионы потребления продукции данного предприятия;
- анализ технических возможностей и экономической целесообразности покрытия дефицита данного вида продукции за счет реконструкции или расширения действующего производства.

3. Выбор строительной площадки для объекта.

При выборе площадки для строительства, например цеха производства химической продукции, следует учитывать следующие факторы:

- достаточность размеров площадки и возможность ее расширения;
- удобство конфигурации участка;
- топографические условия участка и прилегающей местности;
- удобное расположение источника воды, места сброса сточных вод, источника энергии и т. д.

4. Основные технологические решения в проектах.

Основу проекта составляют технологические решения, содержащие следующие данные:

- расчетную производственную программу;
- краткую характеристику и обоснование решений по технологии производства химического продукта, его трудоемкости, механизации и автоматизации;
- сравнение технологии с передовыми техническими решениями отечественной и зарубежной практики;
- состав и оценку новизны выбранного оборудования;
- данные о трудоемкости изготовления продукции;
- энергетические и материальные балансы;
- мероприятия по охране окружающей среды с учетом всех отходов производства и решений о максимально полном их использовании;
- основные строительные решения по наиболее крупным и сложным задачам и т. д.

5. Экономика строительства предприятия и производства химической продукции.

Экономическая целесообразность проектируемого объекта базируется на следующих показателях:

- удельные капитальные вложения;
- приведенные затраты;
- сопряженные капитальные затраты;
- удельные энергозатраты;
- себестоимость химической продукции;
- затраты на охрану окружающей среды;
- удельные расходы сырья и полуфабрикатов и т. д.

Таким образом, работа над составлением ТЭО начинается с того, что сначала приводятся соображения по поводу экономической целесообразности нового производства, обосновывается выбранная площадка для строительства объекта, рассчитываются показатели себестоимости продукции и производительности труда, затраты на охрану окружающей среды и т. д.

ТЭО является также исходным документом для выдачи задания на разработку новых видов оборудования и т. д. Составляют ТЭО инженеры-экономисты.

1.8. Выполнение рабочего проекта безотходного химического производства

После рассмотрения ТЭО министерством или ведомством, планирующим строительство БОП, и утверждения задания на проектирование начинается разработка ПСД, вернее, первой стадии проекта. Дело в том, что только сравнительно несложные и не крупные сооружения разрешается проектировать в одну стадию, т. е. выполнять сразу так называемый *рабочий проект*, который может быть непосредственно использован для строительства объекта.

Большинство же промышленных объектов, цехов, сооружений проектируют в две стадии:

- готовый проект;
- рабочая документация.

К проекту прилагается пояснительная записка, в которой приводятся все технологические расчеты, полный материальный баланс получения готовой химической продукции и переработки отходов, принципиальные технологические схемы по всем стадиям технологического процесса, трубопроводов, а также место установки и принцип действия контрольно-измерительных приборов.

В записке дается полное и подробное описание работы технологических схем, а также характеристика основных решений по механизации и автоматизации технологического процесса.

В проекте рассчитывается и выбирается все технологическое оборудование, приборы, средства автоматизации и механизации. На основании технологических схем и спецификации подобранного оборудования в проекте прорабатывают его рациональное размещение в цехе.

В дальнейшем, на стадии разработки рабочей документации, принятые и проработанные в проекте решения будут воплощены в рабочие чертежи, и в этом виде их передают на стройку для производства строительных и монтажных работ.

Как технологические, так и строительные решения проекта иллюстрируются графическими материалами. Основными чертежами являются:

- принципиальные схемы технологических процессов и механизации производства, совмещенные с решением по их автоматизации;
- технологическая компоновка по цехам с размещением основного оборудования и транспортных средств;
- схемы функциональной и организационной структуры;
- принципиальные схемы электроснабжения;
- схемы трасс тепловых сетей;

- принципиальные схемы организации связи и сигнализации;
- планы, разрезы и фасады зданий и сооружений;
- схема генерального плана с нанесенными существующими проектируемыми зданиями и сооружениями и т. д.

Помимо рабочих чертежей рабочая документация содержит сметы, составляемые по рабочим чертежам, и спецификации на оборудование с опросными листами, а также сводные ведомости потребности материалов.

В рабочей документации содержится детальная разработка, доработка, конкретизация принципиальных технологических, архитектурно-строительных и других решений, принятых в утвержденном проекте. Степень конкретизации определяется требованием государственных стандартов СПДС (система проектной документации для строительства).

В соответствии с этими требованиями должны разрабатываться следующие рабочие чертежи:

- чертежи, предназначенные для производства строительно-монтажных работ;
- чертежи (планы и разрезы) установки технологического и другого оборудования и связанных с ним коммуникаций;
- чертежи сооружений и устройств, связанных с охраной окружающей среды, труда и техникой безопасности;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых технологических устройств и конструкций, а также нестандартного оборудования в объеме, необходимом для разработки конструкторской документации.

В ПСД – «рабочем проекте» – практически вся та документация, которая была перечислена выше, при рассмотрении «проекта», должна иметься и в случае «рабочего проекта», т. к. она необходима для представления этого проекта на экспертизу и утверждение. Но одновременно в этом случае разрабатывают и рабочую документацию, которая сразу после утверждения рабочего проекта может быть использована для строительства объекта.

Проект проходит целый ряд согласований в самых различных инстанциях. Так, первое заключение должно быть получено от научно-исследовательской организации или предприятия-автора исходных данных, по которым велась разработка технологической части. Затем проект рассматривается генеральной подрядной строительной организацией, которая согласовывает проект организации строительства и дает заключение по конструктивным решениям проектируемых сооружений и по сводному сметному расчету.

Принятые в проекте решения по защите окружающей среды должны быть согласованы с органами, ответственными за проведение экологической экспертизы проекта.

По окончании экспертизы проекта (рабочего проекта) он утверждается ведомством, утвердившим задание на проектирование.

Утвержденный проект является основанием для планирования и финансирования строительства объекта, заказа основного оборудования, разработки рабочей документации и т. д.

Заключение

В настоящее время на стадии проектирования и строительства предприятий принимают меры, в основе которых заложен принцип – не борьба с последствиями загрязнений, а ликвидация причин этого неблагоприятного явления.

Необходимо изменять и совершенствовать технологические процессы с тем, чтобы комплексно и наиболее полно перерабатывать в процессе производства исходные материалы, сокращать тем самым объем отходов, переводить их в формы, наименее вредные для окружающей среды или легко поддающиеся вторичной переработке, т. е. необходимо создавать малоотходные и безотходные технологические процессы.

Безотходное производство – это такая форма организации технологического процесса, при которой отходы производства сведены к минимуму или полностью перерабатываются во вторичные материальные ресурсы.

Методология проектирования безотходных производств включает выполнение большого круга вопросов. Для вновь строящихся предприятий организация безотходных технологических процессов должна быть заложена на поисковой и предпроектной стадиях. Затем конкретизирована при проектировании и реализована в ходе строительно-монтажных работ.

Проектирование безотходных производств осуществляется в соответствии с «Инструкцией о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

Глава 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БОП

2.1. Общие положения

Создание технологической БОП или МОП является одним из важнейших этапов при разработке ПСД. При работе над схемой технологический проектировщик должен обеспечить:

- эффективное осуществление технологического процесса;
- возможность выработки необходимого ассортимента продуктов нужного качества при минимальных капитальных затратах;
- безусловное соблюдение норм содержания веществ в воздухе и в водных бассейнах;
- использование возможно более экономичных (с учетом соблюдения предыдущих условий) технологических схем очистки газов и жидкостей;
- безопасность и надежность эксплуатации.

Любое химическое производство, включая и БОП, – это совокупность процессов и операций, осуществляемых в машинах и аппаратах и предназначенных для переработки сырья путем химических превращений в необходимые продукты. Несмотря на многообразие продукции химических предприятий, для производства всего ассортимента достаточно сравнительно небольшого числа типов химических и физических процессов:

- химические процессы – хлорирование, гидратация, сульфирование, полимеризация и другие, осуществляемые в реакционных аппаратах различного типа;
- процессы массообмена – ректификация, перегонка, абсорбция, проводимые преимущественно в аппаратах колонного типа;
- гидромеханические процессы – отстаивание, центрифугирование, фильтрование, протекающие в различных отстойниках, центрифугах, фильтрах;
- процессы теплообмена – подогрев и охлаждение, проводимые в теплообменниках;
- механические процессы – измельчение, рассев, транспортирование жидких, газообразных и твердых материалов и пр.

Для осуществления этих процессов проектируются технологические узлы. *Технологическим узлом* называют аппараты или группы аппаратов с обвязочными трубопроводами и арматурой, в которых начинается и полностью заканчивается один из физических (химических) процессов, необходимых для получения целевого продукта.

Под *арматурой* следует понимать все механизмы и устройства, предназначенные для полного или частичного отключения отдельных участков трубопровода, предотвращения обратного тока жидкости или газа, а также опасного повышения давления (вентили, задвижки, краны и др.).

Последовательное изображение или описание процессов и соответствующих им аппаратов называется *технологической схемой*.

Таким образом, технологическая схема представляет собой совокупность ряда технологических узлов. Наиболее часто встречаются следующие технологические узлы: ректификационная колонна, насосы и компрессоры, трубчатая печь, теплообменник, реакторный блок и т. п.

Технологическая схема является главным документом, на основании которого осуществляется дальнейшее проектирование. Схема должна полностью отражать БОП, т. е. включать все его стадии, начиная с поступления сырья в цех и кончая упаковкой готовой продукции.

Разработка технологической схемы включает ряд этапов:

- анализ и обоснование выбранного метода производства;
- определение перечня технологических операций, намеченных к реализации в процессе, и составление вариантов принципиальных технологических схем;
- расчет материальных балансов процесса по стадиям;
- расчет и выбор технологического оборудования;
- проектирование обвязки оборудования трубопроводами и вычерчивание технологической схемы;
- разработка схем автоматизации БОП.

2.2. Выбор метода производства

В настоящее время задача анализа и обоснования выбранного метода производства облегчается тем, что метод производства рекомендуется технологическим регламентом или научно-исследовательскими данными, заменяющими регламент.

Выбор оптимального варианта БОП – ключевая проблема технологии.

Технологический процесс должен представлять собой строго определенную комбинацию вариантов. Однако их выбор на ранней стадии работ может привести к огромным потерям, если силы исследовательского коллектива будут направлены по неверному пути. Обычно для выбора наилучшего варианта проводится экспертная оценка группой ведущих специалистов, которые в своей работе руководствуются экономическими и технологическими критериями:

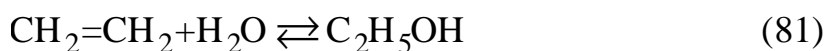
- технико-экономическими показателями метода;
- возможностью обеспечения сырьем, организации доставки продукта, сырья и вывоза готовой продукции;

- наличием оборудования для промышленной реализации метода;
- обеспечением заданной мощности и качества продукции;
- соблюдением вопросов экологии.

В случае альтернативных вариантов осуществления БОП (жидкофазного или газофазного) можно с уверенностью сказать, что большинство исследователей, которым поручена разработка БОП и которые имеют опыт создания производств, основанных на жидкофазной реакции, выскажутся за разработку жидкофазного процесса.

Если же газофазный вариант имеет явное преимущество, то в этом случае разработчики окажутся перед сложной дилеммой. Ведь для успешной разработки принципиально новой для них технологии потребуется значительно больше времени, т. к. необходимо изучение теории газофазного процесса, поиск консультантов, стажировка специалистов и т. п.

Сравним методы прямой и серноокислотной гидратации олефинов:



Прямая гидратация олефинов имеет ряд преимуществ перед серноокислотным методом:

- исключение расхода H_2SO_4 и минимальные потребности в других реагентах, кроме этилена и водяного пара;
- одностадийность процесса;
- более высокий выход спирта.

Для сравнения этих двух методов на примере синтеза этанола в табл. 6 приведены расходные коэффициенты (в т на 1 т $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Таблица 6

Расходные коэффициенты реагентов в т на 1 т $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Реагенты	Серноокислотная гидратация	Прямая гидратация
Этилен (100 % C_2H_4)	0,75	0,69
Серная кислота (100 % H_2SO_4)	1,15	—
Щелочь (100 % NaOH)	0,04	0,02
Фосфорная кислота (H_3PO_4)	—	0,006

Недостатками прямой гидратации являются частая замена катализатора и использование более дорогих концентрированных фракций олефина. По этим причинам в промышленности существует два метода, в России спирт получают прямой гидратацией, а изопропиловый – серноокислотным методом.

2.3. Составление принципиальной технологической схемы БОП

Выбрав метод производства продукта, технолог-проектировщик определяет перечень и назначение технологических стадий (операций) и их последовательность. Результаты изображают графически:

- отдельные стадии процесса обозначают в виде прямоугольника или круга;
- пути перемещения материалов – сплошными линиями.

Для новых сложных производств часто составляют блок-схему, на которой показывают основные технологические стадии. Выявляют технологические стадии, подлежащие усовершенствованию. После этого последовательность стадий (операций) производства изображают в виде принципиальной технологической схемы.

В качестве примера на рис. 36 показаны блок-схема и принципиальная технологическая схема синтеза аммиака.

Синтез NH_3 включает три стадии:

А: синтез NH_3 по реакции $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$.

Б: Выделение NH_3 .

В: Возврат непрореагировавших H_2 и N_2 в реактор (на стадию *А*).

На рис. 36, б показана несколько сокращенная технологическая схема синтеза аммиака. Смесь H_2 и N_2 поступает в реактор 1 через ряд аппаратов. Нагретая за счет теплоты экзотермической реакции прореагировавшая реакционная смесь охлаждается в трех теплообменниках – 2, 3 и 4. Окончательное охлаждение происходит в воздушном холодильнике 4. В охлажденном газе частично конденсируется аммиак, и его отделяют в аппарате 5. Жидкий NH_3 собирается в сборнике 6 как конечный продукт. Охлаждение до температуры окружающей среды недостаточно для полного выделения NH_3 , и газ из сепаратора 5 направляется в конденсационную колонну 8. В этой колонне газ охлаждается до $-(2\div 3)^\circ\text{C}$, так что в нем остается 3÷5 % NH_3 . Охлаждение осуществляют за счет испарения жидкого NH_3 в испарителе 9. Испаритель может быть совмещен конструктивно с конденсационной колонной 8. В ней же NH_3 отделяют от газа и направляют в сборник 6. Холодный газ затем подогревают в теплообменнике 3 и возвращают в колонну синтеза 1. Обеспечивают циркуляцию потока циркуляционным компрессором 7. Перед ним в циркулирующий реакционный газ добавляют свежую азот-водородную смесь.

На рис. 36, а пунктиром выделены элементы блок-схемы.

На технологической схеме обязательно показывают, откуда и как поступает в цех сырье, вспомогательные материалы, куда и каким способом удаляется готовая продукция, сбросы, выбросы и твердые отходы.

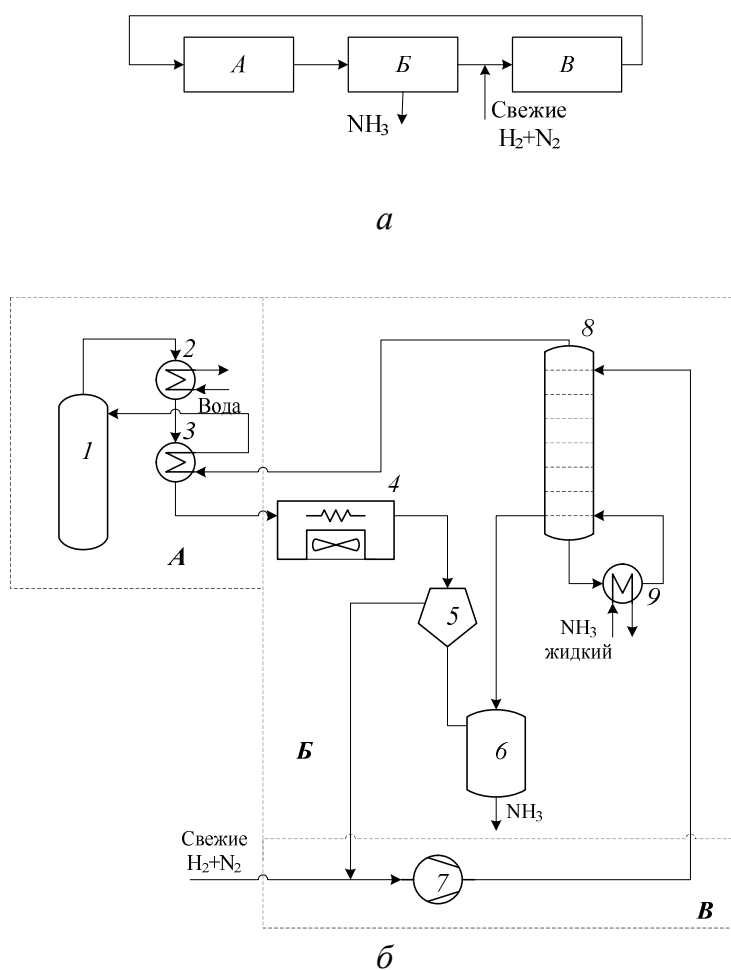


Рис. 36. Технологическая схема синтеза аммиака:

а – блок-схема: *А* – синтез NH_3 ; *Б* – выделение NH_3 ; *В* – компрессия и рециркуляция;
б – принципиальная технологическая схема синтеза аммиака: 1 – реактор синтеза NH_3

На технологическую схему наносят оборудование не только основных, но и вспомогательных операций, таких как дозировка и подготовка сырья, поглощение или очистка отходящих газов и т. п.

В процессе разработки технологической схемы проводят выбор типа оборудования, который уточняют при последующих расчетах и компоновке оборудования.

Автоматизация технологической схемы должна обеспечить контроль регулирования параметров процесса, сигнализацию о предельных значениях регулируемых параметров и, в случае необходимости, – блокировку и остановку агрегата в автоматических режимах.

Технологическая схема снабжается спецификацией оборудования, в котором содержатся следующие данные:

- номер аппарата на схеме и его наименование;
- основная характеристика аппарата (объем, размер и т. д.);
- основной материал для изготовления данного аппарата;
- номер чертежа аппарата.

Окончательная технологическая схема составляется после разработки всех разделов проекта и вычерчивается в соответствии с требованиями ЕСКД. После этого составляется описание технологической схемы. Вначале следует указать, какое сырье подается в цех, как оно поступает, где и как хранится в цехе, как дозируется и загружается в аппарат. При описании собственно технологических операций кратко сообщается о конструкции аппарата, способе его загрузки и выгрузке, указываются характеристики протекающего процесса и способ проведения (периодический или непрерывный), перечисляются основные параметры процесса, методы его контроля и регулирования, отходы и побочные продукты и способы их утилизации. В описании схемы должны быть перечислены все машины и аппараты, изображенные на чертежах схемы, с указанием присвоенных им по схеме номеров.

2.4. Общие способы разработки БОП

Главным направлением развития исследований в области производства химической продукции должно быть создание БОП.

Во-первых, БОП может быть создано, если вскрыты принципиальные недостатки традиционных технологических процессов. Пока существующий технологический процесс и его основные решения приняты в качестве эталонных, то можно лишь создавать усложненные и капиталоемкие системы очистки прежних стоков и выбросов. Оптимальные технологические процессы отличаются тем, что, в силу своеобразия принятых решений, в них не образуются выбросы и сбросы.

Во-вторых, БОП, как правило, отвечает тем же требованиям, что и оптимальные технологические процессы. Действительно, такой процесс должен отличаться высоким выходом продуктов, надежностью и стабильностью, также минимальными затратами на очистку отходов производства. Принципиальное отсутствие токсичных жидких, газообразных и твердых отходов – критерий совершенства любого технологического процесса.

Третьим условием создания БОП должно быть определение основных причин, противоречий, мешающих созданию технологически совершенного процесса. В производстве карбамида, например, это несовершенство конструкции реактора синтеза и процесс гранулирования в огромном объеме воздуха. В производстве полимеров – это съем тепла.

Четвертое условие – критическое отношение к кажущимся простым и легким решениям. По существу, традиционная очистка газов и сточных вод – простейшее решение, оно кажется самым доступным и решающим все проблемы. В действительности использованию очистки мешает решение глобальной задачи – разработка технологического процесса, в котором выбросов не будет или они будут утилизированы. Так, применение простых пустотелых или насадочных абсорберов позволяет избежать многочисленных трудностей, связанных с нарушением противотока, неизбежным использованием огромных плотностей орошения и значительным уменьшением полноты очистки газов при одновременном увеличении энергетических затрат.

Пятое условие заключается в поиске связей между различными узлами технологического процесса, установлении косвенных воздействий на отдаленные участки технологического процесса. Например, степень очистки CO_2 перед подачей его в реактор синтеза карбамида в итоге определяет потери аммиака при абсорбции его из отходящих газов конденсации.

Шестое правило: найдя удачное решение, следует оценить его комплексное воздействие на последующие узлы. Так, например, предварительная термическая обработка шихты перед коксованием не только улучшает качество кокса и повышает производительность коксовых печей, но и одновременно уменьшает в несколько раз объем токсичных сточных вод.

Анализ технологической схемы и определение решений, приводящих к созданию БОП, могут быть проведены с помощью следующего плана-графика (см. рис. 37):

При реконструкции и усовершенствовании действующих производств схема анализа аналогична, но более жесткие ограничения возможности изменения процесса требуют дополнительного исследования направлений модернизации (см. рис. 38).

Создание БОП является комплексной проблемой, как уже отмечалось выше, и определение экономической целесообразности подобных процессов взамен традиционной технологии отличается от обычных методов оценки экономичности технических решений.



Рис. 37. План-график анализа технологической схемы



Рис. 38. Блок-схема анализа технологического процесса

Заключение

Задача создания технологической схемы безотходного производства заключается в разработке комплекса взаимосвязанных процессов, обеспечивающих получение требуемых продуктов заданного качества при минимальной себестоимости. Технологическая схема является главным документом, на основании которого осуществляется дальнейшее проектирование.

Принципиальная технологическая схема дает общее представление о характере проектируемого БОП. На следующем этапе проектирования детально прорабатываются отдельные технологические узлы. Это один из важнейших моментов проектирования БОП, во многом определяющий технический уровень и качество всего проекта.

Глава 3. Выбор и расчет реакторов

Ключевым вопросом при разработке принципиальной технологической схемы БОП является тип реактора. Основанием для разработки проекта реактора служит задание соответствующего механико-технологического отдела. Задание состоит из эскиза общего вида аппарата и его краткой технической характеристики.

Исходными данными для разработки эскиза реактора служат:

- расчетный объем;
- рабочие температура и давление;
- физические и химические свойства среды (необходимо обязательно указать, являются ли они агрессивными по отношению к предполагаемому конструкционному материалу и т. п.);
- назначение реактора.

Разработка эскиза реактора состоит из следующих этапов:

- определение формы аппарата;
- выбор конструкционного материала;
- определение необходимого количества штуцеров и устройств для поддержания заданного режима;
- разработка вспомогательных устройств и деталей;
- оформление задания на разработку технического проекта реактора.

3.1. Определение формы реактора

В промышленной практике применяются реакторы самых разнообразных форм и конструкций. Однако по гидродинамической характеристике, определяющей в значительной степени режим процесса, реакторы делятся всего на несколько основных типов:

- реакторы периодического действия;
- реакторы непрерывного действия;
- реакторы смешения;
- реакторы вытеснения.

Реактор периодического действия (РПД)

Аппарат этого типа представляет собой обычно вертикальный цилиндр с выпуклым днищем, мешалкой и поверхностью теплообмена. В таком реакторе все отдельные стадии процесса протекают последовательно, в разное время. Основанием для выбора РПД могут быть:

- малый масштаб производства;
- специфические свойства реакционной смеси, затрудняющие непрерывный ее транспорт;
- малая скорость химической реакции.

Реактор вытеснения непрерывного действия (РВНД)

Прототипом такого реактора является труба, в которой движется реагент в смеси с образующимся продуктом. Реактор полного вытеснения характеризуется переменной концентрацией реагирующих веществ по длине аппарата, наибольшей разницей концентраций на входе и выходе из реактора и, следовательно, наибольшей средней движущей силой процесса.

Реактор полного смешения (РПС) обычно снабжен каким-либо перемешивающим устройством и характеризуется постоянством концентрации реагирующих веществ во всем объеме реактора в данный момент времени вследствие практически мгновенного смешения реагирующих веществ в реакционном объеме. Поэтому изменение концентрации реагирующих веществ на входе в реактор носит скачкообразный характер. Средняя движущая сила процесса в таком аппарате будет меньше, чем в аппарате полного вытеснения. Реакторы этого типа наиболее часто применяются для проведения таких процессов, как нитрование, сульфирование, полимеризация и др.

К основным достоинствам реакторов непрерывного действия в первую очередь можно отнести:

- высокую степень использования аппаратуры;
- возможность автоматизации технологического процесса;
- более стабильный режим реактора.

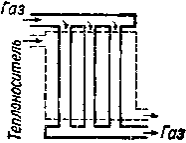
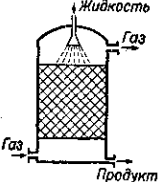
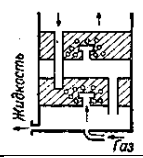
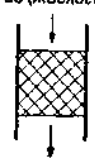
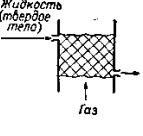

Указанные особенности таких реакторов облегчают создание высокопроизводительной аппаратуры и производственных схем большой мощности.


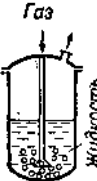

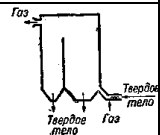
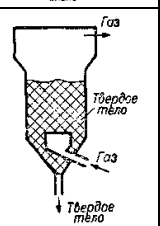
Выбор организационного принципа работы реакционной аппаратуры требует тщательного анализа всех особенностей каждого из сравниваемых вариантов в конкретных условиях.

В табл. 7 приведена классификация реакторов по конструктивным формам.

Таблица 7

Классификация реакционных аппаратов по конструктивным формам

Тип реактора	Конструктивная форма	Гидродинамический режим движения реагентов	Агрегатное состояние реагентов	Поверхность теплообмена			Пример технологического применения
				без поверхности теплообмена	с наружной поверхностью	с внутренней поверхностью	
1	2	3	4	5	6	7	8
Трубчатые		ПВ	Г	—	+	—	Крекинг бензинов, полимеризация этилена
		ПВ	Ж	—	+	—	Алкилирование низших парафинов
		ПВ	Ж–Ж	—	+	—	Гидролиз хлорбензола
Колонные		ПВ	Г–Ж	+	—	+	Окисление углеводородов
		ПВ	Г–Ж	+	—	—	Нейтрализация аммиака
		ПВ для газа, ПС для жидкости	Г–Ж	+	+	+	Окисление n-ксилола
		ПВ	Г–Ж	+	—	—	Получение сульфата аммония
		ПВ	Г–Ж	+	—	—	Дегидрогенизация этилбензола, пиролиз бутана
		ПВ	Г–Г/Т	—	+	—	Окисление этилена
		ПВ	Г–Т	+	—	—	Обжиг известняка
		ПВ	Ж–Т	+	—	—	Ионный обмен
		ПВ	Г–Т	+	—	—	Газификация твердых топлив
		ПВ для газа, ПС для твердой фазы	Г–Т	+	—	—	Обжиг пирита

1	2	3	4	5	6	7	8
Реакционная камера с перемешиванием		ПС	Ж	+	+	+	Диазотирование
		ПС	Г–Ж	+	+	+	Хлорирование производных этилена
		ПС	Ж–Ж	+	+	+	Сульфирование бензола
		ПС	Ж–Г	+	+	+	Получение суперфосфата
Печи			Г–Т	+	+	–	Окисление руд
			Г–Т	+	–	+	Обжиг пирита
			Ж–Т				Разложение карбида кальция водою в ацетилен
			Г–Г	+	–	+	Парциальное окисление углеводородов в олефин и диолефин

Примечание: ПВ – полное вытеснение; ПС – полное смешение; Г – газовая фаза; Ж – жидкая фаза; Т – твердая фаза

К важнейшим из факторов, определяющих устройство реактора, можно отнести следующие:

- агрегатное состояние исходных веществ и продуктов реакции, а также их химические свойства;
- температуру и давление, при которых протекает процесс;
- тепловой эффект процесса и скорость теплообмена;
- интенсивность перемешивания реагентов;
- непрерывность или периодичность процесса;
- удобство монтажа и ремонта аппарата, простоту его изготовления;
- доступность конструкционных материалов и др.

Следует заметить, что не вся совокупность факторов в равной степени влияет на конструкцию каждого из вновь проектируемых реакторов. Обычно учет двух или трех из них совершенно необходим, а остальные учитываются только частично и не усложняют конструкцию

аппарата. Удельное значение каждого из перечисленных факторов зависит от конкретного химического процесса. Из всех перечисленных выше факторов агрегатное состояние вещества оказывает самое большое влияние на принцип действия реактора и в целом должно определять конструктивный тип реакционного устройства. Кроме того, в зависимости от этого фактора находится выбор некоторых основных и вспомогательных деталей аппарата, таких, как перемешивающее устройство, поверхность теплообмена и т. д.

Ниже приведены факторы, обуславливающие выбор химического реактора и его конструктивные особенности.

Фактор	Что он определяет?
1. Температура и тепловой эффект процесса.	1. Конструкцию элементов поверхности теплообмена, теплоноситель (хладагент).
2. Давление.	2. Материал и тип реактора.
3. Среда (кислотная, нейтральная, щелочная).	3. Материал реактора, способ защиты его от коррозии.
4. Физическое состояние реагирующих веществ и реакционных масс.	4. Способ организации процесса, интенсивность перемешивания, конструкцию мешалки.
5. Кинетика реакции.	5. Способ организации процесса.
6. Способ организации процесса.	6. Тип реактора.

Основными факторами, определяющими способ организации процесса, являются его производительность, скорость протекающей реакции, состояние реагирующих веществ и консистенция реакционных масс.

При подборе оборудования для оснащения нового БОП следует стремиться к максимальному использованию типового, стандартизованного, серийно выпускаемого оборудования. Подробно о преимуществах такого выбора будет сказано ниже.

Наиболее широко освоен серийный выпуск следующих видов химического оборудования: емкостная аппаратура (сборники, сепараторы, резервуары и др.), фильтры, теплообменники, центрифуги, различные холодильные аппараты, компрессоры, насосы, дробилки и др.

Каталоги и проспекты такого оборудования выпускаются самими заводами-изготовителями. Для выбора типового оборудования требуются те же данные, что и для разработки реактора, основного аппарата.

Влияние типа реактора и рециклов на селективность сложных реакций

Наряду с технологическими приемами выбор типа реактора и технологической схемы процесса может способствовать созданию БОП.

Рассмотрим ряд приемов, способствующих созданию БОП, применительно к гомогенным и гетерогенным процессам.

Гомогенные процессы. Тип реактора, как известно, позволяет повысить селективность сложных реакций. При проведении сложных реакций необходимо выбрать такой тип реактора, при использовании которого получалась бы реакционная смесь, содержащая максимально возможное количество целевого вещества и минимальное количество побочных продуктов или отходов.

Рассмотрим параллельные реакции вида



Селективность таких реакций зависит от соотношения скоростей основной и побочной реакции или от относительной скорости образования веществ B и D (R_B/R_D):

$$R_B = \frac{dC_B}{d\tau} = K_1 \cdot C_A^{n_1};$$

$$R_D = \frac{dC_D}{d\tau} = K_2 \cdot C_A^{n_2}.$$

Отношение

$$\frac{R_B}{R_D} = \frac{K_1}{K_2} \cdot C_A^{n_1 - n_2},$$

где n_1 и n_2 – порядки скорости реакции.

Предположим, что $n_1 > n_2$ и разность между ними $n_1 - n_2 = m$.

$$\text{Тогда } \frac{R_B}{R_D} = \frac{K_1}{K_2} \cdot C_A^m.$$

Для увеличения селективности по продукту B необходимо проводить процесс при высоком значении C_A . Это достигается применением реактора периодического действия (РПД) или же реактора вытеснения непрерывного действия (РВНД), поскольку концентрация реагента A в них выше, чем в реакторе смешения непрерывного действия (РСНД).

Если отдано предпочтение РСНД, то селективность может быть повышена за счет установки каскада таких реакторов. При этом чем больше число ступеней в каскаде, тем выше селективность реакции.

Если $n_1 < n_2$, а $n_2 - n_1 = m$,
тогда $\frac{R_B}{R_D} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{1}{C_A^m}$.

Следовательно, для достижения высокой селективности по продукту B концентрация реагента A должна быть возможно меньшей. Наименьшее значение C_A можно поддерживать, используя проточный реактор полного смешения. Величина C_A снижается также разбавлением реагентов, поступающих в реактор.

Если основная и побочная реакции имеют одинаковые порядки $n_1 = n_2$, тогда

$$\frac{R_B}{R_D} = \frac{K_1}{K_2}.$$

В этом случае селективность процесса не зависит от типа реактора.

Влияние температуры на селективность (на относительную скорость реакции) зависит от соотношения энергии активации параллельных реакций. В кинетической области влияние температуры на величину константы скорости выражается уравнением Аррениуса. Поэтому

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1 \cdot e^{-\frac{E_1}{R \cdot T}}}{A_2 \cdot e^{-\frac{E_2}{R \cdot T}}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{(E_1 - E_2)}{R \cdot T}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{R \cdot T}}, \quad (84)$$

где A_1 и A_2 – предэкспоненциальные множители;

E_1 и E_2 – энергии активации основной и побочной реакций соответственно.

Если энергия активации основной реакции выше энергии активации побочной ($E_1 > E_2$) $E_1 - E_2 = \Delta E = 10000$ Дж/моль и $A_1 = A_2$, тогда относительная скорость основной реакции равна:

$$\begin{aligned} \text{при } T = 300 \text{ К } \quad \frac{k_1}{k_2} &= e^{-\frac{10000}{8,314 \cdot 300}} \approx \frac{1}{55}; \\ \text{при } T = 600 \text{ К } \quad \frac{k_1}{k_2} &= e^{-\frac{10000}{8,314 \cdot 600}} \approx \frac{1}{7,40}; \\ \text{при } T = 900 \text{ К } \quad \frac{k_1}{k_2} &= e^{-\frac{10000}{8,314 \cdot 900}} \approx \frac{1}{2,72}. \end{aligned}$$

Приведенный пример показывает, что при низких температурах скорость побочной реакции значительно выше, чем основной. Поэтому при низких температурах селективность по продукту B невелика. По-

вышение температуры увеличивает соотношение констант скорости реакций и соответственно повышается селективность процесса по продукту B .

Если $E_1 < E_2$, то при низких температурах скорость основной реакции выше, чем побочной, и селективность по целевому продукту при низких температурах выше, чем при высоких. Таким образом, при $E_1 < E_2$ повышение температуры нецелесообразно.

Селективность последовательных (как и параллельных) реакций зависит также от соотношения скоростей протекающих реакций. Например, последовательная реакция $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} D$ протекает без изменения объема смеси (k_1 и k_2 – константы скоростей отдельных реакций). Кинетические уравнения реакций будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} R_A &= -\frac{dC_A}{dt} = k_1 \cdot C_A; \\ R_B &= \frac{dC_B}{dt} = k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_B; \\ R_D &= \frac{dC_D}{dt} = k_2 \cdot C_B. \end{aligned}$$

Если целевым продуктом является промежуточный продукт B , соотношение скоростей образования продуктов B и D равно

$$\frac{R_B}{R_D} = \frac{dC_B}{dC_D} = \frac{k_1 \cdot C_A - k_2 \cdot C_B}{k_2 \cdot C_B} = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{C_A}{C_B} - 1.$$

Это уравнение показывает, что селективность будет тем больше, чем выше концентрация исходного реагента C_A и соотношение k_1/k_2 . Следовательно, для проведения последовательных реакций с получением высокой селективности по промежуточному продукту предпочтительны реакторы идеального вытеснения и реактор периодического действия полного смешения. В них средняя концентрация веществ, участвующих в реакции, всегда выше, чем в проточном реакторе полного смешения. На рис. 39 приведено сравнение селективности процесса по целевому продукту B в реакторах идеального смешения и вытеснения в зависимости от степени превращения исходного реагента A и различного соотношения k_1/k_2 .

Для реакторов идеального вытеснения соотношение $\frac{R_B}{R_D}$ для последовательных реакций при любой степени превращения в кинетической области всегда выше, чем в реакторах полного смешения.

Если $k_2 > k_1$, высокая селективность достигается лишь при малых степенях превращения и резко падает с увеличением степени превращения. Для получения высокой селективности такие процессы следует осуществлять по рециркуляционной схеме при малой степени превращения исходного сырья за один проход через реактор. Целевой продукт извлекается из реакционной смеси с последующей рециркуляцией непрореагировавшего сырья. Если $k_1 > k_2$, возможно одновременно достичь высокой селективности и степени использования сырья без введения рецикла.

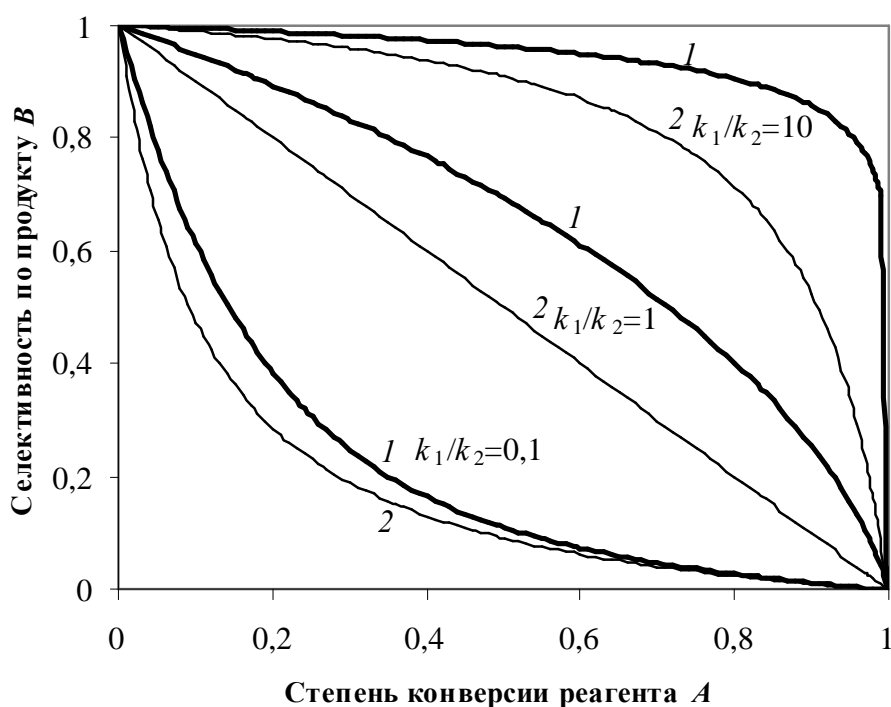


Рис. 39. Селективность процесса по промежуточному продукту при последовательной реакции: 1 – в реакторе идеального вытеснения; 2 – в реакторе идеального смешения

Селективность и выход целевого продукта зависят от многих факторов, в том числе от степени превращения исходного реагента и типа реактора, в котором протекает процесс.

Селективность можно определить как отношение количества полученного продукта к его теоретическому количеству, которое могло бы образоваться из превращенного реагента при отсутствии побочных реакций и потерь:

$$\Phi_i^A = \frac{n_i - n_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot n_{A,0} \cdot X_A} = \frac{F_i - F_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot F_{A,0} \cdot X_A}, \quad (85)$$

где Φ_i^A – селективность (интегральная селективность) процесса по продукту i , определенная по основному реагенту A ;

v_i, v_A – стехиометрические коэффициенты при продукте i и исходном реагенте A в уравнении реакции;

$n_{A,0}, n_A$ – количество вещества A в начале и в конце процесса, кмоль;

$F_{A,0}, F_A$ – мольная скорость (поток) компонента A на входе и выходе из реакционного устройства, кмоль/с.

В уравнении (85) член $\frac{n_i - n_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot n_{A,0} \cdot X_A}$, или $\frac{F_i - F_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot F_{A,0} \cdot X_A}$, соответ-

ствует количеству исходного реагента, израсходованного на образование данного ключевого вещества.

Кроме интегральной селективности процесса, пользуются также понятием дифференциальной селективности, которая представляет собой долю превращенного исходного реагента, израсходованную на образование данного продукта при бесконечно малом изменении состояния системы:

$$\phi_i^A = \frac{dn_i}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot dn_A} = \frac{dF_i}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot dF_A}. \quad (86)$$

Связь между интегральной и дифференциальной селективностью процесса дается уравнением

$$\Phi_i^A = \frac{1}{X_A} \cdot \int_0^{X_A} \phi_i^A \cdot dX_A. \quad (87)$$

Химический выход равен мольному количеству полученного продукта i , отнесенному к его теоретическому количеству:

$$X_i^A = \frac{n_i - n_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot n_{A,0}} = \frac{F_i - F_{i,0}}{\frac{v_i}{|v_A|} \cdot F_{A,0}}. \quad (88)$$

Из уравнений (85) и (88) вытекает, что выход равен произведению селективности на степень конверсии:

$$X_i^A = \Phi_i^A \cdot X_A, \text{ или } X_i^A = \int_0^{X_A} \phi_i^A \cdot dX_A. \quad (89)$$

В проточном реакторе полного смешения мгновенно устанавливается постоянная концентрация реагентов и, следовательно, $X_A = \text{const}$. Поэтому зависимость между выходом продукта, селективностью и степенью превращения выражается уравнением

$$X_i = \Phi_{i,\text{РИС}} \cdot X_A = \phi_{i,\text{РИС}} \cdot X_A, \quad (90)$$

где $\Phi_{i,\text{РИС}}$ и $\phi_{i,\text{РИС}}$ – интегральная и дифференциальная селективность процесса по продукту i в непрерывном реакторе идеального смешения.

Зависимость селективности от степени превращения позволяет выбрать оптимальную модель реактора для обеспечения максимального выхода продукта B .

Выход продукта в РИВ или же в реакторе смешения периодического действия определяется площадью под кривой зависимости ϕ_i от X_A ; в непрерывно работающем реакторе полного смешения – площадью прямоугольника, равной $\phi_i \cdot X_A$; в каскаде из n реакторов идеального

смешения – суммой площадей прямоугольников $\sum_{k=1}^n \phi_{i,k} \cdot X_{A,k}$.

Из данных, представленных на рис. 40, наглядно видно, что в случае падающей кривой селективности предпочтителен реактор идеального вытеснения или РПД (рис. 40, *а*). Каскад реакторов идеального смешения (рис. 40, *в*) даст более высокие результаты, чем единственный реактор полного смешения.

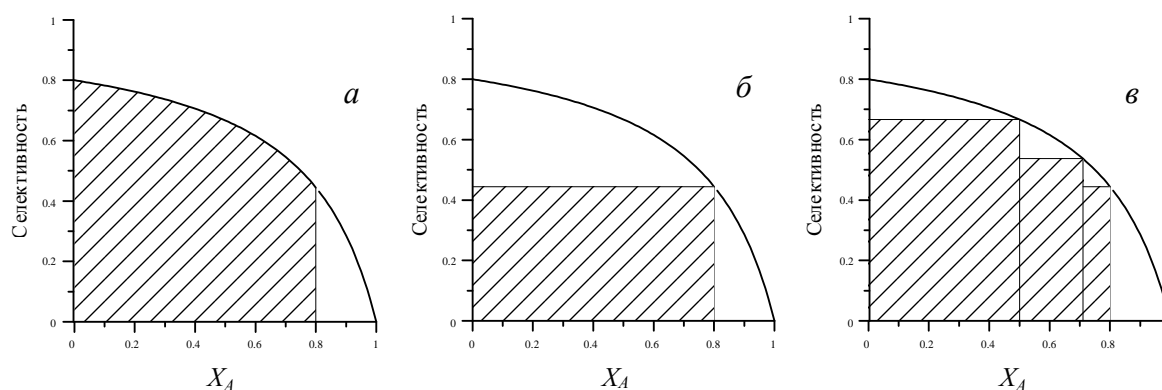


Рис. 40. Выход целевого продукта B в различных реакторах при падающей кривой селективности. Сложная реакция $A + A \xrightarrow{1} B, A \xrightarrow{2} C, k_1/k_2 = 2$: *а* – реактор идеального вытеснения и периодический реактор полного смешения; *б* – реактор идеального смешения; *в* – каскад реакторов идеального смешения, $n = 3$

Если с увеличением X_A селективность возрастает (см. рис. 41), то по заштрихованным площадям видно, что выход в реакторе идеального смешения будет значительно выше, чем в реакторе идеального вытеснения или в РПД.

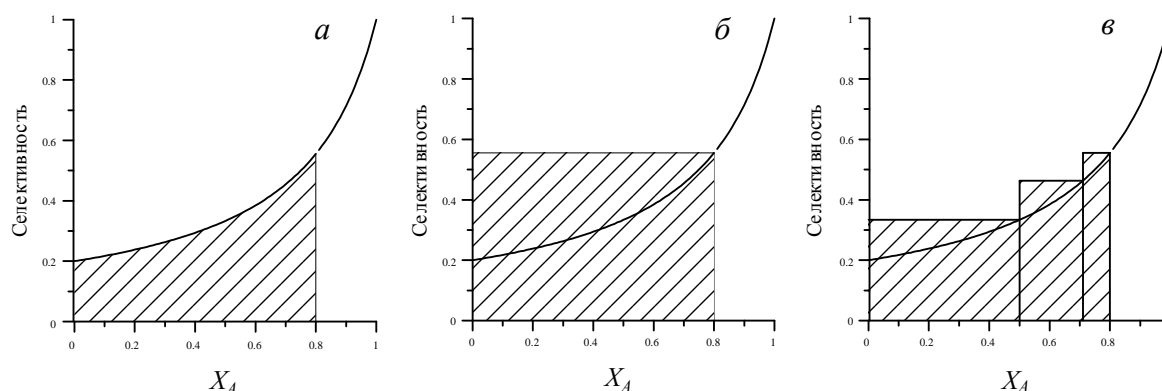


Рис. 41. Выход целевого продукта В в различных реакторах при возрастающей кривой селективности. Сложная реакция $A \xrightarrow{1} B$, $A + A \xrightarrow{2} C$, $k_1/k_2 = 0,5$:
 а – реактор идеального вытеснения и периодический реактор полного смешения;
 б – реактор идеального смешения; в – каскад реакторов идеального смешения, $n = 3$

Использование каскада реакторов не рекомендуется, т. к. в нем выход будет ниже, чем в единичном реакторе идеального смешения.

Блок-схема реактора с рециклом

Высокие концентрации исходных реагентов. Проведение реакций при высоких концентрациях исходных реагентов возможно при работе реактора с малой конверсией и возврате непревращенного сырья после разделения в рецикл. Это способствует как интенсификации химических превращений, так и, в случаях сложных реакций, повышению селективности целевой реакции.

Блок-схема реактора с рециклом сырья после разделения показана на рис. 42.



Рис. 42. Блок-схема реактора с рециклом сырья после разделения:
 1 – смеситель; 2 – реактор; 3 – узел разделения

Низкие концентрации исходных реагентов. Для проведения реакций при низких концентрациях исходных реагентов в ряде случаев целесообразен рецикл реакционной смеси, как показано на рис. 43.

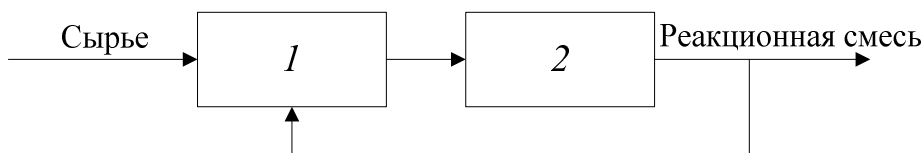
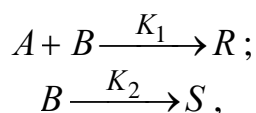


Рис. 43. Блок-схема реактора с рециклом реакционной смеси:
1 – смеситель; 2 – реактор

Избыток одного из реагентов

Для простых реакций вида $A + B \xrightarrow{K} R$, где A – дешевый реагент (вода, воздух), целесообразен избыток дешевого реагента с целью увеличения конверсии другого реагента.

Для сложных реакций избыток одного из реагентов часто может способствовать повышению селективности целевой реакции. Например, для реакций



где R – целевой продукт.

Мгновенная селективность равна

$$\varphi = \frac{K_1 \cdot C_A}{K_1 \cdot C_A + K_2}.$$

Для снижения выхода побочного продукта S реакцию следует проводить в избытке реагента A , и блок схема для этого случая показана на рис. 44.

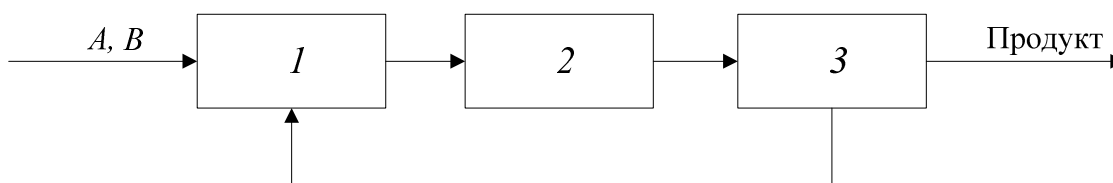


Рис. 44. Блок-схема реактора с рециклом избытка одного из реагентов:
1 – смеситель; 2 – реактор; 3 – узел разделения

В обоих случаях с целью повышения безотходности производства процесс целесообразно проводить в избытке реагента A с его последующим рециклом.

3.2. Выбор конструкционного материала

К подбору материала нужно подходить с большой осторожностью, т. к. из-за неудачного выбора материала аппарат может выйти из строя. Определяющим фактором является коррозионная стойкость материала. С этой точки зрения следует рассмотреть два варианта.

- коррозия ставит под угрозу прочность аппарата;
- коррозия вызывает загрязнение перерабатываемого продукта.

Если в первом случае можно согласиться на изготовление аппарата из менее стойких, но зато и менее дефицитных материалов, увеличив толщину стенок аппарата, то во втором случае приходится применять материал, полностью исключающий возможность коррозии.

Конструкционные материалы выбирают в зависимости от температуры, давления и коррозионного действия среды. Необходимо также учитывать стоимость и технологические свойства материала, т. е. возможность и простоту изготовления из него изделий заданной формы.

Виды машиностроительных материалов весьма обширны: углеродистые стали, чугуны, цветные металлы и их сплавы, полимерные материалы, сведения о которых можно найти в справочной литературе.

Наиболее широкое распространение в изготовлении реакторов получили стали различных марок. Использование некоторых марок стали для изготовления реакционной аппаратуры иллюстрируется табл. 8.

Таблица 8

Использование некоторых марок сталей
при изготовлении аппаратов

Марки стали	Изготавливаемые реакторы
08, 10	Эмалированные аппараты
ст2, ст3	Аппараты, работающие под атмосферным давлением и комнатной температуре
мст2, мст3	Аппараты, работающие под давлением до 8 атм и при температуре до 120 °С
15К, 20К, 25К	Аппараты, работающие под давлением до 60 атм и температуре до 450 °С
16М, 15ХМ, 12МХ, 12М8Х	Аппараты, работающие под давлением свыше 60 атм и температурах до 550 °С
X17, X14H18B, 12X5MA	Аппараты для крекинга
1X18H9T, 1X18H11B, X18H10T	Аппараты, работающие при температуре до 1000 °С в сильно агрессивных средах (H ₃ PO ₄ , HNO ₃ , CH ₃ COOH)
1X18H12M3T, 1X1812M2T	Аппараты, работающие в агрессивных средах, содержащих ионы хлора

Из редких металлов чаще других используют тантал, титан, цирконий. Для изготовления реакторов используют двухслойный конструкционный листовой материал: ст3 + Х18Н9Т, ст3 + Х18Н10Т. Тем самым достигается сокращение расхода дорогостоящего металла, удешевление стоимости конструкционного материала при повышении его коррозионной стойкости.

Для защиты аппаратов, изготовленных из углеродистой стали и чугуна, применяют:

- резины с последующей вулканизацией (гумирование);
- покрытие аппарата полиизобутиленовой пленкой;
- футеровку аппарата керамическими и другими плитками;
- эмалирование;
- обкладку внутренней поверхности реактора листовым свинцом, медью, фаолитом.

3.3. Определение присоединительных штуцеров и устройств, необходимых для поддержания заданного технологического режима

В общем случае на емкостной аппаратуре могут размещаться штуцера для следующих назначений (рис. 45):

- входа и выхода продукта;
- входа и выхода тепло- и хладоносителя;
- установки предохранительного клапана;
- отбора проб и др.

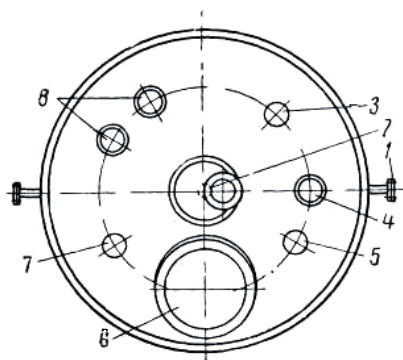


Рис. 45. Расположение штуцеров на аппарате периодического действия:

1 – штуцер для входа пара; 2 – штуцер для выхода конденсата; 3 – резервный штуцер; 4 – штуцер для трубы передавливания; 5 – штуцер для колонки; 6 – люк; 7 – штуцер для КИП; 8 – штуцер для наполнения

К вспомогательным узлам и деталям относятся: опоры, площадки для обслуживания аппаратов, монтажные скобы и крюки, газы, смотровые и вентиляционные люки, ограждения и др.

3.4. Оформление задания на разработку технического проекта реактора

Задание производится в следующей последовательности. Вычерчивается эскиз реактора (вид сбоку и план) и наносятся основные размеры: длина (высота) цилиндрической части реактора, диаметр, расстояние между штуцерами, минимальное расстояние от низа лап до фланца самого нижнего штуцера, высотная проводка штуцеров для установки КИП, перемешивающего органа мешалки и т. п.

Кроме того, составляются технические требования к аппарату, в которых указываются:

- номинальный объем реактора, м^3 , по ГОСТ;
- давление в реакторе и рубашке и температура стенки греющего элемента;
- поверхность теплообмена греющего элемента и размер его основных деталей;
- тип перемешивающего устройства и число оборотов мешалки;
- вязкость перемешиваемой среды и ее состав;
- коррозионные свойства рабочей среды;
- таблица штуцеров.

В качестве примера на рис. 46 приведен эскиз реактора с перемешивающим устройством.

3.5. Технологический расчет реактора

Для расчета объема реакторов, их числа необходимо знать объем веществ, перерабатываемых в сутки на данной стадии процесса, время проведения процесса и принцип его организации. Объем веществ, загружаемых в реактор, определяют из материального баланса. Основой для составления материального баланса химического процесса служит закон сохранения массы:

$$\sum G_{\text{прих}} = \sum G_{\text{расх}} + Q_{\text{потерь}}, \quad (91)$$

где $G_{\text{прих}}$, $G_{\text{расх}}$, $Q_{\text{потерь}}$ – соответственно количества поступающего сырья, образуемого продукта и потерь (кг/ч, кг/с, кг/сут).

В качестве примера расчета материального баланса рассмотрим стехиометрическое уравнение химической реакции



где A и B – исходные вещества;

C и D – продукты реакции;

a , b , c , d – стехиометрические коэффициенты.

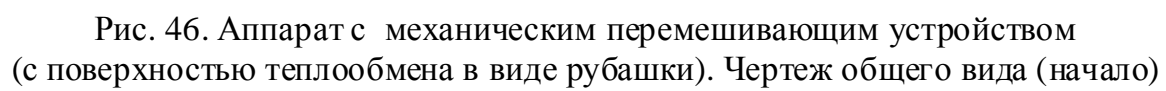


Таблица штуцеров					
Обозначение	Наименование	Кол.	Проход условный D_y , мм	Давление условное P_y , МПа	
A_{1-3}	Вход продукта	3	100	0,1	
Γ	Для гильзы термометра	1	100	0,1	
Δ	Выход продукта	1	100	0,1	
E_{1-2}	Выход хладагента	2	50	0,2	
Ж	Вход хладагента	1	50	0,2	
C_{1-2}	Для смотрового стекла	2	100	0,1	
Л	Люк	1	400	0,1	

Зона	Формат	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1		Привод мешалки	1	
		2		Крышка люка	1	
		3		Крышка	1	
		4		Опора	4	
		5		Мешалка якорная	1	
		6		Корпус	1	
		7		Рубашка	1	
		8		Гильза с термометром	1	
		9		Уплотнение торцовое	1	
		10		Устройство зажимное	40	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Аппарат с механическим перемешивающим устройством Чертеж общего вида	Лит.	Масса	Масшт.	
Разраб.							5200	1:20	
Пров.									
						Лист	Листов		
Н. конт.									

Рис. 46. Аппарат с механическим перемешивающим устройством (с поверхностью теплообмена в виде рубашки). Чертеж общего вида (окончание)

Обозначим $\mu_A, \mu_B, \mu_C, \mu_D$ – молекулярные массы взаимодействующих веществ, участвующих в реакции и полученных в результате реакции.

Допустим, что реакция (92) протекает необратимо слева направо. Тогда в конце процесса израсходуется все вещество A , т. е. $G_A = 0$, количество израсходованного вещества B составляет

$$G_B = G_A \cdot \frac{b \cdot \mu_B}{a \cdot \mu_A},$$

а количество образующихся веществ C и D при 100%-м превращении будет равно:

$$G_C = G_A \cdot \frac{c \cdot \mu_C}{a \cdot \mu_A}; \quad G_D = G_A \cdot \frac{d \cdot \mu_D}{a \cdot \mu_A},$$

где G_A, G_B, G_C, G_D – однокомпонентные вещества.

Выход продукта равен

$$\eta = \frac{G_{\Phi}}{G_T},$$

где G_{Φ} – количество фактически полученного продукта;

G_T – теоретически возможный выход.

С учетом выхода и количества образующихся по реакции веществ C и D составляет

$$G'_C = \frac{G_C}{\eta}; \quad G'_D = \frac{G_D}{\eta}.$$

Общий выход составляет

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_i,$$

где $\eta_1 \dots \eta_i$ – выходы по стадиям процесса.

Если вещество взято с избытком, то часть его остается непрореагированной и определяется из равенства

$$G'_B = G_B - (G_A \cdot \frac{b \cdot \mu_B}{a \cdot \mu_A}).$$

Расход вещества A рассчитывается, исходя из заданной производительности:

$$G_A = \frac{G \cdot (a \cdot \mu_A)}{\eta_{\text{общ}} \cdot c \cdot \mu_C},$$

где G – суточная производительность продукта C , кг;

$$G = \frac{1000 \cdot П \cdot x_C}{330},$$

где $П$ – годовая мощность производства, т/год;

x_C – массовая доля вещества C в техническом продукте;

330 – число дней работы оборудования в году;

1000 – пересчет тонны в кг.

В пересчете на технический продукт расход вещества A

$$G_{A_{\text{техн}}} = \frac{G_A}{x_A},$$

где x_A – массовая доля вещества A в техническом продукте.

Аналогично определяется расход вещества B . Результаты материального расчета сводятся в таблицу (табл. 9).

Таблица 9

Материальный баланс

Приход			Расход		
Компонент	кг/ч	% вес.	Компонент	кг/ч	% вес.
Вещество A	800	80	Вещество C	900	95
Вещество B	200	20	Вещество D	50	5
			Потери	50	5
Итого	1000	100	Итого	1000	100

Периодический процесс

1. Число операций, которое может быть проведено в сутки в одном реакторе,

$$\beta = \frac{24}{\tau},$$

где τ – время проведения процесса, ч.

2. Число операций, которое должно быть проведено в течение суток для обеспечения заданной производительности,

$$a = \frac{V_{\text{сут}}}{V_p} = \frac{V_{\text{сут}}}{V_a \cdot \phi},$$

где $V_{\text{сут}}$ – объем веществ, перерабатываемых в сутки;

V_p – рабочий объем аппарата;

V_a – полный объем аппарата;

$\phi = V_p/V_a$ – степень заполнения аппарата.

3. Необходимое число рабочих аппаратов

$$m_p = \frac{a}{\beta} = a \cdot \frac{\tau}{24} = \frac{V_{\text{сут}} \cdot \tau}{24 \cdot V_a \cdot \varphi}.$$

4. Число устанавливаемых реакторов, с учетом резерва мощности,

$$m = \frac{m_p}{(1 + 0,01 \cdot \delta)},$$

где δ – резерв мощности реактора, равный 10÷15 %.

В расчетах исходят из объема одного реактора V_a и определяют общее число реакторов или же задаются числом аппаратов и определяют объем одного аппарата по формуле

$$V_a = \frac{V_{\text{сут}} \cdot \tau \cdot (1 + 0,01 \cdot \delta)}{24 \cdot m \cdot \varphi}.$$

Значения степени заполнения реактора φ приведены ниже.

Характер процесса:	φ
физический или химический процесс без пенообразования	0,75÷0,80
то же с пенообразованием	0,4÷0,6
отмеривание жидкостей (мерники)	0,8÷0,85
хранение жидкостей	0,8÷0,9

Непрерывный процесс

1. Рабочий объем всей аппаратуры

$$V_p = V_c \cdot \tau_c,$$

где τ_c – время пребывания, ч.

2. Необходимое число аппаратов

$$m_p = \frac{V_c \cdot \tau_c}{V_a \cdot \varphi}.$$

Таким образом,

$$m = m_p \cdot (1 + 0,01 \cdot \delta) = \frac{V_c \cdot \tau_c \cdot (1 + 0,01 \cdot \delta)}{V_a \cdot \varphi},$$

откуда

$$V_a = \frac{V_c \cdot \tau_c \cdot (1 + 0,01 \cdot \delta)}{m \cdot \varphi}.$$

Далее V_a уточняется по ГОСТу.

Заключение

Реактор-аппарат, в котором протекает основной процесс химической технологии – образование нового продукта в результате сложного взаимодействия исходных веществ, должен работать эффективно. Он должен удовлетворять следующим требованиям:

- иметь необходимый объем;
- обеспечивать заданную производительность и определенный гидродинамический режим движения реагентов;
- поддерживать необходимый теплообмен в процессе;
- создавать требуемую поверхность контакта взаимодействующих фаз и т. д.

Одной из важнейших характеристик реактора является его удельная производительность, непосредственно связанная с кинетикой химического процесса и типом реактора.

Общее правило, устанавливающее связь между избирательностью химического процесса и его аппаратным оформлением:

- если зависимость между степенью превращения и избирательностью падает, то следует выбирать реактор смешения периодического действия или реактор вытеснения;
- для реакции с возрастающей зависимостью – реактор смешения непрерывного действия.

Большое разнообразие конструкций реакторов и специфика протекающих в них процессов обусловят разнообразие способов их расчета по конкретной для каждого процесса методике.

Глава 4. КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ

Круг вопросов, рассматриваемых в проекте, необычайно широк. Он охватывает все, что необходимо для обеспечения нормальной работы будущего производства.

После разработки принципиальной технологической схемы технологи-проектировщики выдают задания специалистам по монтажному проектированию.

На основании технического задания разрабатывают компоновку оборудования и монтажные чертежи.

Общие положения

Основная задача компоновки оборудования – размещение его в цехе, обеспечивающее его правильную организацию технологии БОП. При компоновке учитывают требования технологии, техники безопасности и охраны труда, санитарные, строительные, противопожарные нормы.

В результате компоновки выявляют конфигурацию, размеры сооружений, этажность, число и расположение лестниц и другие необходимые данные для разработки строительной части проекта.

Важным вопросом, который необходимо решить предварительно, является вопрос о размещении оборудования – в здании или на открытых площадках. При решении вопроса о выносе оборудования на открытые площадки следует руководствоваться «Перечнем технологического оборудования химической промышленности, установленного на открытых площадках».

В здании оборудование можно размещать на этажах, площадках, этажерках. Площадка представляет собой одноярусное сооружение (в здании или вне его), опирающееся на самостоятельные опоры или конструкции здания, на оборудование.

Этажерка – это сооружение с самостоятельными опорами, двух- и многоярусное, размещаемое в здании или вне его.

На рис. 47 показан пример компоновки оборудования цеха дистилляции в производстве бутиловых спиртов.

Вся колонная аппаратура размещена на отметке земли и вытянута вдоль наружной этажерки. Вся теплообменная и вспомогательная аппаратура размещена на различных высотных отметках на этажерке. Существенное влияние на характер компоновки цеха оказывают такие факторы, как особенности генерального плана завода, способы монтажа обо-

рудования, необходимость коэффициента застройки, требования техники безопасности и противопожарной техники.

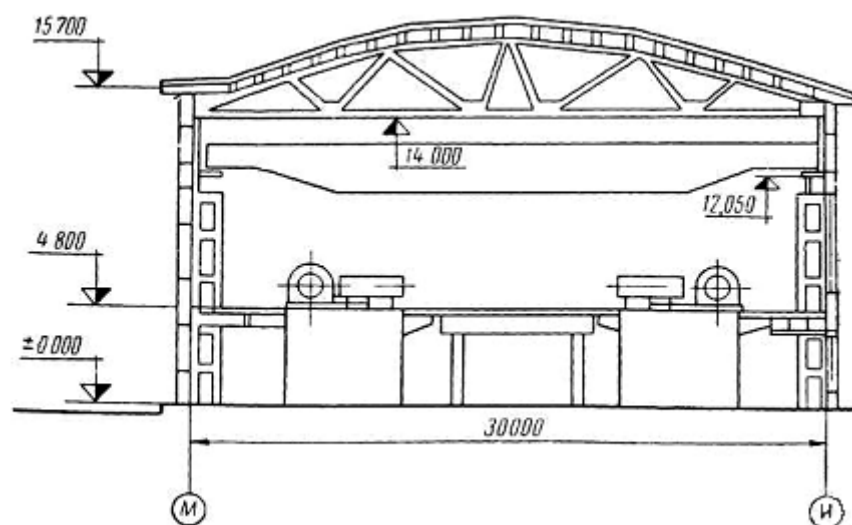


Рис. 47. Расположение машинного оборудования цеха газоразделения (поперечный разрез)

К особенностям генплана, оказывающим влияние на компоновку, следует отнести наличие на заводе централизованных или прицеховых вспомогательных помещений (мастерские, бытовые подстанции и т. п.), характер межцеховых трубопроводных коммуникаций, направление господствующих ветров.

При компоновке оборудования нужно обеспечить рациональную организацию рабочих мест, стремиться к уменьшению фронта обслуживания оборудования. Аппаратуру целесообразно располагать по ходу технологической схемы в ряд вдоль продольных осей здания, избегая пересечения и удлинения потоков. Каждый аппарат необходимо устанавливать таким образом, чтобы его можно было легко обслуживать, проводить наружный осмотр, текущий ремонт, достаточно просто монтировать и демонтировать.

На первом этаже, как правило, размещают емкости для сырья, аппараты для растворения, подготовки сырья, хранения готовой продукции.

В многоэтажных производственных зданиях предусматриваются проемы (6×6 и 6×12 м) для поднятия оборудования на верхние этажи. На площадь первого этажа под монтажным проемом оборудование не устанавливают. В цехе необходимо предусмотреть ворота стандартного размера рядом с монтажным проемом и отделением упаковки и хранения готовой продукции. Каждое здание цеха должно иметь два выхода.

Для объемно-планировочного решения здания цеха необходимо предусмотреть вспомогательные помещения (вентиляционные камеры, ремонтно-механическую мастерскую, пульт управления со щитами КИП и средствами автоматизации).

Административно-хозяйственные и бытовые помещения следует располагать в отдельно стоящих зданиях или в пристройках к производственным помещениям, отделенных от них капитальной стеной.

Компоновочные решения представляют в виде планов и разрезов. Планы каждого этажа вычерчивают отдельно, на них наносят все оборудование в виде наружных контуров с ориентацией относительно осей здания и привязкой к осям колонн, стенам здания.

Размеры выполняют по сечениям, наиболее нагруженным по высоте, чтобы обосновать выбор расстояния между этажами.

Компоновочные чертежи являются исходным материалом для архитектурной проработки зданий и сооружений проектируемого производства.

В зависимости от размеров проектируемого производства компоновочные чертежи выполняются в масштабах 1:200 или 1:400. Эти чертежи передают в монтажно-технический отдел в качестве заготовок, на которые проектировщики-механики наносят технологическое оборудование. На этих чертежах должны быть нанесены все строительные конструкции и проведена разбивка осей. Горизонтальные оси обозначаются заглавными буквами русского алфавита, заключенными в кружки (А, Б и т. д.), а вертикальные – цифрами (1, 2, 3 и т. д.).

Компоновочные чертежи должны содержать следующие сведения:

- экспликацию всех помещений с краткой характеристикой;
- расчет объемов всех сооружений;
- характеристику строительных конструкций (полов, покрытий, перекрытий и т. п.).

Пример компоновочного чертежа приведен на рис. 48.

Компоновка оборудования и решение строительной части являются одной из ответственных и трудных работ по технологическому проектированию.

При размещении оборудования нужно учитывать следующие технологические требования:

- удобство обслуживания оборудования и возможность демонтажа аппаратов и их деталей при ремонтах;
- рациональное решение внутризаводского транспорта и др.

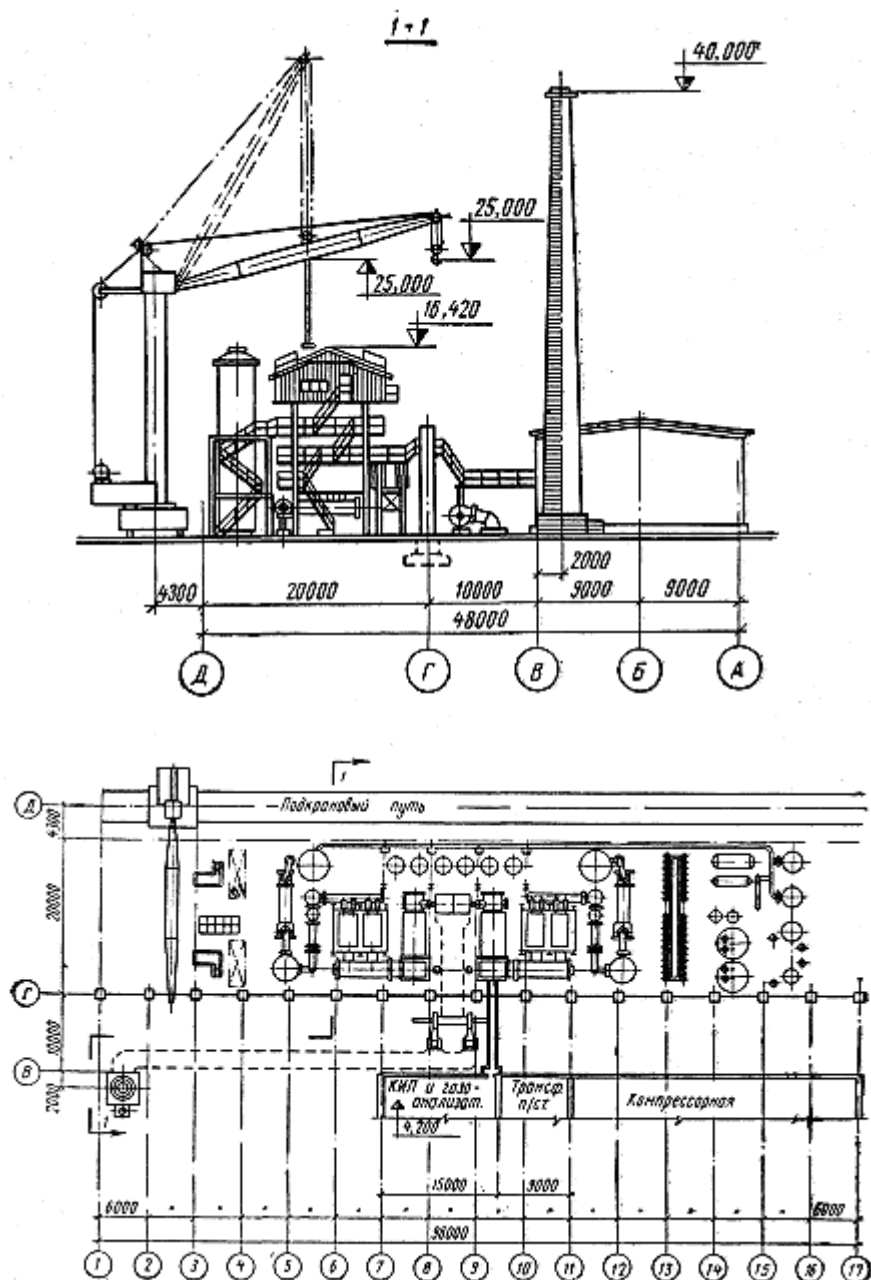


Рис. 48. Компонировка оборудования типовой водородной установки (план и разрез *I-I*)

Основным критерием оценки расположения оборудования является стройность, симметричность, максимальная упорядоченность размещения всех аппаратов и машин. В каждом производственном помещении они должны образовывать вертикальные и горизонтальные ряды с одним или несколькими продольными основными проходами шириной $1,5 \div 2$ м и удобными подходами к каждому агрегату, ширина которых не менее 0,8 м.

Продуманная и правильно выполненная компоновка цеха должна предусматривать полное соответствие специфическим условиям технологического процесса, учет особенностей генерального плана, создание условий для индустриального монтажа оборудования, его демонтажа и ремонта, минимальную стоимость строительного цеха.

По мере решения этих вопросов переходят к остальным частям проекта:

- архитектурно-строительной;
- энергетической;
- контроля и автоматизации;
- внешних сетей и коммуникаций и т. д.

Заключение

Проблема обоснования оптимальной конструкции и типа реактора всегда очень остро встает при планировании технологических разработок. При выборе конкретного типа и конфигурации реактора следует учитывать:

- кинетический механизм процесса;
- условия теплоотвода;
- давление в системе;
- технологические характеристики реакционной среды и др.

Главным условием этого выбора является наиболее простое техническое решение, обосновывающее нужное качество продукта при заданной производительности и минимальной себестоимости.

Поиск наиболее простого технического решения при всей очевидности постановки вопроса сопряжен со значительными трудностями. Часто при выборе конструкции разработчикам приходится сдерживать напор конструкторов, отстаивающих оригинальные, но сложные, а следовательно, дорогие решения. Любые усложнения конструкции следует вводить только в самом крайнем случае, сколь бы заманчивыми они ни выглядели.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс (НТП), и особенно его отрицательные последствия, а также постепенно усиливающееся влияние человека на биосферу, породили проблему глобального экологического кризиса.

Биосфера (сфера жизни) в целом и экологические системы подвергались такому воздействию со стороны общества, что уже не в состоянии справиться с этим воздействием, нейтрализовать его и обеспечить сбалансированность. Поэтому в истории человечества наступил период, когда оно любую свою деятельность должно соизмерять с возможностями биосферы и в целом с окружающей средой. Следовательно, человеческое общество обязано уметь оценить пределы допустимых физических и химических структурных изменений в биосфере и не переступать эти пределы. Деятельность человека должна сводиться к стремлению сохранить биосферу для будущих поколений, исходя из приоритетного экологического принципа – «чего и почему делать нельзя».

Ученые обобщили факторы, которые связаны с этой проблемой и разработали конкретные научно обоснованные мероприятия, содействующие сохранению биосферы, целесообразному использованию ее материальных и энергетических ресурсов в глобальном масштабе. Например, современные достижения науки и техники уже позволяют резко снизить отрицательные побочные влияния на биосферу со стороны промышленных предприятий и процессов разработки полезных ископаемых. Такие технические решения, как создание БОП, создаваемые на основе НТП, оборотное водоснабжение предприятий, вторичное использование сырья и отходов, очистка промышленных выбросов и т. д., открывают определенные возможности для оздоровления окружающей среды и уже сегодня дают ощутимые результаты.

Вместо мер временного характера, направленных на борьбу с последствиями загрязнений, теперь все чаще на стадии проектирования предпринимают меры долговременного характера, в основе которых заложен принцип – «не борьба с последствиями загрязнений, а ликвидация источника этого неблагоприятного явления».

Для вновь строящихся предприятий организация БОП должна быть заложена на поисковой и предпроектной стадии, затем конкретизована в ходе строительно-монтажных работ.

Для оздоровления окружающей среды ученые также выдвигают концепцию оптимизации и гармонизации системы «общество – природа». В общем случае оптимизация должна стремиться к тому, чтобы научно-техническое развитие не вывело биосферу за рамки параметров,

потребных для нормального функционирования живых организмов, без чего невозможно и функционирование общества.

Для того чтобы инженерные решения в направлении экологизации химических производств, связанные с совершенствованием технологических процессов, могли решать специалисты, необходимо выполнить ряд взаимосвязанных принципов/условий (принцип системности, цикличности, комплексного использования сырья и др.). Под экологизацией будем понимать максимально возможное уподобление производственных процессов в целом и ресурсных циклов в частности природным круговоротам веществ в биосфере.

Анализ направлений развития безотходной технологии показывает, что ускорение внедрения такой технологии зависит как от результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, так и от изучения эколого-экономических вопросов развития соответствующей отрасли. Основой этого изучения должно быть составление баланса выпуска готовой продукции и распределение вредных выбросов химических соединений в почву, водоемы и воздух.

Сейчас, когда биосфера в опасности, наступило время ответа на вопрос «что делать?», имея в виду не только то, каким образом достичь целей, но и каковы должны быть наши цели. Сегодня основой стратегической линии в хозяйственной деятельности должна стать формула – «понять, чтобы предвидеть». Предвидеть, чтобы рационально использовать природные богатства планеты для жизни людей и других живых организмов, в противном случае жизнь человечества окажется под вопросом, а этого допустить нельзя.

Осознание этого заставит человечество перейти к качественно новому типу цивилизованного развития, когда человечество с помощью науки сможет осмысленно управлять природными и социальными процессами.

Только целесообразная, осознанная и планомерная деятельность людей может обеспечить гармоническое развитие природы и общества, неограниченное во времени. Человечеству предстоит решить большое число сложных проблем научного, технического, экономического и психологического характера, и, будем надеяться, оно с этой проблемой справится.

Многие из задач по охране биосферы придется решать и Вам, студентам специальности «Охрана окружающей среды и рациональное природопользование», и авторы желают Вам успешно их решить.

Все замечания по содержанию книги авторы примут, внимательно их проанализируют и по возможности используют в следующем издании.

Адрес: 634050, Томск, пр. Ленина, 30.

Томский политехнический университет.

Кафедра технологии основного органического синтеза
и высокомолекулярных соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харлампович Г.Д., Кудряшова Р.И. Безотходные технологические процессы в химической промышленности. – М.: Химия, 1978. – 280 с.
2. Громов Б.В., Зайцев В.А., Ласкорин Б.Н. Безотходное промышленное производство. Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1981. – Т. 9. – 218 с.
3. Звягинцев Г.П. Промышленная экология и технология утилизации отходов. – Харьков: Высш. шк., изд-во Харьковского ун-та, 1986. – 144 с.
4. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков В.П. Проблема развития безотходных производств. – М.: Стройиздат, 1981. – 207 с.
5. Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Перец В.А. Безотходная технология в промышленности. – М.: Стройиздат, 1986. – 250 с.
6. Алферова Л.А. и др. Перспективы развития и внедрения замкнутых систем водного хозяйства в промышленности // Всесоюз. хим. о-во им. Д. И. Менделеева. – 1979. – Т. 24, № 1. – С. 30–35.
7. Лейтес И.П., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. – М.: Химия, 1988. – 280 с.
8. Переработка и утилизация отходов производственных химикатов – добавок для полимерных материалов / Д.И. Панков и др. – М.: НИИТЭХИМ, 1989. – 4 с. – (Сер.: Химикаты для полимерных материалов: обзор информ.).
9. Бочкарев В.В., Ляпков А.А. Оптимизация процессов химической технологии органических веществ: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 94 с.
10. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
11. Белоглазов И.П., Муравьев А.И. Интенсификация и повышение эффективности химико-технологических процессов. – Л.: Химия, 1987. – 201 с.
12. Евилевич А.З. Безотходное производство в гидролизной промышленности. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 184 с.
13. Вольфсон С.А. Основы создания технологического процесса получения полимеров. – М.: Химия, 1987. – 264 с.
14. Уткин О.В. Основные принципы организации безотходных химических производств: учеб. пособие. – Ярославль: Изд-во ЯрПУ, 1988. – 63 с.
15. Бесков В.С., Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебник. – М.: Химия, 1999. – 472 с.
16. Путилов А.В., Копреев А.А., Петрухин Н.В. Охрана окружающей среды: учеб. пособие для техникумов. – М.: Химия, 1991. – 224 с.
17. Бретшнайдер С., Кавецкий В., Лейко Я., Марцинковский Р. Общие основы химической технологии. Разработка и проектирование технологических процессов: пер с польского; под ред. П. Романкова. – Л.: Химия, 1977. – 503 с.
18. Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: учебник для ВУЗов. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 384 с.
19. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: учеб. пособие. – М.: Химия, 1992. – 432 с.
20. Кафаров В.В. Принципы создания безотходных химических производств. – М.: Химия, 1982. – 288 с.
21. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Кольцова Э.М. Системный анализ процессов химической технологии. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
22. Сулягин В.М., Бочкарев В.В. Основы проектирования и оборудования производств органического синтеза: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 168 с.

Учебное издание

СУТЯГИН Владимир Михайлович
БОНДАЛЕТОВ Владимир Григорьевич
КУКУРИНА Ольга Сергеевна

**ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ
МАЛООТХОДНЫХ И БЕЗОТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Учебное пособие

Научный редактор
доктор химических наук

В.М. Сутягин

Редактор

Н.Т. Синельникова

Верстка

Л.А. Егорова

Подписано к печати 10.07.2009 Формат 60×84/16.

Бумага «Снегурочка». Печать Херох.


Усл. печ.л. 10,7. Уч.-изд.л. 9,68.

Заказ . Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE
по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.