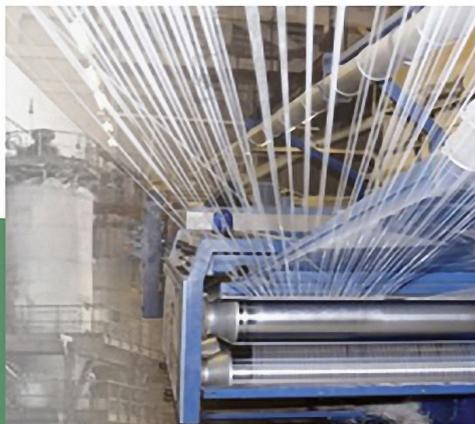


ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ПОЛИМЕРОВ



В. М. Сутягин
А. А. Ляпков
В. Г. Бондалетов



E.LANBOOK.COM

В. М. СУТЯГИН, А. А. ЛЯПКОВ,
В. Г. БОНДАЛЕТОВ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ПОЛИМЕРОВ

Учебное пособие

Издание четвертое, стереотипное



ЛАНЬ

• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА •
• КРАСНОДАР •
2021

УДК 691.175
ББК 35.710я73

С 90 **Сутягин В. М.** Основы проектирования и оборудование производств полимеров : учебное пособие для вузов / В. М. Сутягин, А. А. Ляпков, В. Г. Бондалетов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. : ил. — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-7364-9

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования производств полимерной химии, разработки проектной документации, разработки технологических схем и другие вопросы, возникающие в процессе проектирования. Большое внимание уделено составлению и расчету материальных и тепловых балансов проектируемых производств, а также конструированию и расчету реакторных устройств полимеризации и поликонденсации. Рассмотрено основное и вспомогательное оборудование заводов полимерной химии. Показаны конструктивные особенности реакторов для производства пластических масс, влияние метода изготовления на их конструкцию, а также рассмотрены детали, применяемые при изготовлении основной и вспомогательной аппаратуры. Описаны устройство и принципы действия оборудования для переработки полимерных материалов.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология высокомолекулярных соединений». Кроме того, оно может служить практическим руководством для инженерно-технических работников предприятий, производящих высокомолекулярные соединения.

УДК 691.175
ББК 35.710я73

Рецензенты:

А. А. БАКИБАЕВ — доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Национального исследовательского Томского государственного университета;

А. В. БОРИЛО — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, главный технолог Института химии нефти Сибирского отделения РАН.

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2021
© Коллектив авторов, 2021
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2021

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	9
ЧАСТЬ 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПОЛИМЕРОВ	10
Глава 1. Разработка проектно-сметной документации	10
1.1. Проектно-сметная документация	11
1.2. Основные исходные данные для проектирования	12
1.3. Задание на проектирование	12
1.4. Стадийность проектирования	14
1.5. Заключение	19
Вопросы для самоконтроля	20
Глава 2. Экологическое и экономическое обоснование проектных решений	21
2.1. Этапы разработки технико-экономического обоснования проекта	21
2.2. Экологическая экспертиза проекта	23
2.3. Принципы экологической экспертизы проектов	24
2.4. Степень экологической чистоты технологических процессов синтеза полимеров	26
2.5. Технико-экономическое обоснование проекта	29
2.6. Экономика строительства предприятия и производства продукции	34
2.7. Заключение	35
Вопросы для самоконтроля	36
Глава 3. Принципы создания безотходных и малоотходных производств полимеров	37
3.1. Термины и определения	37
3.2. Основные задачи в области создания безотходных производств	38
3.3. Общие подходы к созданию безотходных производств	38
3.4. Химические принципы снижения отходов в полимерных производствах	41
3.5. Технологические принципы	44
3.6. Организационные принципы	50
3.7. Заключение	52
Вопросы для самоконтроля	53
Глава 4. Экологическое и технологическое обоснование выбора метода производства полимеров	54
4.1. Общие положения	54
4.2. Экологическое обоснование выбора способа производства полимера	56
4.3. Общая характеристика полимеризационных способов получения полимеров	58
4.4. Методы получения поликонденсационных полимеров	68
4.5. Производство полимеров методом полимераналогичных превращений	72
4.6. Пример выбора метода производства полимера	75
4.7. Заключение	79
Вопросы для самоконтроля	80
Глава 5. Физико-химические основы производства полимерных материалов	81
5.1. Термодинамические расчеты	81
5.2. Кинетические расчеты	85
5.3. Краткая характеристика процессов синтеза полимеров	86
5.4. Физическая химия полимеров	91
5.5. Заключение	92
Вопросы для самоконтроля	93
Глава 6. Разработка технологической схемы производства полимеров	94
6.1. Общие положения	94
6.2. Разработка технологической схемы производства полимеров	95
6.3. Этапы разработки технологической схемы	98
6.4. Механизация транспортных и погрузочно-разгрузочных работ	105
6.5. Удаление отходов производства	107
6.6. Заключение	109
Вопросы для самоконтроля	110
Глава 7. Инженерные расчеты, выполняемые при проектировании производств полимеров	111
7.1. Технологические расчеты	111

7.2. Механический расчет	144
7.3. Гидравлический расчет	145
7.4. Заключение	146
Вопросы для самоконтроля	147
ЧАСТЬ 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРОВ	148
Глава 1. Эскизная конструктивная разработка реакторов синтеза полимеров	148
1.1. Тенденция развития оборудования синтеза полимеров	148
1.2. Выбор типа и формы реактора для синтеза полимеров	150
1.3. Моделирование реакторов синтеза полимеров	176
1.4. Управление реактором	181
1.5. Заключение	188
Вопросы для самоконтроля	190
Глава 2. Метод изготовления реакторов полимеризации	191
2.1. Конструирование сварной аппаратуры	192
2.2. Реакторы из высоколегированной стали	197
2.3. Конструирование эмалированных аппаратов	200
2.4. Литые и кованные реакторы	202
2.5. Заключение	202
Вопросы для самоконтроля	203
Глава 3. Основные детали и конструктивные элементы реакторов синтеза полимеров	204
3.1. Днища, обечайки и крышки	204
3.2. Фланцевые соединения	206
3.3. Прокладки и крепежные детали	209
3.4. Штуцера	211
3.5. Бобышки	214
3.6. Смотровые окна	214
3.7. Люки и лазы	215
3.8. Лапы и опоры реакторов	216
3.9. Устройства для строповки аппаратов	217
3.10. Трубы перекачивания	218
3.11. Гильзы термометров	218
3.12. Аварийное устройство	218
3.13. Запорный клапан	219
3.14. Пробоотборники	220
3.15. Заключение	222
Вопросы для самоконтроля	222
Глава 4. Оформление поверхности теплообмена	223
4.1. Рубашки	223
4.2. Змеевики и стаканы	229
4.3. Методы обогрева полимеризаторов	230
4.4. Заключение	232
Вопросы для самоконтроля	233
Глава 5. Перемешивающие устройства	234
5.1. Способы перемешивания	234
5.2. Лопастные мешалки	235
5.3. Рамные мешалки	236
5.4. Якорные мешалки	237
5.5. Листовые мешалки	237
5.6. Пропеллерные мешалки	238
5.7. Турбинные мешалки	238
5.8. Мешалки специальных типов	239
5.9. Конструирование и изготовление мешалок	240
5.10. Приводы мешалок	241
5.11. Расчет мешалок	244
5.12. Заключение	246
Вопросы для самоконтроля	246

Глава 6. Уплотнения вращающихся валов	247
6.1. Сальниковые уплотнения.	247
6.2. Торцовые уплотнения	250
6.3. Бессальниковые приводы	253
6.4. Заключение	255
Вопросы для самоконтроля	256
Глава 7. Конструктивные типы полимеризаторов	257
7.1. Классификация полимеризаторов	257
7.2. Аппаратурное оформление процессов получения полимеров	258
7.3. Заключение	290
Вопросы для самоконтроля	291
Глава 8. Разработка и выбор вспомогательного оборудования производства полимеров	292
8.1. Емкостная аппаратура	293
8.2. Теплообменники	299
8.3. Колонные аппараты.	303
8.4. Оборудование для дегазации полимеров	305
8.5. Оборудование для фильтрования суспензий и растворов полимеров	311
8.6. Оборудование для сушки полимеров	318
8.7. Оборудование для экстракционной очистки растворов полимеров	324
8.8. Оборудование для концентрирования растворов и расплавов полимеров	328
8.9. Оборудование для транспортирования полимерных материалов	331
8.10. Оборудование для очистки сточных вод и газовых выбросов	336
8.11. Оборудование для перемещения газов и жидкостей и сыпучих материалов	341
8.12. Заключение	346
Вопросы для самоконтроля	347
Глава 9. Трубопроводные системы	348
9.1. Трубы и их фасонные части	348
9.2. Трубопроводная арматура	352
9.3. Заключение	360
Вопросы для самоконтроля	361
Глава 10. Компоновка производства полимеров	362
10.1. Общие положения	362
10.2. Принципы группировки оборудования	366
10.3. Чертежи объемно-планировочного решения	369
10.4. Заключение	371
Вопросы для самоконтроля	372
Глава 11. Охрана окружающей среды	373
11.1. Общие положения	373
11.2. Разработка прогноза загрязнения воздуха в районе размещения проектируемого объекта	374
11.3. Прогнозирование состояния поверхностных и подземных вод района расположения объекта	376
11.4. Прогноз воздействия объекта при возможных проектных и запроектных авариях	377
11.5. Заключение	378
Вопросы для самоконтроля	379
ЧАСТЬ 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС	380
Глава 1. Оборудование для предварительной подготовки сырья	380
1.1. Оборудование для измельчения	380
1.2. Оборудование для смешения	386
1.3. Дозаторы для сыпучих материалов	394
1.4. Машины для таблетирования	397
1.5. Заключение	404
Вопросы для самоконтроля	405
Глава 2. Оборудование для переработки полимерных материалов	406
2.1. Экструдеры	406
2.2. Каландры	416
2.3. Литьевые машины	418
2.4. Прессы	425
2.5. Оборудование для формования изделий из листовых термопластов	435

2.5. Заключение	443
Вопросы для самоконтроля	444
Глава 3. Оборудование для завершающей обработки изделий из пластмасс	445
3.1. Оборудование для механической обработки и отделки изделий из пластмасс	445
3.2. Оборудование для сварки	449
3.3. Оборудование для нанесения покрытий	454
3.4. Заключение	456
Вопросы для самоконтроля	456
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	457
ЛИТЕРАТУРА	459
1. Основная	459
2. Дополнительная	461

Предисловие

Производство полимерных материалов в мире ежегодно растет. Решающая роль в этом принадлежит химикам-технологам, что требует как дальнейшего увеличения их числа, так и улучшения их технического образования. Подготовка специалистов связана с обучением студентов методике проектирования производств полимеров. Именно поэтому в учебных планах бакалавров техники и технологии имеется дисциплина «Основы проектирования и оборудование производств полимеров».

Завершающим этапом обучения студентов в высших учебных заведениях является выполнение ими дипломного проекта (выпускной квалификационной работы). Однако процесс дипломного проектирования представляет для студентов определенные трудности: они самостоятельно знакомятся с реальными производствами получения полимеров, со специальной литературой по проектированию промышленных объектов полимерной химии. Кроме того, они не знают в полной мере технологии самого проектирования, охватывающего целый комплекс вопросов, т. е. все, что необходимо для обеспечения нормальной работы будущего производства полимеров. Основу составляют технические решения, содержащие расчетную производительность цеха, краткую характеристику и обоснование решений по технологии производства, его автоматизации и механизации, состав и оценку новизны выбранного оборудования, мероприятия по охране окружающей среды с учетом всех отходов производства и решения по максимально полному их использованию и т. д. Для ответа на эти и другие вопросы необходимы глубокие знания технологии и оборудования, методик расчетов технологического процесса и оборудования и т. п. Определяющая роль в этом принадлежит курсу «Основы проектирования и оборудование производств полимеров». В связи с этим настоящее пособие будет полезным не только в процессе подготовки специалистов полимерного профиля, но и при их переподготовке. В пособии рассматривается системный подход к проектированию сложных систем, какими являются производства полимеров, и оно дает определенную систему знаний и умений в области проектирования полимерных производств и ориентировку в этой области, а также в области оборудования как основного, так и вспомогательного. Пособие призвано помочь студентам

выполнить дипломный проект, близкий к реальным условиям производства.

Данное пособие состоит из двух частей. В первой части изложены основы проектирования производств полимеров, включая принципы разработки безотходных полимерных производств. Во второй части рассмотрены назначение, устройство и принцип действия основной и вспомогательной технологической аппаратуры. Особое внимание уделено реакторам синтеза полимеров.

Учебное пособие написано в соответствии с программой, рекомендованной Федеральным агентством по образованию. Приобретенные студентами знания должны стать той ступенькой, которая позволит, с одной стороны, выполнить дипломный проект, а с другой – подняться к вершинам выбранной специальности. Авторы желают студентам успехов на этом пути.

Авторы не претендуют на безальтернативность предложенной структуры учебного пособия и бесспорность реализованных подходов к решению поставленных вопросов как в прикладном, так и методическом плане. Авторы надеются, что данное учебное пособие, при всех его возможных недостатках, полезно именно в настоящее время, когда ощущается острая потребность в отечественной литературе по данной дисциплине.

Принятые условные обозначения

N	– производительность (мощность) установки, аппарата
G	– массовый расход вещества
U	– объемный расход вещества
τ	– продолжительность процесса (время)
m	– масса вещества
V	– объем вещества
P	– давление
t, T	– температура
p	– парциальное давление компонента
v	– парциальный объем компонента
ρ	– плотность вещества
M	– мольная масса вещества
V_M	– мольный объем вещества
ω	– массовая доля компонента смеси
x	– мольная доля компонента смеси
φ	– объемная доля компонента смеси
n	– количество вещества
C	– концентрация компонента в суспензии или газовой смеси
χ	– конверсия вещества, выход продукта
ψ	– селективность
f	– эффективность инициирования
W_0	– объемная скорость подачи газов, жидкостей
V_K	– объем катализатора
S	– площадь поперечного сечения аппарата
D, d	– диаметр аппарата
H, h	– высота аппарата, напор
L, l	– длина аппарата
F	– площадь поверхности теплообмена
w	– линейная скорость потока
Q	– тепловой поток (расход теплоты в единицу времени)
q	– количество теплоты
K	– коэффициент теплопередачи
c	– удельная теплоемкость
r	– теплота фазового перехода
n	– частота вращения
μ	– вязкость
α	– коэффициент теплоотдачи
λ	– коэффициент теплопроводности

Часть 1. Основы проектирования производств полимеров

Глава 1. Разработка проектно-сметной документации

Полимерная отрасль России и промышленность развитых стран мира производят в больших количествах полимерные материалы, обладающие различными физическими, технологическими и эксплуатационными свойствами. Им присущи высокая прочность, минимальная плотность, долговечность, универсальность применения и т. д. Именно благодаря этим свойствам полимерные материалы получили широкое применение во всех областях человеческой деятельности. От покорения космических высот до бурения сверхглубинных скважин, от микроскопических деталей ЭВМ до гидроизоляции целых каналов и водохранилищ – всюду вынужден человек пользоваться полимерными материалами, конечно, разными, специально разработанными или подобранными для данного конкретного применения.

Однако производство любого нового полимерного материала, пусть даже самого необходимого, может быть организовано только тогда, когда для его получения разработана рациональная промышленная технология, позволяющая получать продукты требуемого качества и в необходимом количестве. Всякая технология, чтобы быть воплощенной в объект человеческой деятельности, проходит этап проектирования. Проектирование технологии производства полимера – это процесс переработки исходной информации, полученной в результате экспериментов, в конечную информацию необходимую для создания промышленного производства. В итоге получают проект или, более точно, проектно-сметную документацию (ПСД), представляющую собой сумму текстовых и графических материалов, пользуясь которыми строители и монтажники возводят, например, завод или цех синтеза полимера на определенной площадке. Образно говоря, созданию цеха в натуре предшествует его строительство на бумаге. Затем строители и монтажники осуществляют на основе ПСД возведение цеха в точном соответствии с замыслами проектировщиков.

Следует иметь в виду, что содержание и объем проекта строго регламентированы Госстроем РФ в «Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения ПСД на строительство предприятий, зданий и сооружений». В настоящее время действующей является инструкция СНиП II-01-95. ПСД включает в себя следующие разделы:

- общую пояснительную записку;
- генеральный план и транспорт;
- технологические решения;
- архитектурно-строительные решения;
- инженерное оборудование, сети и системы;
- организацию строительства;
- охрану окружающей среды;
- инженерно-технические мероприятия гражданской обороны;
- мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- сметную документацию.

Проектирование полимерных предприятий осуществляется по заданиям заказчиков. Это может быть государственная организация или частная фирма, которые инвестируют вложения в создание новых полимерных производств, зданий на земельном участке, отведенном им по государственному акту. В свою очередь, заказчик определяет генеральную проектную организацию, например Пластполимер, Гипрокаучук, которая выполняет технологическую часть проекта. Права и обязанности генерального проектировщика изложены в «Положении о проектной организации и генеральном проектировщике». Для технического руководства и организации разработки проекта генеральный проектировщик назначает главного инженера проекта.

В проектировании нового полимерного производства участвуют другие институты, которые проектируют соответствующие их профилю разделы ПСД (строительный, электротехнический и др.).

После разработки и утверждения проекта (первая стадия проектирования) создается дирекция нового строящегося предприятия и функции заказчика передаются ей. После чего заказ на дальнейшую разработку ПСД выдается уже дирекцией строящегося завода или цеха.

1.1. Проектно-сметная документация

Проект химического производства или, более точно, проектно-сметная документация – это комплекс технической документации, включающий пояснительные записки, расчеты, чертежи, сметы и соответствующий заданию на проектирование. Проектно-сметная документация описывает и изображает с минимально необходимой степенью детализации будущее производство в целом или его составные части в отдельности. Основной целью проекта является разработка ПСД, необходимой для сооружения промышленного объекта, обеспечивающего выпуск полимерных материалов определенного качества, в заданном объеме и в установленные сроки. Выпуск продукции на спроектированном объекте должен проводиться с наилучшими технико-экономическими пока-

зателями при соблюдении необходимых санитарно-гигиенических условий труда. Для осуществления этой цели требуется сооружение не только собственно производственных и вспомогательных цехов, но и энергетических объектов, складских помещений, подъездных путей, дорог и других инженерных сооружений, т. е. создание комплекса, обеспечивающего нормальную эксплуатацию производства полимеров.

1.2. Основные исходные данные для проектирования

Объем исходных данных очевидно зависит от характера намечаемого строительства (новостройка, расширение, реконструкция) и состава проектируемого объекта. Однако в любом случае в состав основных исходных данных для проектирования входят следующие документы:

- утвержденная схема развития и размещение химической и нефтехимической промышленности на проектируемом предприятии;
- данные органов экологии о состоянии атмосферы, водоемов и почв в районе площадки строительства объекта;
- технические условия на присоединение проектируемого предприятия к источникам энерго- и водоснабжения, транспортным и инженерным коммуникациям;
- отчет об инженерных изысканиях, проведенных на площадке строительства;
- каталоги на оборудование;
- каталоги местных строительных материалов, конструкции деталей и полуфабрикатов;
- сборник районных единичных расценок на строительные работы;
- сведения о генеральной подрядной строительной организации.

На проектирование нового и расширение действующего предприятия, связанных с застройкой новых территорий, дополнительно требуются:

- документация, собранная и разработанная генеральным проектировщиком в процессе выбора и согласования площадки строительства;
- утвержденный акт выбора площадки строительства;
- акт об отводе земельного участка.

На реконструкцию и техническое перевооружение действующего цеха дополнительно необходимо иметь описание действующего производства либо проектную документацию, на основании которой это производство было построено, с указанием внесенных в процессе строительства и эксплуатации дополнений и изменений.

1.3. Задание на проектирование

Основанием для начала работы над ПСД является утвержденное в установленном порядке задание на проектирование, в котором указываются следующие основные моменты:

- наименование производства и предприятия;

- наименование организации, являющейся генеральным проектировщиком;
- основание для разработки проекта (постановление директивных органов, приказ министерства и др.);
- ссылка на утвержденное технико-экономическое обоснование;
- число очередей строительства объекта (одна или несколько);
- наименование объектов-аналогов, с показателями которых сравниваются принимаемые технико-экономические показатели;
- пункт строительства, данные о проектной мощности, методе производства, технологическая схема производства, требования по внедрению нового прогрессивного оборудования, по размещению технологического оборудования вне зданий и в неотопливаемых зданиях;
- режим работы производства (непрерывный, периодический или смешанный);
- необходимость разработки АСУП и АСУТП;
- основные технико-экономические показатели, которые должны быть достигнуты в соответствии с проектом;
- основные источники снабжения производства сырьем, водой, топливом, газом, электрической энергией;
- требования по разработке вариантов проекта;
- необходимость разработки проекта с применением макетно-модельного метода проектирования;
- стадийность проектирования;
- требования к технологии, режиму предприятия;
- требования к качеству, конкурентоспособности и экологическим параметрам продукции;
- вид строительства;
- основание для проектирования;
- требования к архитектурно-строительным, объемно-планировочным и конструктивным решениям;
- выделение очередей и пусковых комплексов, требования по перспективному расширению предприятия;
- требования и разработка природоохранных мер и мероприятий;
- требования к режиму безопасности и гигиене труда;
- требования по разработке инженерно-технических мероприятий по гражданской обороне и мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- требования по выполнению опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ;
- намечаемые сроки строительства и другие.

Содержание задания на проектирование изложено в Инструкции СНиП II-01-95.

1.4. Стадийность проектирования

Разработка проектов может осуществляться в одну или две стадии в зависимости от сложности объекта. 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. Большинство же промышленных сооружений, цехов, установок проектируют в две стадии. В этом случае проектировщики разрабатывают проект со сметным расчетом стоимости и рабочую документацию.

Проект является промежуточным этапом, на котором детально прорабатываются технические решения будущего объекта полимерной химии. В дальнейшем, на стадии разработки рабочей документации, проработанные в проекте решения будут воплощены в рабочие чертежи и в таком виде переданы строителям и монтажникам для возведения объекта.

Рассмотрим более подробно двухстадийное проектирование.

На первой стадии разрабатывают *«Проект со сводным сметным расчетом стоимости»*, а на второй стадии – *«Рабочую документацию со сметами»*.

«Проект со сводным расчетом стоимости» включает нижеследующие разделы.

Раздел I – «Общая пояснительная записка». Она содержит три части: общую, технико-экономическую и генеральный план и транспорт. *Общая часть* проекта представляет собой краткое изложение основных решений по всем частям с оценкой прогрессивности и экономичности. Она также содержит исходные данные на проектирование, характеристику проектируемого объекта (цеха, завода). Здесь же делаются выводы и предложения по проекту. Кроме того, в ней приводятся сведения о соблюдении норм, правил, инструкций, государственных стандартов.

В *технико-экономической части* проводится анализ эффективности капитальных вложений, дается сопоставление технико-экономических показателей проекта с соответствующими показателями, утвержденными в генеральной схеме развития и размещения отрасли, а также с теми же показателями лучших зарубежных и отечественных аналогов.

Генеральный план и транспорт содержит краткую характеристику района и площадки строительства, оценку оптимальности выбранного варианта ее размещения, данные о составе предприятия, сведения об очередности строительства и пусковых комплексах, решения по генплану, выбору транспортных средств, защите почв от загрязнения и т. д. На генеральном плане показываются решения по инженерным и транспорт-

ным коммуникациям, указываются планировочные отметки земли, отражается благоустройство и озеленение территории объекта, выделяются очереди строительства и пусковые комплексы и т. д.

Раздел II – «Основные решения по технологии производства» включает в себя следующие части:

- монтажно-технологическая;
- автоматизация и контроль производства, включая АСУП и АСУТП;
- электроснабжение;
- связь и сигнализация;
- организация труда и управление производством.

Для технологического проектирования наиболее важной является монтажно-технологическая часть, разрабатываемая инженерами-технологами и механиками. Эта часть является основой всего проекта и в соответствии с ней разрабатываются остальные части проекта. Разработка этой части включает следующее:

- выбор метода производства, отвечающего конкретным условиям;
- создание принципиальной и контактно-технологической схемы производства полимерных материалов;
- материальные, товарные и топливно-энергетические балансы;
- расчет, выбор и разработку необходимого технологического оборудования и его рациональное размещение;
- механизацию и автоматизацию всех процессов;
- сравнение выбранных технологических процессов и оборудования с передовыми отечественными и зарубежными аналогами;
- мероприятия по защите атмосферы, гидросферы и литосферы от загрязнений.

Кроме того, этот раздел содержит сведения о потребности в сырье, реагентах, топливе и энергоресурсах, а также сведения о возможностях удовлетворения этих потребностей, производственную расчетную программу количественную и качественную характеристику товарной продукции, решения по организации ремонтных работ, соображения по освоению проектных мощностей в нормативные сроки и т. д.

К данной части проекта прилагаются:

- заказные спецификации на оборудование длительного цикла изготовления;
- ведомости на остальные серийно изготавливаемые оборудование и арматуру;
- исходные требования на разработку оборудования индивидуального изготовления, исходные данные по этому же оборудованию, полученные от разработчиков оборудования;

- чертежи – принципиальные технологические схемы процессов производства полимерных материалов, компоновки технологических установок и цехов с указанием размещения оборудования, зданий и сооружений, принципиальные схемы механизации ремонтных работ, план-схема цеховых технологических коммуникаций предприятия.

Часть «Автоматизация и контроль производства» разрабатывается инженерами по измерительной технике и автоматизации процессов производства. В этой же части содержатся решения по контролю автоматизации и дистанционному управлению технологическими процессами производства полимеров, предложения по контролю за качеством продукции. К данной части проекта прилагается ведомость на приборы, кабельные и другие серийно изготавливаемые изделия, входящие в систему автоматизации и контроля, а также принципиальные схемы автоматизации технологических процессов.

Часть «Электроснабжение» разрабатывается инженерами-электриками. В ней указываются сведения о потребности в электроэнергии и о возможности ее удовлетворения, решения по электроснабжению, электрооборудованию, электроосвещению и молниезащите цеха, мероприятия по технике безопасности.

Часть «Теплоснабжение» разрабатывается инженерами-теплотехниками. Здесь приводятся сведения о потребности в паре всех параметров и теплофикационной воде, а также о возможности удовлетворения их потребностей, решения по паро- и теплоснабжению для удовлетворения отопительно-вентиляционных потребностей.

Часть «Связь и сигнализация» разрабатывается инженерами-связистами и содержит решения по телефонизации, радиофикации, снабжению другими средствами связи противопожарной и защитной сигнализации.

Часть «Организация труда и управление производством» содержит обоснование численности производственного персонала, принципиальные решения по организации труда, АСУП и АСУТП.

Раздел III – «Основные строительные решения». Он разрабатывается архитекторами и инженерами-строителями. К данной части проекта прилагаются чертежи:

- планы, разрезы и фасады зданий и сооружений (вновь разрабатываемых),
- каталожные листы примененных типов проектов,
- эскизные решения по антикоррозионной защите строительных конструкций.

Часть «Водоснабжение и канализация» содержит сведения о потребностях в воде и о возможности их удовлетворения, о количестве и

составе производственных, ливневых и бытовых стоков, решения по водоснабжению, канализации, очистке, утилизации и сбросу сточных вод.

Часть «Отопление и вентиляция» содержит сведения о потребном количестве теплоты и электроэнергии для отопления и вентиляции, основные решения по отоплению, вентиляции и кондиционированию.

Раздел IV – «Проект организации строительства предприятия». Этот раздел содержит сведения о генеральном подрядчике, категорию строительной сложности объекта, сведения о потребностях в строительных конструкциях, изделиях, деталях, полуфабрикатах, материалах и оборудовании для строительства объекта, сведения о строительно-монтажных объемах работ, календарный план производства работ, сведения о потребностях в рабочей силе, строительных машинах и механизмах.

Раздел V – «Жилищно-гражданское строительство». Этот раздел разрабатывается только в том случае, когда намечаемое строительство нового или расширение действующего предприятия вызывает необходимость создания нового поселка или развития существующего.

Раздел VI – «Сметная документация». Данный раздел включает в себя:

- сводный сметный расчет;
- сметы на проектные и изыскательские работы;
- ведомость сметной стоимости строительства объектов, входящих в пусковой комплекс и др.

Раздел VII – «Паспорт проекта». В этом проекте обязательно отражаются:

- производственные мощности;
- потребности в сырье, реагентах, топливе и энергоресурсах, ассортимент и качество продукции;
- сметная стоимость строительства и т. д.

1.4.1. Состав рабочей документации со сметами

Рабочая документация со сметами включает в себя:

- рабочие чертежи;
- ведомости объемов строительных и монтажных работ;
- ведомости и сводные ведомости потребности в материалах поставки подрядчика;
- заказные спецификации на оборудование, изделия и материалы поставки заказчика;
- опросные листы и габаритные чертежи на отдельные виды оборудования, а также чертежи этого оборудования;
- паспорта строительных рабочих чертежей зданий и сооружений;
- сметы;

- ведомость сметной стоимости строительства объектов, пускового комплекса;
- ведомость сметной стоимости товарной строительной продукции;
- расчеты показателей изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, затрат труда и расхода основных строительных материалов при применении достижений науки и техники.

Рабочая документация разрабатывается в соответствии с государственными стандартами «Системы проектной документации для строительства» (СПДС).

1.4.2. Состав рабочего проекта со сводным сметным расчетом стоимости

Такой рабочий проект используется при строительстве сравнительно несложных и некрупных объектов, в частности, при создании опытных и опытно-промышленных установок, когда решающее значение имеет фактор времени и сокращение сроков разработки проектной документации за счет проектирования в одну стадию вместо двух. При этом практически почти вся та документация, которая была перечислена выше при рассмотрении проекта двухстадийного проектирования должна иметься и в случае «рабочего проекта», так как она необходима для представления этого проекта на экспертизу и утверждение. Но одновременно в этом случае разрабатывают и рабочую документацию, которая сразу же после утверждения рабочего проекта может быть использована строителями и монтажниками.

Обязательным условием осуществления строительства объекта полимерной химии являются предварительное рассмотрение (экспертиза) и утверждение ПСД.

Прежде чем эксперты вынесут свое решение по поводу представленного на экспертизу проекта, последний должен пройти целый ряд согласований в самых разных 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. Кроме того, должны быть согласованы в проекте решения по защите окружающей среды с органами Госкомприроды, а также вид и количество топлива (газ и др.), используемого непосредственно для технологии и отопления, необходимые трудовые ресурсы, расположение подъездных железнодорожных путей и др.

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, а также заключения договора подряда на капитальное строительство.

1.5. Заключение

Итак, ПСД является одним из важнейших звеньев научно-технического прогресса, связывающих науку, современную технику и технологию с производством, пользуясь которой можно построить то или иное здание или сооружение для производства полимерной продукции. Круг вопросов, рассматриваемых в ПСД, необычайно широк. Он охватывает все, что необходимо для обеспечения нормальной работы будущего производства. Основу ПСД составляют технические решения, краткая характеристика и обоснование решений по технологии производства, обоснование и выбор технологической схемы и схемы оборудования, технические расчеты, обоснование необходимости приобретения технологического оборудования за рубежом, мероприятия по охране окружающей среды с учетом всех отходов производства и решения по максимальному полному их использованию и т. п.

Все это сказанное выше входит в стратегию разработки и проектирования технологического процесса. Нетрудно представить себе, что стратегия эта весьма сложна и в разработке таких процессов участвуют сотни высокообразованных специалистов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое проектирование?
2. Определение проектно-сметной документации.
3. Что включает в себя задание на проектирование?
4. Перечислите основные исходные данные для проектирования цехов синтеза полимеров.
5. Содержание раздела «Общая пояснительная записка».
6. Содержание «Монтажно-технологической части».
7. Что включает в себя сметная документация?
8. Какие документы входят в состав «Рабочей документации со сметами»?
9. В каких случаях используют двухстадийное проектирование?
10. Что составляет основу проектно-сметной документации?
11. Как называется документ, в котором изложены содержание и объем разделов проекта?
12. Какие чертежи разрабатываются в проектных организациях?
13. Кто является заказчиком проекта?
14. Какая организация проектирует технологическую часть проекта?

Глава. 2. Экологическое и экономическое обоснование проектных решений

2.1. Этапы разработки технико-экономического обоснования проекта

На первой стадии проектирования, называемой предпроектной разработкой, осуществляется технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства объекта полимерного производства. Его задача – детализация решений, отраженных в обосновании инвестиций и уточнение основных технико-экономических показателей замечаемой деятельности объекта. Именно ТЭО, как правило, рассматривается в качестве основного проектного документа, где дается экологическое и экономическое обоснование проекта. Процедура такого обоснования инвестиционных проектов представлена на рис. 1.2.1.

Как видно из рис. 1.2.1, инвестиционный проект осуществляется в три этапа:

- формирование инвестиционного замысла и подготовка декларации (ходатайства) о намерениях;
- обоснование инвестиций (предпроектная стадия);
- подготовка технико-экономического обоснования (предпроектная стадия).

В декларации (ходатайстве) о намерениях формируются цели, источники и возможности инвестирования, обсуждаются варианты размещения, сроки строительства и эксплуатации объекта, предоставляются технико-экономические показатели, показывается промышленная и экологическая безопасность проекта. Экологически обосновывается выбор способа и технологии производства полимера, район размещения.

Обоснование инвестиций должно быть достаточным для проведения необходимых согласований и экспертиз, для принятия решения о выборе земельного участка, а также для принятия заказчиком решения о целесообразности дальнейшего инвестирования проектирования. На этой стадии разрабатывается оценка воздействия на окружающую среду. Оценка воздействия проводится до принятия основных решений по реализации намечаемой деятельности, а ее результаты используются при разработке и принятии решений.

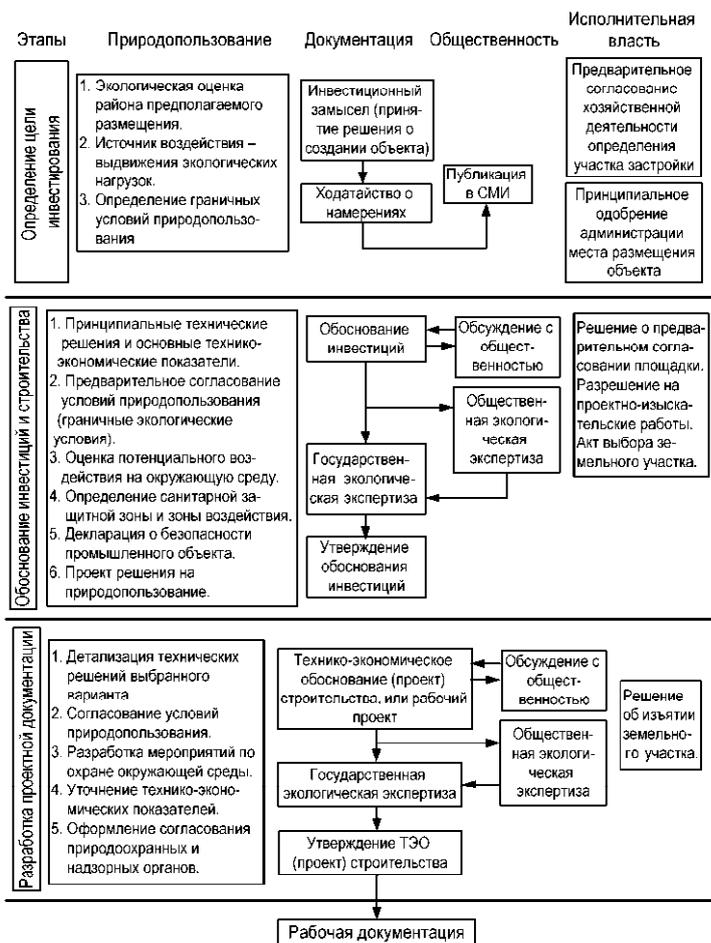


Рис. 1.2.1. Процедура обоснования инвестиционных проектов

Цели и задачи оценки воздействия на окружающую среду прописаны в законах РФ «Об охране окружающей среды». Оценка воздействия на окружающую среду – это процесс, способствующий принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработка мер по уменьшению и предотвращению воздействий объекта на окружающую среду.

Окончательный вариант оценки воздействия на окружающую среду представляется на государственную экологическую экспертизу в составе другой предпроектной и проектной документации. Возможно также проведение общественной экологической экспертизы.

Результатами оценки воздействия на окружающую среду являются:

- информация о характере и масштабах воздействия на окружающую среду проектируемым производством, альтернативах ее реализации, оценке экологических, социальных и экономических последствий из значимости и возможности минимизации;
- выявление и учет общественных предпочтений при принятии заказчиком решений, касающихся намечаемой деятельности проектируемого объекта;
- решения заказчика по определению альтернативных вариантов реализации намечаемой деятельности (в том числе о месте размещения объекта, о выборе технологической схемы и т. п. или отказа от нее, с учетом результатов проведенной оценки воздействия на окружающую среду).

При положительном заключении экологической экспертизы заказчик утверждает ТЭО для разработки на его основе рабочего проекта.

2.2. Экологическая экспертиза проекта

Под экологической экспертизой понимают самостоятельный вид государственного экологического контроля. Она имеет превентивное значение, так как совершается до начала деятельности, а также выступает гарантом выполнения экологического законодательства (федеральный закон «Об экологической экспертизе», а также «Положение о порядке проведения государственной экологической экспертизы» и «Регламент проведения государственной экологической экспертизы»).

Цель экологической экспертизы – предупреждение возможных негативных последствий от планируемой деятельности человека на среду его обитания и на природную среду в целом. Она отвечает на следующие вопросы:

- не противоречит ли проектируемое производство экологическому законодательству РФ или субъектов РФ;
- соответствует ли производство полимерных материалов требованиям нормативных актов по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов;
- достаточно ли полно произведена оценка воздействия объекта полимерной химии на окружающую среду;
- допустима ли намечаемая деятельность проектируемого объекта с точки зрения безопасности окружающей среды и населения;
- достаточны ли предусмотренные проектом меры по охране окружающей среды.

Однако основным вопросом, на который должна ответить государственная экологическая экспертиза, это возможность реализации проекта:

- рекомендовать проект к реализации или не рекомендовать проект к реализации;
- отправить проект на доработку, определив масштабы и направления его совершенствования.

Следует иметь в виду, что кроме государственной экологической экспертизы существует общественная экспертиза. Она выступает средством вовлечения заинтересованной общественности в механизм принятия экологически значимых решений.

2.3. Принципы экологической экспертизы проектов

Они сформулированы в федеральном законе «Об экологической экспертизе» и должны соблюдаться всеми участниками экспертного процесса, включая заказчика проекта, проектные организации, органы экспертизы и общественные организации. Вот они:

- презумпция потенциальной экологической опасности людей намечаемой хозяйственной деятельности объекта;
- обязательность проведения государственной экологической экспертизы;
- комплексность оценки воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности объекта;
- обязательность учета требований экологической безопасности;
- достоверность и полнота информации, представляемой на экспертизу;
- независимость экспертов экологической экспертизы;
- научная обоснованность, объективность и законность экспертных заключений;
- гласность, участие общественных организаций, учет общественного мнения;
- ответственность участников экологической экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение и качество экологической экспертизы.

Так, первый принцип означает, что любой вид хозяйственной деятельности может влечь за собой экологические последствия для окружающей среды. В этом случае обязанность заказчика намечаемой деятельности – дать экологическое обоснование проекта. Второй принцип означает, что заказчик не вправе принимать решение о реализации намечаемой деятельности и осуществлять ее без положительного заключения государственной экологической экспертизы. Заказчик обязан провести ее до начала строительства объекта. Третий принцип предполагает подготовку заказчиком и проектировщиком-оценщиком материалов по оценке воздействия, в которых определяются воздействие, его масштаб, область

распространения, изменения в окружающей среде и т. д. Задача экспертов – провести оценку воздействия, определить достаточность, обоснованность выбранных систем и методов оценивания и прогнозирования, оценить комплексность оценки воздействия. Четвертый принцип предусматривает обязанность участников эколого-экспертного процесса соблюдать правовые, экологические требования проектирования, размещения, строительства и эксплуатации объектов экспертизы, выявлять, соблюдаются ли нормативы качества окружающей среды в случае реализации проекта. Пятый принцип обязывает заказчика проекта объекта полимерной промышленности обеспечить представление на государственную экспертизу достоверной и полной информации об объекте экспертизы, оценки его воздействия на окружающую среду, о современной экологической ситуации в регионе, реализации проекта и т. д. При невыполнении заказчиком принципов достоверности и полноты информации, представленной на экспертизу, экспертный орган может вернуть заказчику материал на доработку. Шестой принцип означает, что в работу эксперта никто не имеет права вмешиваться. В соответствии с этим принципом эксперт свободен в оценках экспертируемого объекта и выводах по нему. Оказываемое в любых формах давление на эксперта является противоправным действием. Седьмой принцип является весьма важным, так как он требует научную аргументацию содержащихся в заключении экспертизы выводов и суждений. Критериями при этом могут служить не только собственные научные утверждения, ссылки на позиции и труды авторитетных ученых, но главным образом положения законодательства в области охраны окружающей среды.

Содержание этого принципа законности заключений экологической экспертизы заключается в том, что при планировании, проектировании деятельности заказчик (проектировщик) обязан учесть (выполнить, соблюсти) экологические требования, в том числе предусмотренные законодательством об охране окружающей среды. В противном случае комиссия не вправе принять положительное заключение государственной экологической экспертизы. И наконец, восьмой принцип устанавливает обязанность субъектов эколого-экспертного процесса выполнить требования законодательства относительно информирования заинтересованных сторон о проводимой экологической экспертизе, участия в них общественных организаций. Невыполнение этой обязанности считается правонарушением и основанием для привлечения виновных лиц к ответственности.

Девятый принцип означает, что в случае невыполнения требований организации и проведения экспертизы они будут нести ответственность, предусмотренную действующим законодательством РФ.

Подготовленная экспертной комиссией Государственная экологическая экспертиза (ГЭЭ) утверждается приказом соответствующего министерства (например, природных ресурсов) и приобретает статус официального государственного документа ГЭЭ, в котором также определен срок действия решения. Положительное заключение является одним из обязательных условий начала финансирования проекта экспертизы.

Итак, в соответствии с законом РФ «Об охране окружающей среды» в обязательном порядке проводится экологическое обоснование любых проектов. Ни один из них не должен проектироваться и тем более внедряться, если заблаговременно не выявлен возможный ущерб для охраны окружающей среды в результате его осуществления. Кроме того, нужно ответить на другой вопрос – безотходное это производство или нет? Так, если это проектируемое производство не отвечает экологическим требованиям, то его разработка будет приостановлена на самых ранних стадиях проектирования.

2.4. Степень экологической чистоты технологических процессов синтеза полимеров

Критерием степени экологической чистоты объекта новой техники, технологического процесса производства продукции и его эксплуатации служит количество отходов, образующихся при получении единицы готовой продукции (эксплуатации одного агрегата) с учетом токсических свойств отходов. Для проведения экологической экспертизы объекта новой техники может служить величина ожидаемого для этого объекта уровня загрязнения:

$$Q_{\text{HT}} = \sum_{i=0}^T Q_M \cdot N_i \cdot T,$$

где Q_M – масса загрязнения, вызываемого использованием одной единицы создаваемой техники или единичного технологического процесса, в течении года; N_i – число объектов новой техники данного вида, используемых в промышленности в течение года; T – прогнозируемый средний срок службы новой техники.

Технологический процесс или техническая система считаются экологически более безопасными и могут быть внедрены или приняты к производству в том случае, если уровень загрязнений для нового объекта не превышает таковой для старого. Масса загрязнений, образующихся при эксплуатации технологического процесса, определяют по материальному балансу производства.

В. Ремезом и А. Шубиным и другими предложен критерий экологичности $K_{\text{Э}}$, рассчитываемый по формуле

$$K_{\text{Э}} = \sum m_i^{\text{ж}} \cdot \frac{C_i^{\text{ж}}}{\text{ПДК}_i^{\text{ж}}} + \sum m_i^{\text{г}} \cdot \frac{C_i^{\text{г}}}{\text{ПДК}_i^{\text{г}}} + \sum m_i^{\text{т}} \cdot \frac{C_i^{\text{т}}}{\text{ПДК}_i^{\text{т}}},$$

где $m_i^{\text{ж}}$, m_i^{Γ} , m_i^{T} – количество i -го токсичного компонента жидких, газообразных и твердых отходов соответственно, т/т продукта; $C_i^{\text{ж}}$, C_i^{Γ} , C_i^{T} – концентрация i -го компонента в жидких (мг/дм³), газообразных (мг/м³) и твердых (мг/кг) отходах; ПДК $_i^{\text{ж}}$ – предельно допустимая концентрация i -го компонента в воде рыбохозяйственных водоемов (мг/дм³); ПДК $_i^{\Gamma}$ – предельно допустимая концентрация i -го компонента в воздухе населенных мест (мг/м³); ПДК $_i^{\text{T}}$ – предельно допустимая концентрация i -го компонента в почве (мг/кг).

Критерий экологичности состоит из трех частей: параметров учета соответственно жидких, газообразных и твердых отходов (A , B и C).

При расчете параметров A количество i -го компонента в жидких отходах $m_i^{\text{ж}}$ определяют по формуле

$$m_i^{\text{ж}} = 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{C_i^{\text{ж}} \cdot Q \cdot n}{P},$$

где Q – количество жидких отходов, м³/ч; n – число рабочих дней в году; P – выпуск продукции, т/год.

Для газообразных выбросов для каждого j -го источника количество i -го токсичного компонента рассчитывают по формуле

$$m_i^{\Gamma_j} = C_i^{\Gamma_j} \cdot V_j \cdot 10^{-6},$$

где $C_i^{\Gamma_j}$ – концентрация i -го компонента в j -м источнике, мг/м³, V_j – объем выбросов в j -м источнике, м³/ч.

Количество i -го токсичного компонента, выбрасываемого с газообразными отходами j -м источником, определяется суммированием $m_i^{\Gamma_j}$ по i -му компоненту с учетом рабочего времени:

$$m_i^{\Gamma} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{m_i^{\Gamma_j} \cdot n}{P},$$

Среднюю концентрацию i -го компонента в газообразных отходах C_i^{Γ} можно рассчитать по уравнению вида

$$C_i^{\Gamma} = \frac{\sum C_i^{\Gamma_j} \cdot V_j}{\sum V_j},$$

где $\sum V_j$ – общий объем вредных выбросов, м³/ч.

Количество i -го токсичного компонента в твердых отходах определяют по формуле

$$m_i^{\text{T}} = \frac{G_{\text{T}} \cdot x_i}{100 \cdot P},$$

где G_T – количество твердых отходов, т/год; x_i – содержание i -го токсичного компонента в твердых отходах, %.

Ниже приводятся результаты расчетов критерия экологичности гипотетического метода производства химического продукта (табл. 1.2.1).

Таблица 1.2.1

Результаты расчета критериев экологичности

Производство продукта	$K_Э$	Параметр A (жидкие отходы)	Параметр B (газообразные отходы)	Параметр C (твердые отходы)
1	$1,57 \cdot 10^3$	$0,93 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$
2	$0,79 \cdot 10^3$	$0,19 \cdot 10^3$	2,2	$6 \cdot 10^2$
3	$0,12 \cdot 10^3$	0,054	$0,12 \cdot 10^3$	0
4	0,84	0,54	0,3	0

Поскольку для безотходной технологии критерий $K_Э$ должен быть равен нулю, то, как видно из данных табл. 1.2.1, наиболее экологически приемлемо производство 4, а самым «грязным» из представленных является производство 1.

Для более ясного понимания факторов, определяющих величину критерия $K_Э$, на рис. 1.2.2 приведены доли жидких, газообразных и твердых отходов в величине $K_Э$.

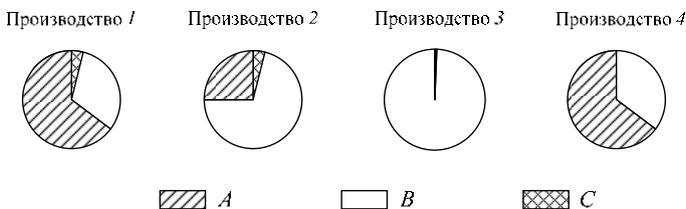


Рис. 1.2.2. Распределение отходов при различных гипотетических схемах производства химического вещества:

A – жидкие отходы; B – газообразные отходы; C – твердые отходы.

Низкая экологичность производства 1 химического соединения более чем наполовину определяется жидкими отходами. Две трети вредного воздействия технологии на окружающую среду в производстве 2 приходится на твердые отходы. Производство 3 практически имеет только газообразные выбросы. И даже для запроектированного производства 4, имеющего минимальное значение критерия $K_Э$, можно сделать выводы о соотношении имеющихся технологических отходов.

Итак, критерий экологичности $K_Э$ может быть использован для сравнения традиционных технологических процессов получения товарной продукции с перспективными безотходными и малоотходными технологиями, что существенно облегчает оценку безотходности.

2.5. Техничко-экономическое обоснование проекта

Разрабатывают ТЭО экономисты-проектировщики. Исходными данными для расчета ТЭО служат наиболее предпочтительный метод получения полимера и расчет базирующихся на этом выборе метода технико-экономических показателей, а также выбор наиболее выгодной и целесообразной площадки для строительства цеха и др.

В ТЭО приводятся соображения по поводу экономической целесообразности строительства цеха производства полимеров. В этом документе рассматривается комплекс вопросов, связанных с оценкой эффективности проектируемого цеха производства полимеров. Так, к основным вопросам, разрабатываемым в ТЭО относятся:

- определение и обоснование мощности производства, номенклатуры и качества полимеров;
- выбор метода производства полимера;
- выявление потребности в сырье, уточнение требований к нему и источников его поступления и др.;
- выбор площадки для строительства цеха;
- расчетная стоимость строительства.

2.5.1. Исходные положения для разработки технико-экономического обоснования

Исходными положениями для разработки ТЭО являются:

- стратегия развития производства полимерных материалов;
- характеристика роли данного предприятия и обеспечение роста мощностей и покрытия потребностей в полимерах, намечаемых к выпуску.

В первом подразделе необходимо указать основные задачи развития пластмасс в России в соответствии со стратегией развития полимерных материалов. Эта стратегия состоит в том, чтобы быстро и целеустремленно вести научные исследования, проектные и конструкторские разработки, которые обеспечат создание и освоение принципиально новой технологии и техники. Конъюнктура производства синтетических полимеров в промышленности пластмасс складывалась таким образом, что по большинству этих материалов имеется дефицит даже с учетом закупки некоторых материалов за рубежом. Дефицит покрывается или традиционными материалами (металл, керамика), или менее эффективными полимерами, или просто приводит к сокращению производства. Во всех случаях страна терпит ущерб.

Поскольку нехватка синтетических полимеров приводит к снижению эффективности промышленности России в целом, первоочередной задачей является ускоренный рост производства современных полимерных материалов. Возможны следующие пути ее решения:

- разработка и создание новых производств за счет собственных ресурсов и имеющегося научного потенциала;
- использование возможностей интенсификации, модернизации, реконструкции существующих производств;
- кооперация в разработке новых производств с развитыми в экономическом отношении странами Европы, Америки и др.;
- закупка лицензии и оборудования для создания и модернизации производства.

Первый путь развития был по историческим причинам единственным возможным по длине отрезка времени в развитии России. Однако при сложившемся мировом разделении труда невозможно все направления научно-технического развития поддерживать своими силами на высоком уровне при дефиците капитальных вложений.

Второй путь развития относится скорее к тактике, чем к стратегии. Обновление морально устаревшего оборудования и устаревшей технологии обычно противопоставляется строительству новых предприятий.

Основной экономический эффект заключается в возможности использования сложившихся инфраструктур (энергетические сети, транспортные магистрали, жилой фонд и т. д.). Другим достоинством такого подхода является возможность использования имеющихся кадров. Но и у этого подхода есть недостатки и ограничения. Так, недостатки обычно связаны со сложностью проектирования, строительства и производства монтажных работ на застроенной территории, необходимостью остановки действующего производства. Ограничения определяются резервной мощностью энергосистем и возможностью охраны окружающей природной среды.

Кооперация в разработке с иностранными фирмами – перспективный путь развития отрасли. Обмен лицензиями и технологиями принял особенно большой размах в связи с ускорением научно-технического прогресса. Основной тезис, которым руководствуется современное мировое сообщество при обмене технологиями, состоит в том, что покупка технологии выгоднее, чем самостоятельное ее воспроизводство. При покупке технологии появляется возможность скачкообразно обогатиться новой технической информацией и максимально использовать при этом преимущества как на внутреннем, так и внешнем рынке. Однако в любом случае далеко не безразлично, что закупается: лицензия на технологию вместе с комплектным оборудованием, только оборудование под разработанную отечественную технологию или отдельные виды оборудования для комплектации. Наиболее выгодным и целесообразным является закупка второго и третьего типа.

Таким образом, необходимо максимально сосредоточить усилия специалистов на разработках новой технологии. Это позволит отказаться в значительной степени от закупок импортной технологии и, наоборот, увеличит продажу лицензии «ноу-хау» на отечественные разработки.

Прогнозирование потребности в полимерных материалах представляет большие трудности. Это связано с тем, что они применяются практически во всех отраслях материального производства и непродуцированной сферы, взаимозаменяемых с древесиной, керамикой, металлами и другими материалами, их области постоянно расширяются. Производство полимерных материалов во всем мире непрерывно развивается. Дальнейшее развитие получают такие полимеры как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, феноло- и мочевиноформальдегидные смолы, стеклопластики, эпоксидные полимеры и другие. Для выполнения этих задач все большее значение приобретает технический уровень технологии: экономичность производства, минимизация удельных капиталовложений, энергоёмкость, степень безотходности.

Вот те основные направления прогресса, который должен позволить уменьшить дефицит в полимерных материалах, испытываемый промышленностью России.

При характеристике роли данного предприятия нужно указать, за счет чего будет происходить обеспечение роста мощности проектируемого производства. Здесь необходимо отразить соответствие решений ТЭО схеме развития и размещения отрасли промышленности пластических масс и схеме развития и размещения производственных сил экономического района страны. Кроме того, дается характеристика состояния действующего предприятия, оценка и анализ его деятельности и основные технико-экономические показатели его работы.

2.5.2. Обоснование потребности в продукции предприятия

Обоснование потребности промышленности России в продукции предприятия, его проектной мощности и специализации.

При разработке этого раздела ТЭО указывают следующие моменты:

- ассортимент и качество продукции;
- текущие и перспективные балансы производства и потребления полимерных материалов 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.

2.5.3. Выбор площадки строительного объекта

Здесь дается обоснование места размещения проектируемого предприятия. Процесс выбора площадки строительства освещен в «Справочном пособии заказчика-застройщика». Ответственным за организацию выбора площадки для размещения объекта является заказчик проекта, который затем поручает генеральной проектной организации сбор, подготовку и разработку материалов, необходимых при ее выборе.

В основу выбора района строительства должна быть положена схема районной планировки экономического района. При решении вопроса о выборе района строительства необходимо учитывать следующие условия:

- наличие удобного места для строительства зданий и сооружений;
- природные, топографические, гидрогеологические, метеорологические условия;
- наличие сырья;
- наличие железных и автомобильных дорог, а также водных путей сообщения;
- размеры затрат на строительство для осуществления транспортных связей в период строительства и эксплуатации объекта (цеха, завода);
- наличие в районе строительства рабочей силы и жилого фонда;
- наличие рынка сбыта полимерных изделий;
- энергетические ресурсы завода;
- возможность снабжения предприятия водой;
- возможность кооперирования с другими предприятиями города.

После выбора района строительства выбирают площадку для строительства, при этом предусматривают следующие факторы:

- достаточные размеры площадки и возможность ее расширения;
- удобства конфигурации участка;
- топографические условия участка и прилегающей местности, обеспечивающие минимальные затраты на земляные работы по планировке площадки под здание и транспортные пути;
- удовлетворительные геологические и гидрогеологические условия, обеспечивающие возможность строительства без применения дорогостоящих искусственных оснований и глубоких фундаментов;
- удобное примыкание к магистральным путям сообщения (железнодорожным, автомобильным и водным);
- наиболее выгодное расположение площадки по отношению к источникам воды и месту сброса сточных вод, к источникам энергии и населенным пунктам.

Генеральный проектировщик по поручению заказчика осуществляет предварительный выбор нескольких вариантов размещения объекта.

В комплексе работ по выбору вариантов размещения площадки входят:

- инженерные обследования и в необходимых случаях изыскания в объеме, потребном для выбора площадки;
- получение у заинтересованных организаций предварительных условий на подключение объекта к инженерным и транспортным коммуникациям;
- разработка проектных предложений по технологической схеме и составу предприятия, схеме генерального плана, энерго- и водоснабжению, транспорту сырья и готовой продукции, защите окружающей среды;
- обосновывающие расчеты на основе собранных материалов и разработанных предложений, а также на основе данных утвержденной схемы развития и размещения отрасли;
- технико-экономическое сравнение выбранных вариантов размещения площадки строительства с предложением оптимального варианта.

Разработанные материалы и обосновывающие расчеты по рекомендуемой площадке строительства объекта генеральный проектировщик направляет на рассмотрение и согласование заказчику и по его поручению органам Госгортехнадзора, заинтересованным организациям и территориальной проектной организации Госстроя России, представители которой будут принимать участие в окончательном выборе варианта размещения площадки под проектируемый объект.

Приказом министерства назначается комиссия по окончательному выбору варианта размещения площадки строительства. Ее председателем назначается заказчик проекта. Комиссия составляет акт выбора площадки для строительства, который оформляется подписями всех членов комиссии. Затем этот акт утверждается министерством. Вслед за утверждением акта заказчик привлекает специализированные изыскательские организации для топогеодезической съемки выбранной площадки и проведения на ней инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, необходимых для разработки проекта и рабочей документации.

2.5.4. Основные технологические решения в проектах

Основу проекта составляет технологические решения, содержащие следующие данные:

- расчетная производственная программа;
- краткая характеристика и обоснование решений по технологии производства полимеров, его трудоемкости, механизации и автоматизации;
- сравнение технологии с передовыми техническими решениями отечественной и зарубежной практики;
- предложения по организации контроля за качеством продукции;

- состав и оценка новизны выбранного оборудования;
- обоснование необходимости приобретения технологического оборудования за рубежом;
- характеристика межцеховых и цеховых коммуникаций;
- обоснование численности производственного персонала и организация управления производством, включая принципиальные решения по теплоснабжению, электроснабжению и электрооборудованию;
- основные положения по АСУ ТП и АСУП, мероприятия по охране окружающей природной среды с учетом всех отходов производства и решений о максимально полном их использовании;
- решения по применению малоотходных и безотходных технологий;
- данные о трудоемкости изготовления продукции;
- состав и обоснование применяемого оборудования (в том числе и приобретаемого по импорту);
- энергетические и материальные балансы;
- основные строительные решения по наиболее крупным и сложным задачам и т. д.

2.6. Экономика строительства предприятия и производства продукции

Экономическая целесообразность проектируемого объекта полимерной химии базируется на следующих показателях:

- удельные капитальные вложения;
- сопряженные капитальные затраты;
- приведенные затраты;
- удельные энергозатраты;
- себестоимость продукции;
- затраты на охрану окружающей среды;
- удельные расходы сырья и полуфабрикатов;
- сравнение технического уровня и важнейших технико-экономических показателей проектируемого предприятия с уровнем и показателями действующих передовых отечественных и зарубежных предприятий;
- эффективность полимерных материалов в сфере их применения;
- уровень и стабильность качества получаемых полимерных материалов;
- производительность на одного рабочего.

Таким образом, работа над составлением ТЭО начинается с того, что сначала приводятся соображения по поводу экономической целесообразности нового производства, обосновывается выбранная точка строительства, рассматриваются вопросы сырьевого обеспечения, рассчитываются показатели себестоимости продукции и производительности труда. Кроме того, на основании расчетных значений годовой прибыли от реализации получаемой продукции и полной стоимости строительства

определяются сроки окупаемости вложенных в создание новых средств производства, которые сравниваются с отраслевыми нормативами.

Решение о целесообразности создания новой технологии и ее проектирование применяется на основе технико-экономических показателей, важнейшими из которых являются капитальные затраты, удельные расходы сырья и полуфабрикатов, энергозатраты, затраты на охрану окружающей среды и другие. Следовательно, необходима тщательная, квалифицированно выполненная работа инженеров-экономистов, чтобы они могли представить заинтересованной стороне технико-экономическое обоснование проекта, без которого невозможна дальнейшая его разработка.

2.7. Заключение

До того, как будет запущено промышленное производство полимера, нужно провести подсчет его экологической и экономической эффективности. Под экологической эффективностью понимают минимизацию воздействия объекта на окружающую среду при заданных производительности и качестве выпускаемых полимеров. Именно экология и экономика определяют в конечном счете судьбу нового объекта. Какой эффект даст применение нового полимера в промышленности, каковы будут расходы на организацию производства? Какова будет себестоимость полимера? Кроме этого, нужно ответить на другой вопрос: насколько экологично проектируемое производство?

Разработка документации на этом этапе начинается с формирования инвестиционного замысла и подготовки «Декларации (ходатайства) о намерениях», затем проходит этап обоснования инвестиций. На следующем этапе готовится технико-экономическое обоснование проекта, в котором суммируются все экономические расчеты по производству. При его обсуждении окончательно решается, каким быть новому производству. Предпроектная разработка новой технологии помимо экологического и экономического обоснования технологии дает возможность самим проектировщикам технологического процесса взглянуть на него под новым углом зрения, выявить недоработанные вопросы и наметить пути исправления замечаний и, возможно, дополнительных экспериментальных исследований.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие документы разрабатываются на предпроектном этапе?
2. Почему проводится экологическое обоснование проекта?
3. Какие цели формируются в «Декларации о намерениях»?
4. Цели и задачи оценки воздействия объекта на окружающую среду?
5. Что понимают под экологической экспертизой?
6. Каковы цели экологической экспертизы?
7. На какие вопросы отвечает экологическая экспертиза?
8. Что означает презумпция потенциальной экологической опасности для людей от проектируемого производства.
9. Что означает принцип независимости экспертов при разработке экологической экспертизы?
10. Основные вопросы, разрабатываемые в ТЭО.
11. Исходные положения для разработки ТЭО.
12. В чем заключается стратегия развития производства полимеров?
13. Какие условия следует учитывать при выборе площадки для строительства цеха производства полимера?
14. Какие экономические показатели определяют экономическую целесообразность проектируемого объекта?
15. Какие работы входят в комплекс работ по выбору вариантов площадки строительства?

Глава 3. Принципы создания безотходных и малоотходных производств полимеров

Исходя из государственных задач охраны окружающей среды, в настоящее время важнейшим требованием при разработке новых химических производств является создание безотходных производств (БОП). С этой точки зрения необходимо создавать технологию, которая позволила бы сбрасывать химические соединения (мономеры, полимеры, растворители и т. д.) в окружающую среду только в допустимых санитарными нормами количествах, причем только те вещества, которые могут усваиваться микроорганизмами. Именно такой подход к охране окружающей среды будет определять путь интенсивного развития полимерной отрасли промышленности разных стран.

В этой главе рассматриваются принципы создания БОП, которые подразделяются на:

- методологические;
- химические;
- технологические;
- организационно-управленческие.

Все эти перечисленные принципы реализуются в виде конкретных приемов и методов, позволяющих приблизить полимерное производство к безотходному.

3.1. Термины и определения

Прежде чем мы перейдем к раскрытию путей реализации конкретного принципа, дадим определение терминов БОП. Так, известно много определений безотходного производства любого продукта, включая и полимеры. Нам представляется более полным следующее определение БОП. Безотходная технология – это такой способ организации производства продукции (цех, завод и т. д.), при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле «сырьевые ресурсы – производство – потребление – вторичные сырьевые ресурсы» таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования.

В этом 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-промышленного комплекса (ТПК). Следовательно, БОП должно быть практически замкнутой системой, организованной по аналогии с природными экологическими системами.

В таких системах продукты жизнедеятельности одних организмов используются другими и в целом осуществляют саморегулирующийся биогеохимический круговорот веществ. Но, в отличие от них, основу БОП составляет сознательно организованный и регулируемый человеком техногенный круговорот сырья, продукции и отходов производства.

Поскольку создание БОП – длительный процесс, то в качестве промежуточного этапа для практических целей допустимо использование малоотходного производства (МОП). При этом под малоотходным понимается такой способ производства, при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами. При этом часть сырья и материалов по техническим и другим причинам переходит в отходы и направляется на длительное хранение и захоронение.

Для вновь строящихся производств безотходная технология должна быть заложена на поисковой и предпроектной стадии, затем конкретизирована при проектировании и реализована в ходе строительства объекта.

3.2. Основные задачи в области создания безотходных производств

В настоящее время перед учеными и технологами стоят следующие основные задачи, решающие проблемы охраны окружающей среды на предприятиях полимерной отрасли промышленности:

- разработка полимерных технологий, которые позволили бы увеличивать выпуск необходимых стране полимерных материалов, не нарушая требований экологии, т. е. безотходных или малоотходных технологий;
- создание новых производств, использующих в качестве сырья собственные отходы и выбросы;
- определение перечня химических соединений, которые могут быть усвоены природными биологическими системами;
- научное определение допустимых количеств различных соединений, которые могут попадать в биосферу без вредных последствий для нее;
- создание малоэнергоёмких производств и производств с малым потреблением воды, разработка методов очистки сточных вод в производствах полимеров.

3.3. Общие подходы к созданию безотходных производств

В связи с нехваткой сырьевых ресурсов в мире наблюдается тенденция по сохранению их потребления и увеличению использования вторичных материалов. Как показал мировой опыт, 80% экономии материальных ресурсов связано с внедрением ресурсосберегающих технологий и лишь 20% с другими мероприятиями. В России более 50% экономии топливно-энергетических ресурсов в химической промышленности

можно получить за счет совершенствования технологических процессов, примерно 20% – путем полного использования вторичных энергетических ресурсов и 25% за счет организационно-технических мероприятий. Следовательно, актуальна задача разработки схем, предусматривающих полную переработку сырья в продукты с использованием вторичных энергоресурсов на базе принципов рециркуляции и цикличности. При рециркуляции предусматривается создание замкнутых технологических комплексов с возвратом на вход непрореагировавшего сырья. При создании БОП необходимо вовлекать отходы в промышленный оборот в виде сырья, полученного из этих отходов. В производствах полимеров есть примеры переработки вторичного полимерного сырья в различные изделия, трубы и т. д. Необходимо также разрабатывать технологические схемы по превращению отходов во вторичное сырье. Например, пиролизом полистирола и полиметилметакрилата получают соответственно стирол и метилметакрилат, которые можно затем использовать в получении соответствующих полимеров.

3.3.1. Методологические принципы

При создании БОП применяются нижеследующие методологические принципы:

- по возможности полное использование сырья для производства полимеров при максимальной экономии энергии, вспомогательных материалов, в том числе воды, в рамках функционирования каждого предприятия;
- использование побочных продуктов и отходов одного производства для другого, для которого они могут служить сырьем. Создание на этой основе комбинатов, на предприятиях которых происходит последовательное углубление переработки сырья;
- расширение производственных связей между разными безотходными производственными комплексами и повышение тем самым степени замкнутости общей производственной системы как в хозяйственном, так и в биогеохимическом отношении;
- повышение надежности работы всех аппаратов и производств в целом.

3.3.2. Принцип системности

В соответствии с этим обобщающим принципом производство полимеров рассматривается как замкнутая система, взаимодействующая с окружающей средой материальными и энергетическими потоками. Моносистемный анализ БОП должен соответствовать следующей схеме:

- микрокинетический уровень;
- макрокинетический уровень;
- реакционный объем, реактор;
- цех и производственное объединение;
- технобиогеоценоз и биотехносфера.

Лидирующей подсистемой здесь является первая. С позиции промышленной экологии эту иерархию подсистем следует рассматривать как часть большой системы, связанной с окружающей средой. Причиной загрязнения окружающей среды на микрокинетическом уровне БОП являются побочные реакции. На макрокинетическом уровне такими причинами являются нестационарность тепло- и массообмена, в реакционном объеме – несовершенство гидродинамики; в реакторе – несовершенство его конструкции; в цехе – неоптимальная технологическая структура; на производственном объединении – нерациональное комбинирование установок и узкий технологический подход; в биотехносфере – стихийное хозяйствование.

При анализе технологического процесса синтеза полимера особое внимание следует обращать на взаимодействие составляющих его элементов. Если последовательно анализировать данную сертифицированную систему, переходя от низших подсистем к высшим, то ее математическое описание представляется в виде совокупности кинетических моделей подсистем.

Например, для батареи реакторов идеального смешения математическая модель процесса полимеризации записывается в виде системы дифференциальных уравнений, отражающих условия материального и теплового балансов для i -го реактора:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{M_i}}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (C_{M_{i-1}} - C_{M_i}) - r_i; \\ \frac{dC_{П_i}}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (C_{П_{i-1}} - C_{П_i}) + r_i; \\ \frac{dC_{K_i}}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (C_{K_{i-1}} - C_{K_i}) + \frac{G_{K_i}}{V \cdot \rho} \cdot C_{K_i}; \\ \frac{dT_i}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (T_{i-1} - T_i) + \frac{q}{c_p} \cdot r_i - \frac{\alpha_T \cdot F}{V \cdot \rho \cdot c_p} \cdot (T_i - T_X); \\ \frac{dn_i}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (n_{i-1} - n_i), \quad i = 1 \dots n; \end{aligned}$$

где C_{M_i} , $C_{П_i}$ – массовые концентрации мономера и полимера, % масс.; V – эффективный объем реактора, м³; G_p – расход реакционной среды (мономер и растворитель), кг/ч; ρ – плотность реакционной смеси, кг/м³; q – тепловой эффект реакции, кДж/кг; c_p – удельная теплоемкость реакционной смеси, кДж/(кг·К); α_T – коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К); F – поверхность теплоотдачи, м²; T_X – температура хладагента, К; n – число реакторов в каскаде.

3.4. Химические принципы снижения отходов в полимерных производствах

Активному изменению самих технологических производств полимеров с целью комплексной, более полной переработки исходных мономеров в полимеры и, тем самым, сокращению до минимума отходов способствуют химические принципы. Общность этих принципов заключается в том, что все они реализуются в виде конкретных химических приемов и методов, позволяющих приблизить полимерное производство к безотходному.

3.4.1. Создание малостадийных полимеризационных процессов

Создание таких процессов важно как с экологической, так и с экономической точек зрения. Установлено, что чем меньше стадий процесса требуется при получении полимеров из мономеров, тем меньше получается отходов. При этом также сокращаются расходы энергии и уменьшается число потоков, которые необходимо перерабатывать и энергию которых необходимо утилизировать. В конечном счете себестоимость полимера, полученного по методу с меньшим числом стадий, как правило, ниже. Подтверждением сказанного служат сравнительные данные по полимеризации стирола различными методами. Например, относительная стоимость единицы продукции при непрерывном производстве полистирола составила:

- в массе (4 стадии) – 1,00;
- суспензии (9 стадий) – 1,10.

3.4.2. Разработка технологий, позволяющих достигать высоких конверсий

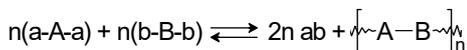
При создании БОП следует стремиться к достижению высоких конверсий мономера за один проход. Это обусловлено тем, что при малых конверсиях необходимы большие рециклы сырья, которые будут приводить к значительным энергетическим и капитальным затратам. Кроме того, при больших рециклах будут и большие потери этих веществ в окружающую среду. Как известно, конверсия мономера зависит от температуры, давления, концентрации катализатора, от времени пребывания мономера в реакционном пространстве и т. п. В связи с этим необходимо подбирать оптимальные условия проведения процесса.

Например, в производстве полиэтилена под высоким давлением с повышением температуры возрастает конверсия мономера, однако молекулярная масса полиэтилена при этом снижается. Кроме того, повышение температуры увеличивает количество двойных связей в полиэтилене и степень его разветвленности. Конверсия мономера возрастает также при

увеличении давления. На конверсию этилена в полиэтилен существенно влияет время пребывания мономера в реакционном пространстве. Например, в исследованном интервале температур от 160 до 225°C конверсия становится постоянной после определенного времени пребывания в зоне реакции. Дальнейшее пребывание этилена в реакционной зоне не увеличивает конверсию, так как в условиях реакции полимеризации инициатор (пероксиды) распадаются очень быстро, вследствие чего полимеризация мономера прекращается.

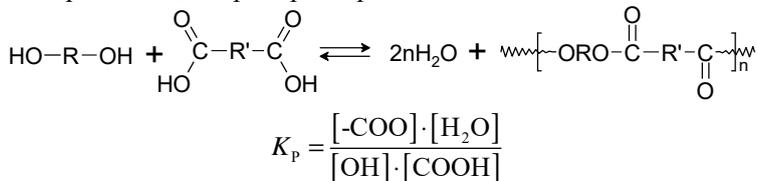
3.4.3. Смещение равновесия при обратимых реакциях

Реакцию поликонденсации в общем виде можно представить в виде следующей схемы:



где a – OH, NH₂, b – COOH, CHO, C=O и др.

Константа равновесия для данной реакции $K_p = \frac{k_1}{k_2}$. В равновесном состоянии K_p можно выразить через равновесные концентрации составляющих реагентов, например для реакции



Для смещения равновесия вправо необходимо удалять воду. Поскольку постоянно отводится вода, то исходные продукты переходят в полимер $[-\text{COO}]$. Таким образом, возрастает отдаленность состояния равновесия, а значит, достигается увеличение движущей силы процесса.

3.4.4. Образование побочных реакций

В реакции поликонденсации некоторых мономеров наряду с получением целевых продуктов, происходит образование циклов. Образование циклов является конкурирующей реакцией при поликонденсации. Для определения соотношения между циклизацией и поликонденсацией следует учитывать два фактора – термодинамический и кинетический.

Термодинамический фактор определяет термодинамическую устойчивость цикла. Эта устойчивость уменьшается с увеличением напряженности цикла. Наиболее напряженными являются 3- и 4-членные циклы. Ряд термодинамической устойчивости циклов следующий:

3, 4, 8–11 < 7, 12 и выше < 5 < 6. Следовательно, если строение исходных мономеров таково, что существует возможность образования 5-членных циклов, то процесс поликонденсации не происходил бы, а наблюдалась только циклизация.

С точки зрения кинетического фактора повышение концентрации мономера способствует увеличению скорости реакции и, следовательно, поликонденсации и предотвращает циклизацию.

3.4.5. Принцип изменения механизма полимеризации

Для создания БОП важное место занимает принцип, который связан с выбором механизма полимеризации в технологическом цикле производства полимера. Известно, что один и тот же полимер может быть получен различными методами и с затратой различного количества инициатора.

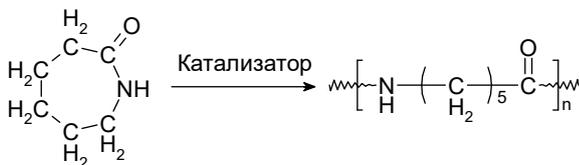
Показательна в этом отношении технология получения полиэтилена. Так, например, полимеризация этилена в присутствии пероксидных инициаторов и кислорода дает выход полиэтилена 30...32%. Оставшийся этилен после отделения его от полимера и очистки возвращается в цикл. Проведение полимеризации того же мономера, но в растворителях и в присутствии катализатора Циглера-Натта позволяет достигать выхода продукта 98%.

Способность мономеров к полимеризации по тому или иному механизму определяется химическим строением мономеров, имеющих электронодонорные или электроноакцепторные заместители. Именно кинетическим фактором разрешается проблема получения полимера с высоким выходом.

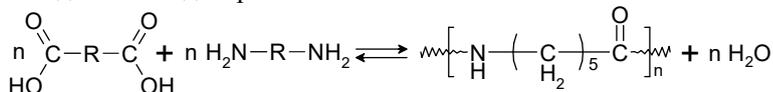
3.4.6. Разработка методов получения полимеров из разного сырья

В химической технологии имеются примеры получения некоторых полимеров из различного сырья. Например, поликапроамид может быть получен из следующих мономеров, различающихся строением:

– из ϵ -капролактама

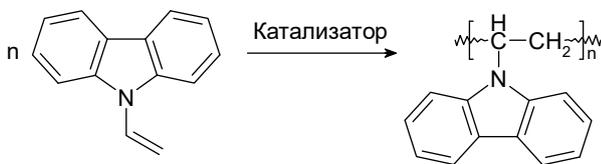


– из диаминa и дикарбоновой кислоты

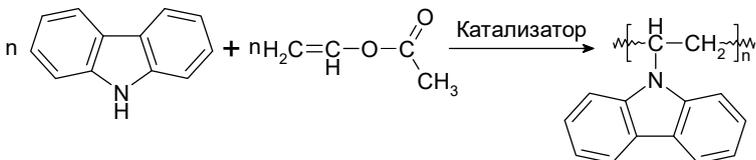


Из новых полимеров, которые могут быть получены разными методами с использованием соответствующих мономеров, можно назвать поли-9-винилкарбазол. Из литературных источников, например, известно, что поливинилкарбазол, обладающий фоточувствительными свойствами, получают разными способами:

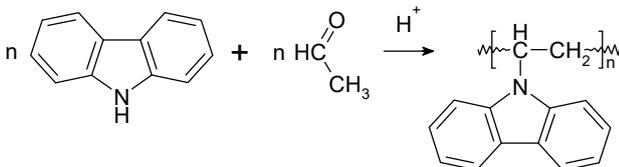
– полимеризацией мономерного соединения 9-винилкарбазола



– взаимодействием винилацетата с карбазолом под действием кислых катализаторов



– взаимодействием карбазола с ацетальдегидом в присутствии кислых катализаторов



3.5. Технологические принципы

Технологические принципы отражают так же, как и химические, общие тенденции в создании новых полимерных и совершенствовании действующих полимерных производств, но отличаются от последних тем, что их реализация связана с технологическими методами и приемами, которые должны обеспечить высокий выход полимеров с единицы объема оборудования.

3.5.1. Разработка технологии с минимальным расходом воды и использованием ее кругооборота

При разработке новых технологических процессов синтеза полимеров следует предусматривать снижение потребления воды или многократное использование оборотной воды.

Большинство предприятий отрасли получения полимеров относится к числу наиболее водоемких. Так, в производствах карбамидных и карбамидо-фурановых смол, аминопластов, ионообменных и полиэфирных смол, поликарбонатов, полиамидов, полиформальдегида и др. в оборотных циклах используется до 75% технологической воды. Например, замена водяного охлаждения воздушным в производстве карбамидных смол позволила снизить расход оборотной воды на 1,4 млн м³/год. Получение карбамидных смол на основе концентрационного формалина практически исключает образование сточных вод.

Особенностью большинства малотоннажных производств полимеров является то, что на одном предприятии, как правило, получают сразу несколько видов полимеров, а это требует создания систем локальной очистки сточных вод каждого самостоятельного производства.

Разработка методов и технологических схем очистки промышленных стоков в производствах полимеров ведут, исходя из следующих основных принципов:

- извлечение ценных веществ с последующим их использованием в производстве;
- максимальное повторное использование промывных вод;
- разработка технологий очистки оборотной воды или подготовки ее для доочистки на общезаводских очистных сооружениях.

3.5.2. Основные способы очистки производственных сточных вод

В технологических производствах полимеров источником сточных вод являются:

- воды, образующиеся при протекании, например, реакции поликонденсации диолов с дикарбоновыми кислотами;
- промывные воды после промывки полимеров и оборудования;
- воды охлаждения;
- воды после мытья тары и т. п.

В настоящее время имеются следующие пути уменьшения количества загрязненных сточных вод:

- разработка и внедрение безводных технологических процессов;
- усовершенствование существующих процессов получения полимеров;
- разработка и внедрение совершенного оборудования;
- внедрение агрегатов воздушного охлаждения;

- повторное использование очищенных сточных вод в оборотных и замкнутых системах.

Методы очистки промышленных вод подразделяют на механические, биологические и физико-химические методы.

На рис. 1.3.1 представлена типовая схема очистки промышленных сточных вод химическими предприятиями.

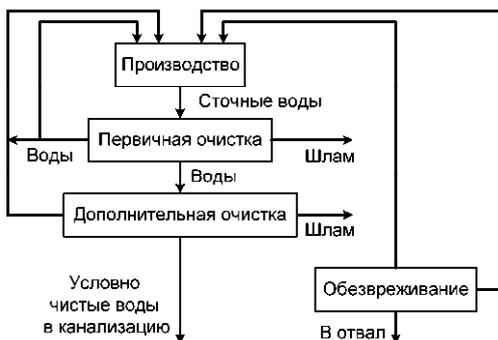


Рис. 1.3.1. Схема очистки промышленных сточных вод

Во всех случаях очистки стоков первой стадией этого процесса является механическая очистка, предназначенная для освобождения воды от взвешенных и коллоидных частиц. Следующим этапом очистки является удаление из воды растворенных в ней химических веществ физико-химическими, химическими и биологическими методами. Во многих случаях приходится применять комбинации из указанных методов. Наиболее употребительными методами очистки сточных вод являются следующие:

- для удаления грубодисперсных частиц – отстаивание, флотация, фильтрация, центрифугирование;
- для удаления мелкодисперсных, коллоидных частиц – коагуляция, флокуляция, электрические методы осаждения;
- для очистки от неорганических соединений – дистилляция, ионный обмен, обратный осмос, реагентное осаждение, электрические методы и др.;
- для очистки от органических соединений – экстракция, абсорбция, флотация, ионный обмен, реагентные методы, биологическое окисление, озонирование и др.;
- для очистки от газов – отдувка, нагрев, реагентные методы;
- для уничтожения вредных веществ – термическое разложение.

Следует иметь в виду, что сложный физико-химический состав сточных вод, разнообразие содержащихся в них соединений и их взаимодействия друг с другом делают невозможным подбор универсальной структуры бессточных схем. Создание таких схем на промышленных предприятиях зависит от особенностей технической оснащённости, требований к качеству получаемой продукции и используемой воды и т. д.

Примером многостадийной очистки сточных вод является схема обезвреживания стоков производства поликарбоната. Сточные воды в этом производстве образуются на стадиях синтеза и экстракционной очистки раствора поликарбоната в метиленхлориде от солей, фенола и триэтиламина, а также на стадии выделения полимера из раствора острым паром.

Общий поток сточных вод производства поликарбоната делят на три потока с учетом характера и концентрации загрязнений. В первом водно-щелочном потоке объединяют маточный раствор со стадии синтеза и стоки от первой стадии экстракционной очистки. Поток содержит до 120 г/л хлорида натрия, щелочные продукты с концентрацией около 15 г/л, примеси фенола, метиленхлорида и ацетон. Второй водно-кислый поток содержит 3...4 г/л фосфорной кислоты и дигидрофосфата натрия, незначительное количество хлорида натрия и примеси органических соединений, аналогичные примесям первого потока и в тех же количествах.

Сточная вода со стадии выделения полимера содержит только метиленхлорид и может быть повторно использована без предварительной очистки. С целью создания замкнутого водооборота в схему очистки сточных вод включают стадию тонкой доочистки.

В технологическую схему очистки сточных вод входят узлы отгонки метиленхлорида с примесями других летучих веществ, отстаивания, ректификации (для выделения из органической фазы метиленхлорида), нейтрализации, фильтрования, выпаривания, прокаливания и сжигания, сорбционной очистки дистиллята выпаривания.

3.5.3. Применение непрерывных процессов

Важнейшим принципом создания БОП является применение непрерывных процессов. Это объясняется преимуществами непрерывных процессов:

- отсутствием периодической загрузки сырья и выгрузки полимера, что значительно уменьшает загрязнение окружающей среды, а также улучшает условия труда;
- легкостью автоматизации, в частности с применением ЭВМ;
- высокой производительностью труда;
- получением более однородного по качеству полимера.

Но всегда ли непрерывный процесс так уж безусловно выгоден? Каковы те основные критерии, которые определяют целесообразность проектирования непрерывного производства полимеров? Любой полимеризационный процесс представляет собой сочетание операций, связанных с химическим превращением мономеров, и операций, имеющих чисто физико-химический характер, связанных с необходимостью выделения целевого продукта. Физические стадии обработки исходных веществ и продуктов, операции промывки, фильтрации, сушки и т. п. сравнительно легко могут быть спроектированы непрерывными. Сама же реакция полимеризации и реакторы, в которой она осуществляется, требуют детального рассмотрения. В этом случае первостепенное значение имеют кинетические закономерности, которые сводятся к определению времени пребывания исходных веществ в реакторе. Например, если это время сравнительно мало и соизмеримо с продолжительностью операций загрузки и выгрузки периодического реактора, то переход на непрерывный процесс позволит сократить объем реактора и уменьшить расход энергии как на перемешивание, так и на подогрев и охлаждение реакционной массы.

Следует помнить о том, что в реакторе периодического действия (РПД) большого объема неизбежны неравномерные пиковые нагрузки, которые требуют больших затрат энергии и расхода теплоносителя, в то время как в непрерывном процессе тот же тепловой эффект проявляется равномерно и поэтому уровень энергопотребления значительно снижается. Однако в случае медленных химических реакций время пребывания исходных веществ в реакторе значительно превышает продолжительность операций загрузки и выгрузки реагентов. Тогда объем РПД примерно равен объему реактора непрерывного действия (РНД) и заметных преимуществ непрерывный процесс не дает.

При выборе непрерывного или периодического процессов производства полимеров огромное значение имеет и другой фактор – производительность. В случае непрерывного процесса возможные колебания производительности не окажут существенного влияния и, следовательно, процесс будет устойчивым. Тепло- и массообмен в реакторе будут стабильными, исполнительные механизмы и датчики систем контроля и автоматизации будут работать надежно. А вот в случае периодического процесса при малых потоках процесс будет неустойчивым и относительные тепловые потери велики.

3.5.4. Обеспечение высокой надежности и стабильности работы химико-полимеризационной системы

Многотоннажность и применение реакторов большой единичной мощности требует высокой надежности всех аппаратов полимерного процесса, так как выход из строя одного из аппаратов не только нарушает работу всего производства, но и может существенно влиять на окружающую среду. В этом случае значительное количество вредных для живых организмов веществ может попасть в атмосферу и гидросферу. Следовательно, высокая надежность работы технологических полимерных установок позволяет не только исключить большие потери продуктов, вызванные простоями аппаратов единичной мощности, но и предотвратить разовые выбросы химических соединений в окружающую среду.

Одновременно надежность работы процесса с точки зрения экологии должна предусматривать не только механическую надежность, но и надежность технологическую. Так, обязательно в этом случае применение специальных аварийных емкостей и аппаратов, в которые сбрасываются газовые и жидкие выбросы при срабатывании соответствующих клапанов при значительном отклонении параметров процесса от нормы.

Из вышесказанного следует, что при проектировании БОП необходимо заранее проводить расчет надежности работы всех аппаратов, а также создавать условия стабильной работы всей технологической схемы производства полимеров.

3.5.5. Принцип наилучшего использования реакторов

Известно, что результаты полимеризационного процесса определяются не только его микрокинетикой, но и гидродинамическим и тепловым режимом работы реактора. Поэтому наряду с технологическим режимом правильный выбор типа реактора и технологической схемы процесса в значительной мере может способствовать созданию БОП. Например, выбор типа реактора по гидродинамическому режиму позволяет повысить выход полимера. Так, в трубчатых реакторах непрерывного действия концентрации исходных реагентов выше, чем в реакторах смешения непрерывного действия. Поэтому выход полимера в первых будет выше, чем во вторых. Однако применение трубчатых реакторов непрерывного действия в полимеризационных процессах затруднено из-за высокой вязкости образующихся полимеров, которая приводит к закоксуыванию трубки с неприятными последствиями. Для многотоннажных производств эти трудности решаются путем использования каскада реакторов смешения непрерывного действия.

3.6. Организационные принципы

В создании БОП полимерных материалов организационные принципы также имеют немаловажное значение. К ним относятся:

- кооперирование и комбинирование производств;
- технологии переработки отходов полимеров.

3.6.1. Кооперирование и комбинирование различных производств в территориально-промышленных комплексах

С целью создания БОП или МОП отрасль полимерных материалов будет переходить на организацию научно-производственных объединений, которые включают промышленные предприятия, научно-исследовательские и проектные институты и опытно-экспериментальную базу. В таком объединении создаются наиболее благоприятные условия для разработки новой технологии и использования научных достижений по реализации отдельных принципов разработки БОП в производстве. Учитывая тот факт, что еще некоторое время развитие производств будет связано с наличием полимерных отходов, то очевидно нужно изыскивать возможности для применения этих отходов на других предприятиях или отраслях промышленности. В этом случае полимерные производства могут строить свои производства в объединение по такой схеме: производство полимерных материалов + переработка их в изделия. Последнее производство будет использовать и вторичные полимерные материалы.

Большую роль играет кооперирование производств различных отраслей промышленности, находящихся в одном территориально-промышленном регионе, т. е. создание безотходных территориально-промышленных комплексов (ТПК). В такие комплексы входят отрасли основного органического синтеза, строительная отрасль и т. д. В рамках ТПК возможно повторное использование промышленных отходов, очистка газовых выбросов и сточных вод. Так, имеются установки по переработке промышленных и бытовых отходов полимерных материалов методом пиролиза. Кроме того, некоторые полимеры (полипропилен, поливинилхлорид) добавляются в асфальт.

3.6.2. Создание технологий переработки отходов полимерных материалов

В связи с увеличивающимся объемом производства полимерных материалов непрерывно растет и количество их отходов, которое составляет уже около 100 кг на душу населения планеты. Исторически сложилось так, что основное количество отходов уничтожают захоронением в почву или сжиганием. Захоронение и сжигание полимерных отходов ведет к загрязнению окружающей среды, сокращению земельных угодий (организация свалок) и т. д. В настоящее время захоронение и сжигание

продолжают оставаться широко распространенными способами уничтожения отходов полимерных материалов. Чаще всего тепло, выделяющееся при сжигании полимеров, используют для получения пара и электроэнергии. Однако калорийность сжигаемого полимерного сырья невелика, поэтому установки для сжигания являются экономически малоэффективными. Кроме того, при сжигании происходит образование сажи от неполного сгорания полимерных материалов, выделение токсичных газов и, следовательно, повторное загрязнение биосферы.

Предпринятые усилия по созданию био-, фото- и водоразрушаемых полимеров не дали желаемых результатов и не вышли за рамки лабораторных исследований. Основной путь использования отходов полимерных материалов – это их утилизация, т. е. повторное использование. Положительной стороной утилизации является то, что не происходит повторного загрязнения окружающей среды и что получается дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей промышленности. Поэтому утилизация является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением задачи использования отходов полимерных материалов. К основным способам утилизации отходов полимерных материалов относятся:

- термическое разложение путем пиролиза;
- деполимеризация с получением исходных мономеров, олигомеров;
- вторичная переработка.

Так, термическим пиролизом полиэтиленовой пленки получают технический углерод, в котором нуждаются различные отрасли промышленности. Разработаны также процессы каталитического гидрокрекинга для превращения полимерных отходов в бензин и топливные масла. Считается, что самым эффективным способом утилизации полимерных материалов является их вторичная переработка.

Например, в Молдавии в свое время был построен опытно-химический завод по переработке полиэтиленовой пленки. За год ее собирали в колхозах в количестве более 150 т, затем очищали от грязи и превращали в 130 т труб, которые использовали в мелиорации земель, а также получали новую пленку из вторичного полиэтилена.

Известно применение автомобильных покрышек в качестве добавок в строительные материалы.

В производстве полиформальдегида отходы представляют собой слабые растворы формальдегида, содержащие метанол. Часть из них может быть возвращена непосредственно в производственный цикл, но большая часть их не используется. Концентрирование растворов путем перегонки под давлением слишком энергоемко. Рациональный путь со-

стоит в использовании этих слабых растворов для орошения колонны абсорбции при синтезе формальдегида, но для этого производство полиформальдегида должно быть расположено на заводе или комбинате, где имеются достаточные мощности по производству формальдегида.

3.7. Заключение

Как следует из вышесказанного, возможности улучшения окружающей среды с помощью химических и технологических изменений в основных производствах огромны и далеко не исчерпаны. В задачу химикотехнолога прежде всего входит разработка таких технологий, в которых необходимо использовать сбалансированные по основным компонентам технологические схемы с замкнутыми материальными и энергетическими потоками.

Задачи специалиста полимерного производства с точки зрения экологии могут быть сформулированы следующим образом:

- оптимизация технологических, инженерных и проектно-конструкторских решений исходя из минимизации ущерба окружающей среде;
- прогнозирование и оценка возможных негативных последствий для окружающей среды;
- выявление, корректирование и предотвращение любых действий, которые могут нанести ущерб окружающей среде.

Окончательный вывод состоит в том, что охранять окружающую среду – значит правильно ею пользоваться, т. е. не доводить до необходимости охраны. Но для того чтобы не наносить ущерб среде обитания человека как части природы, необходимо, чтобы специалист обладал экологическим мышлением. В конечном счете, это знание и это мышление образуют своего рода «сдерживающий комплекс» природопользователя. Владея ими, специалист определяет не только (и не столько), что и как делать, но чего и почему делать нельзя.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите принципы создания безотходных производств.
2. Дайте определение безотходного производства.
3. Дайте определение малоотходного производства.
4. Сформулируйте задачи в области создания безотходных производств.
5. Каковы методологические принципы создания безотходных производств и их характеристика?
6. Почему важно создавать малостадийные процессы?
7. Как можно повысить выход полимера в обратимых равновесных реакциях?
8. Сущность принципа изменения механизма полимеризации.
9. Сущность принципа, связанного с изменением сырья для получения полимера.
10. Основные способы очистки сточных вод.
11. Пути уменьшения количества загрязненных сточных вод.
12. Типовая схема очистки промышленных сточных вод.
13. Всегда ли непрерывный процесс более выгоден, чем периодический?
14. Назовите организационные принципы создания безотходных производств.
15. Перечислите основные способы утилизации отходов полимерных материалов.

Глава 4. Экологическое и технологическое обоснование выбора метода производства полимеров

4.1. Общие положения

Ключевой задачей в технологии производств полимеров является выбор оптимального метода производства. В настоящее время задача анализа и обоснования выбора метода производства полимеров облегчается тем, что последний рекомендуется в технологическом регламенте или в научно-исследовательских данных, заменяющих его. И, тем не менее, целесообразно привести критерии оценки методов получения полимеров, которые необходимо учитывать при их выборе. К тому же следует иметь в виду, что практически все промышленные полимеры получают несколькими методами, что обусловлено, с одной стороны, их экономической равноценностью, а с другой – различными свойствами получаемых полимерных продуктов. При выборе метода производства полимеров пристальное внимание уделяется его экологической безопасности с учетом всех возможных последствий для окружающей среды и человека.

Весьма трудной задачей при этом является сравнительная количественная оценка каждого из рассматриваемых методов получения полимера в отдельности. В этой связи необходимо прежде всего выяснить, какие факторы и критерии отбора являются определяющими при выборе метода производства полимеров, какова их взаимосвязь и удельный вес каждого из них, что поможет сформулировать основные отличия одного метода производства полимеров от другого.

Следует заметить, что для традиционных процессов получения полимеров при выборе метода их производства обычно проектировщики-технологи руководствуются накопленным опытом проектирования подобных производств, учитывают результаты промышленной эксплуатации аналогичных производств. Обычно для выбора наилучшего варианта проводится экспертная оценка методов получения полимеров группой ведущих специалистов. В случае альтернативных вариантов осуществления полимеризационного процесса, жидкофазного или газофазного, можно с уверенностью сказать, что большинство технологов выскажутся за разработку жидкофазного процесса. В том случае, когда газофазный вариант имеет явное преимущество, проектировщики окажутся перед сложной дилеммой.

Сравнительную оценку методов получения полимеров можно произвести, используя следующие критерии их оценки:

- доступность мономеров, катализаторов, инициаторов и вспомогательных реагентов;
- расход сырья и материалов, их потери;
- затраты ручного труда, производительность труда;
- непрерывность метода и возможность применения оборудования непрерывного действия;
- легкость осуществления комплексной механизации и максимальной автоматизации технологического процесса;
- образование побочных продуктов, возможность и сложность их использования и обезвреживания;
- токсичность исходного сырья и материалов;
- сложность осуществления мероприятий по охране труда, технике безопасности и пожарной безопасности;
- охрана окружающей среды;
- образование отходящих газов и сточных вод, сложность их обезвреживания;
- степень изученности метода, его надежность;
- сложность оборудования;
- расход энергетических средств (пара, электроэнергии, воды и др.);
- технико-экономические показатели;

Очевидно, что это только некоторые из возможных критериев оценки экологичности и технологичности полимерных процессов.

Как выбрать условия проведения жидкофазной полимеризации, если на каждой стадии возможны альтернативные варианты? Технологический процесс должен представлять собой строго определенную комбинацию вариантов. Самый простой путь, казалось бы, заключается в предварительной проверке всех подходящих вариантов с помощью выработанных отсеивающих испытаний. Но такой подход имеет серьезные недостатки:

- число логических вариантов синтеза полимера может оказаться настолько большим, что их последовательная проработка потребует нескольких лет труда проектировщиков;
- понятие «наилучший» всегда относительно, поскольку критерии оценки метода разнообразны. Например, процесс может быть дешевым, простым, безотходным, высокопроизводительным и т. д.

Опыт развития технологии свидетельствует о том, что «право на жизнь» всегда имеют несколько параллельно разрабатываемых процессов производства полимеров. Каков же выход из этой ситуации? Вероятно, практически приемлемый подход к решению задачи заключается в постепенном отбрасывании альтернативных вариантов на основе разрабатываемых в ходе создания процесса критериев отбора.

4.2. Экологическое обоснование выбора способа производства полимера

Предварительно проводится оценка экологичности метода производства полимера. Под экологической оценкой метода получения полимера понимают анализ и оценку экологических последствий и экологического риска в случае нормальной или аварийной эксплуатации объекта (цех, отделение) с целью доказать экологическую безопасность технологического метода получения полимера или установить ее опасность. При такой оценке определяется степень экологичности и экологическая опасность способа производства полимерного продукта, оцениваются выбросы продуктов в окружающую среду, делается оценка экологической опасности готовой полимерной продукции при ее использовании и хранение, а также оценивается опасность хранения и использования отходов производства.

Поэтому при выборе метода производства полимеров пристальное внимание уделяется его экологической безопасности с учетом всех возможных последствий для окружающей среды и человека.

На рис. 1.4.1 представлена схема обоснования выбора метода производства полимеров.

Для экологической оценки методов производства полимеров можно использовать следующие методы:

- материальных балансов производств и технологических расчетов;
- технологической альтернативы;
- прогнозирования технологического риска;
- регистрации экологических последствий технологий производства продуктов;
- оценки экологической опасности технологий.

Так, первый метод позволяет провести анализ материальных балансов основных компонентов сырья, вспомогательных материалов, воды и других веществ на каждой стадии технологического процесса и на выходе в окружающую среду. Материальные балансы позволяют выявить источники выбросов и сбросов, дать количественную оценку техногенных потоков в окружающую среду, выявить качественный состав и агрегатное состояние загрязнителей и в целом охарактеризовать все стадии технологии и ее воздействия на окружающую среду.

Метод технологической альтернативы предполагает анализ и оценку технологий по отношению к существующим технологическим аналогам с заданной экологичностью.

1. Экологическое обоснование выбора способа производства и технологии (экология продукции и технологии)

Оценка экологической опасности объекта на основе действующих нормативов для человека и ландшафта



Рис. 1.4.1. Структура экологического обоснования промышленных проектов

Метод прогнозирования технологического риска – это системный анализ и прогнозирование возможных аварийных ситуаций, а также оценки технологического риска и аварийности при нормальной эксплуатации. Методы регистрации экологических последствий технологий производства полимеров включает в себя системный анализ связей промышленной технологии с окружающей средой, а также анализ связей и оценку их экологичности. И, наконец, методы оценки экологической опасности технологий синтеза полимеров используются для выявления экологической опасности проектируемых объектов полимерной химии для ландшафтов разных природных зон.

Экологическое обоснование метода производства полимеров подготавливается при сертификации и разработке ПСД с целью определения характера и уровня воздействия на окружающую среду, применяемого оборудования, а также используемых в производстве исходных материалов и готовой полимерной продукции, на которые существуют государственные стандарты.

Таким образом, материалы, обосновывающие проектные решения, должны содержать исчерпывающую информацию о воздействии проектируемого объекта на окружающую среду при его строительстве и эксплуатации в нормальном режиме работы, а также аргументацию выбора природоохранных мероприятий.

4.3. Общая характеристика полимеризационных способов получения полимеров

Способ проведения полимеризации существенно влияет на экономику процесса и характеристику получаемого полимера. Поэтому целесообразно кратко проанализировать особенности существующих традиционных способов ведения технологических процессов: полимеризацию в массе, растворе (включая газожидкостную фазу) и в дисперсных (суспензионных, эмульсионных) системах.

В полимеризации используют следующие методы:

- полимеризация мономера в блоке;
- полимеризация мономера в растворе;
- полимеризация мономера в суспензии;
- полимеризация мономера в эмульсии.

В свою очередь поликонденсационные методы подразделяются на следующие:

- поликонденсация в расплаве;
- поликонденсация в растворе;
- эмульсионная поликонденсация;
- межфазная поликонденсация;
- поликонденсация в твердой фазе.

Технологические достоинства того или иного метода следует оценивать по соотношению его преимуществ и недостатков и других критериев, о чем речь пойдет ниже.

4.3.1. Полимеризация мономеров в массе

При полимеризации в массе исходный мономер находится в жидкой фазе в неразбавленном виде. При этом в систему часто вводят небольшие добавки разбавителей и модификаторов.

Механизм полимеризации может быть различным – радикальным, ионным, молекулярным, полимеризационным или конденсационным, в зависимости от типов инициаторов (катализаторов) процесса и мономеров.

Различают гомогенные системы (полимер полностью растворим в мономере в конце процесса; в зависимости от глубины превращения система представляет собой расплав полимера или его концентрационный раствор) и гетерогенные (полимер образует отдельную жидкую или твердую фазу).

В результате процесса полимеризации в массе образуются продукты линейного или разветвленного строения. Возможно получение всех трех основных типов сополимеризационных структур – статистических, блок- и привитых сополимеров.

Если сравнить мнение различных авторов относительно развития данного способа ведения процесса, то вырисовывается довольно противоречивая картина. Большинство из них склоняется к мысли, что полимеризация в массе – бесперспективный процесс. Аргументы сводятся к тому, что процесс плохо поддается регулированию вследствие огромных значений вязкости реакционной среды и затрудненного теплоотвода.

В то же время полимеризация в массе получила широкое распространение в промышленности для производства линейных и разветвленных гомополимеров и сополимеров на основе этилена, стирола, метилметакрилата, капролактами и др. существуют объективные факторы, заставляющие технологов искать пути дальнейшего развития этого процесса.

Прежде всего, в массе достигается максимальная концентрация мономера, т. е. максимальная скорость и часто максимальная степень полимеризации. Другое преимущество метода – отсутствие разбавителей, чем обеспечивается наибольшая чистота продукта, а также исключение аппаратуры, необходимой для рецикла разбавителя.

Сказанного достаточно, чтобы сделать вывод о наибольшей (при прочих равных условиях) экономичности процесса в массе. Однако возможность промышленного использования этого варианта процесса все-

гда связана с решением ряда сложных научных и инженерных задач. Некоторые из них будут перечислены ниже.

Для термоинициированной полимеризации стирола в массе получены вполне удовлетворительные корреляции между теорией и экспериментом в изотермическом режиме. В общем виде зависимость эффективной вязкости μ при сдвиге от параметров процесса дает уравнение типа

$$\mu = K \cdot \bar{M}_v \cdot C_M \cdot e^{\frac{-E_a}{RT}},$$

где K – константа, характерная для данной реакционной системы, E_a – энергия вязкого течения.

С увеличением вязкости возрастают затраты мощности на перемешивание и изменяется профиль скоростей и характер движения потоков, больше выделяется тепла вследствие диссипации энергии от вращающихся поверхностей.

Для высоковязких жидкостей наиболее эффективным является метод механического перемешивания. Эжекция, барботаж в этом случае не дают удовлетворительного результата.

Отвод тепла реакции и тепла диссипации энергии возможен несколькими способами. Теплоотвод через стенку эффективен при небольших объемах реакционной массы. Сейчас в технологии синтеза полимеров применяют реакторы объемом 5...10 м³, что позволяет достигать годовой производительности около 5...10 тыс. т продукта. Поскольку с увеличением масштаба объем реактора растет как куб, а поверхность теплообмена как квадрат линейного размера, то для каждого типа полимеризационного процесса имеется предел, за которым отвести тепло через стенку нельзя. Этот предел зависит от теплового эффекта реакции и от скорости процесса. Например, для полимеризации стирола при коэффициенте теплопередачи около 120...240 кДж/(м²·К) легко подсчитать, что уже при объеме реакционной массы 3 м³ и температуре 100...140°С отвести тепло реакции через стенку становится невозможно.

В технологии достаточно широко применяют дополнительные охлаждающие поверхности в виде охлаждающих змеевиков и трубчаток. В частности, мешалка может быть выполнена полый с развитой поверхностью охлаждения. Различные конфигурации охлаждающих поверхностей описаны в многочисленно патентной литературе. Пример тому реактор для полимеризации изобутилена с встроенной трубчатой поверхностью.

В последнее время широкое распространение получил метод отвода тепла за счет испарения реакционной среды с обратным холодильником. Температура испарения может регулироваться путем изменения

давления или подбора растворителя. Скорость отвода тепла лимитируется рядом факторов и прежде всего пенообразованием. Кроме того, в такой системе нельзя работать с летучими катализаторами и другими летучими ингредиентами. При неэффективном перемешивании гидростатическое давление приведет к перепаду температур кипения по высоте аппарата. Объем реактора при использовании этого приема возрастает в 2...3 раза. Несмотря на перечисленные недостатки, метод весьма перспективен, в частности, при полимеризации стирола этот метод теплоотвода дал хорошие результаты в промышленном масштабе.

Для проведения процесса полимеризации в массе в промышленности используют разнообразные аппараты, которые можно разделить приблизительно на четыре группы.

Реакторы смешения, или каскад проточных реакторов смешения

К этому типу реакторов относятся разнообразные по конструкции вертикальные и горизонтальные емкостные аппараты, оборудованные различными перемешивающими устройствами: лопастными, турбинными, ленточными, дисковыми, шнековыми мешалками, рассчитанными на перемешивание высоковязких сред. Судя по опубликованным данным, в производстве пластмасс и синтетических каучуков около 90% материалов получают в реакторах с мешалками. В производстве синтетических волокон около 70% продукции также получают в этом типе реактора.

Реакторы вытеснения

К этому типу реакторов относятся разнообразные трубчатые и колонноподобные аппараты, а также шнековые устройства. Теплообмен осуществляется через рубашку, а в колоннах – дополнительно с помощью встроенных охлаждающих поверхностей различной конфигурации. Для аппаратов этого типа характерно наличие градиента температур и концентраций по длине реактора. Когда аппараты без перемешивающих устройств (колонны, трубчатки) используют для высоковязких систем, то движение массы происходит или под действием ее веса (в вертикальных конструкциях), или принудительно – специальными насосами. В производстве пластмасс и каучуков в аппаратах данного типа изготавливают около 10% продукции, а в производстве волокон – до 30%.

Комбинированные установки

Они включают последовательно соединенные элементы реакторов первого и второго типов.

Полимеризационные формы

К этому типу можно отнести различные периодически действующие устройства, в которых во время процесса полимеризации не происходит перемешивания реагентов, и продукт получается непосредственно в виде готового изделия или полуфабриката (листа, трубы, пластины, блока и т. д.). Этот тип аппаратов в ограниченном масштабе применяется в производстве полимеров линейного строения (в основном полиметилметакрилата и сополимеров акриловых мономеров, стирола). Около 7% полимерных материалов изготавливается по этому принципу.

Таким образом, для проведения процесса полимеризации в массе применяют почти все известные типы реакторов, за исключением специальных устройств для смешения газожидкостных потоков.

Оптимальная глубина превращения мономера зависит от кинетических констант процесса, теплового эффекта, теплофизических свойств среды, а также экономических факторов. Исключение представляет случай полимеризации в форме, когда необходимо достигнуть 100%-ной глубины превращения.

В настоящее время с применением полимеризации в массе в промышленности производят полистирол общего назначения и ударопрочный полистирол, полиэтилен низкой плотности, полиметилметакрилат и ряд других продуктов.

Сама по себе низкая конверсия за проход не может являться критерием эффективности процесса. Пример тому радикальная полимеризация этилена, при которой конверсия составляет всего 8...14%. Но благодаря высокой скорости процесса достигается максимальная удельная производительность аппаратуры, которая компенсирует низкую конверсию. Кроме того, в этом процессе сравнительно просто решается вопрос отделения газообразного мономера путем дросселирования реакционной массы. При полимеризации жидких мономеров их отделение и возврат сопряжены с затратой энергии и дополнительной очисткой. Конверсия мономера менее 60% невыгодна.

Полимеризация в массе ограничено применяется при полимеризации винилхлорида. Чувствительность этого процесса к изменению температуры столь велика, что этот фактор является доминирующим при выборе фазового состояния. То же следует сказать о полимеризации диенов.

В целом полимеризация в массе является перспективным процессом, особенно при радикальном иницировании. Во многих случаях предельное значение вязкости системы удастся снизить, комбинируя такие методы, как интенсивное перемешивание, введение специфического растворителя в количестве 10...30%. Теоретически имеется возможность ис-

пользовать для понижения эффективной вязкости метод пенообразования, хотя объем реакционной массы при этом возрастает.

При поликонденсации в массе можно получить продукт с высокой степенью полимеризации. Сложной технической задачей является удаление побочных продуктов из массы полимера, что предопределяет ведение процесса в тонком слое.

Ионная полимеризация в массе получила ограниченное применение. Высокие удельные скорости каталитического процесса позволяют использовать низкие концентрации мономера. Исключение составляют, по-видимому, процессы полимеризации с раскрытием цикла на малоэффективных катализаторах (производство полиформальдегида из триоксана, поликапроамида, полиэтиленоксида в массе и др.).

4.3.2. Полимеризация в растворе

Полимеризация в растворе подразумевает реакционную среду, содержащую мономер, растворенный в подходящем растворителе. Начальная реакционная система может быть гомогенной (если возбудитель полимеризации и другие добавки растворимы в реакционной среде), или гетерогенной. Соответственно, в зависимости от растворимости полимера в реакционной среде система в ходе процесса может быть также гомогенной или гетерогенной.

Это практически единственный способ полимеризации газообразных мономеров на гетерогенных катализаторах. По сравнению с полимеризацией в массе этот способ имеет преимущество с точки зрения гибкости управления процессом, скоростей реакции и теплоотвода. Для мономеров, полимеризующихся по радикальному механизму, эти преимущества в большинстве случаев недостаточны, чтобы сделать полимеризацию в растворе экономически выгодной для крупнотоннажного производства. Помимо дополнительных затрат на удаление реакционной среды, этот метод обуславливает ведение процесса с пониженной скоростью. Разбавление мономера, кроме того, приводит к получению продуктов с меньшей молекулярной массой.

Для полноты картины следует упомянуть, что методом радикальной полимеризации в растворе производят лаки, т. е. растворы относительно низкомолекулярных продуктов, олигомеры и теломеры, а также ряд среднетоннажных продуктов специального назначения: некоторые полиакрилаты, поливинилацетат, пенополистирол, фторированные полимеры и др.

Значительно более важную роль процессы в растворе приобретают в ионной полимеризации. Благодаря относительно большим значениям

констант и скорости ионных процессов проблема повышения концентрации мономеров для увеличения скорости реакции не играет здесь существенной роли. В то же время практически всегда можно подобрать растворитель, достаточно инертный к реакциям передачи цепи. Обычно используются бензины и другие алифатические углеводороды, циклогексан, толуол, бензол.

Проведение процесса в растворе – фактически единственный промышленный способ получения таких важнейших продуктов, как бутадиен-стирольный каучук, полиэтилен высокой и средней плотности, полипропилен, полиформальдегид (из мономерного формальдегида) и др.

Так как во многих случаях мономеры в условиях проведения процесса находятся в газообразной форме, каталитическую систему обычно растворяют или суспендируют в инертном растворе. Затем в реактор, где интенсивно перемешивается реакционная среда, непрерывно или периодически подают газообразный мономер под некоторым избыточным давлением, которое может меняться в достаточно широких пределах. Мономер растворяется в реакционной среде и полимеризуется, причем в зависимости от соотношения скоростей подвода мономера, его растворения и собственно полимеризации процесс может протекать в диффузионной, кинетической или переходной области.

Наиболее употребительная аппаратура для ведения процесса полимеризации в растворе – различного типа аппараты смешения. Разбавление мономера позволяет относительно легко регулировать температурный режим процесса в аппаратах с внешним теплоотводом. При относительно низких скоростях процесса реакцию ведут или в аппаратах периодического действия, или непрерывно в каскаде последовательно соединенных аппаратов смешения.

Высокие скорости полимеризации при ионном инициировании в газожидкостном (гетерофазном) варианте процесса позволяют проводить реакцию в одноступенчатом аппарате смешения. Например, при полимеризации формальдегида скорость химической реакции столь высока, что стационарная концентрация формальдегида в растворе близка к нулю, и процесс протекает в диффузионной области относительно мономера.

Следует добавить к сказанному, что для получения максимальной молекулярной массы продукта целесообразно вести реакцию в кинетической области по мономеру: создавая в газовой фазе реактора избыточное давление мономера и повышая скорость массообмена за счет интенсивного смешения реагентов, например увеличения поверхности контакта. При этом необходима рециркуляция избытка не вступившего в реакцию газообразного мономера. Концентрация катализатора и температура процесса должны быть минимальными. Напротив, при понижении давления

мономера и увеличении концентрации катализатора, а также повышении температуры процесс будет протекать в диффузионной области по мономеру, в которой глубина превращения мономера максимальна. Также максимальной будет производительность реактора, поскольку скорость процесса будет равна скорости диффузии.

Завершая этот раздел, следует остановиться на условиях теплообмена в процессе полимеризации в растворе. При сравнении с процессом полимеризации в массе очевидно, что удельный тепловой эффект реакции на единицу объема жидкой фазы пропорционален скорости реакции, т. е. в конечном счете – концентрации мономера. Это создает условия для более гибкого расчета реактора с внешним теплообменом.

Стремление добиться максимальной производительности в расчете на единицу объема реактора приводит к тому, что в технике широко применяют способы отвода тепла с кипящим растворителем. Для этого подбирают растворители с подходящей температурой кипения, соответствующей заданной температуре.

Такой реактор будет работать в автотермическом режиме при циркуляции растворителя.

4.3.3. Полимеризация в дисперсных системах

Процессы полимеризации в эмульсиях и суспензиях находят широкое применение в промышленности для проведения радикальной полимеризации и сополимеризации.

Прежде всего, отметим, что в промышленности часто один и тот же мономер полимеризуют параллельно несколькими методами (например, стирол, винилхлорид, винилацетат). Экономический анализ показал, что способ полимеризации в массе – наиболее дешевый. Использование других способов оправдано в тех случаях, когда полимеризацию в массе осуществить не удастся или она не экономична, или когда другими способами удается получить продукты с различными свойствами.

Пример первого типа – получение тройного привитого сополимера АБС. Вязкость реакционной системы при полимеризации в массе столь высока, что эффективный отвод тепла становится практически невозможным уже при сравнительно невысоких степенях превращения мономеров. Поэтому в производстве АБС-пластика конкурируют способы полимеризации в растворе и эмульсии.

Высокая вязкость затрудняет также проведение полимеризации в массе полярных мономеров, таких как акрилонитрил, винилхлорид и др. Эти полимеры технологически целесообразнее получать в дисперсных средах. То же самое можно сказать о получении многих синтетических

каучуков. В связи с тем, что свойства эластомеров в сильной степени зависят от температурного режима, целесообразно осуществлять процесс в дисперсной фазе.

Полимеризация в эмульсиях является основным способом производства полиизопрена, полибутадиена, полихлорпрена и некоторых других. Бутадиеновый каучук ранее получали полимеризацией в массе в присутствии натрия. Более экономичными оказались методы радикальной полимеризации в эмульсиях и ионной полимеризации в растворе.

Различные способы полимеризации позволяют получить продукты разной структуры. Радикальной полимеризацией в эмульсии получают продукт, содержащий звенья бутадиена, присоединенные в положении 1,2 и 1,4. Ионным методом в растворе удалось получить стереорегулярный синдиотактический полибутадиен с узким ММР, а также варьировать содержание 1,2-звеньев.

Различия в свойствах продуктов, получаемых разными способами, можно показать и на примере стирола. При полимеризации в массе вязкость реакционной системы жестко лимитирует интервал получаемых молекулярных масс. При термической полимеризации практически невозможно вести процесс при температурах ниже 100°C. Это обуславливает получение продукта с относительно низкой молекулярной массой. Применение ступенчатого температурного режима при проведении процесса в каскаде последовательно соединенных реакторов или колоннах приводит к расширению ММР продукта.

Полимеризация в суспензии

В суспензии можно осуществить синтез в более узком температурном интервале, регулируя молекулярную массу концентрацией инициатора. С экономической точки зрения периодический процесс в суспензии выгоден тем, что позволяет быстро менять режим и получать различные марки продуктов. Для перестройки непрерывного режима нужны недели.

При полимеризации в водной суспензии реакционная система представляет собой фактически множество микрореакторов, в которых процесс протекает в массе. Из-за малых размеров блока отношение его поверхности к объему велико, и теплоотвод реакционного тепла протекает без затруднения.

Регулируя отношение полимерной фазы к водной, можно контролировать температурный режим процесса с высокой точностью. Правильнее процесс этого типа называть бисерной полимеризацией. В начальной стадии реакции система представляет собой эмульсию капель стирола в воде. Инициатор растворим в мономере. Эмульсия нестабильна, существует за счет интенсивного перемешивания. Образование

полимера в ходе процесса приводит к повышению его концентрации в каплях мономера и увеличению их вязкости. Суспензия как таковая образуется только тогда, когда конверсия достигает приблизительно 70%. Конечно, при суспензионной полимеризации метилметакрилата или винилхлорида твердые частицы образуются уже на ранних стадиях процесса из-за нерастворимости полимера.

Суспензионная полимеризация, проводимая в изотермических условиях, позволяет получить более однородный продукт, чем полимеризация в массе. Обычно ее проводят при температурах ниже 100°C, но применение повышенного давления позволяет повысить температуру до 150°C. Гибкое регулирование температуры процесса имеет решающее влияние, например при полимеризации винилхлорида, при которой молекулярная структура продукта необыкновенно чувствительна к изменению температурного режима.

Устойчивость суспензии на начальных стадиях процесса относительно мала, при нарушении температурного режима возможна коагуляция частиц, сопровождающаяся ухудшением теплоотвода и автоускорением реакции. Это приводит к весьма неприятным в технике последствиям – образованию твердого неплавкого блока в объеме реактора.

Кинетика суспензионной полимеризации описывается теми же уравнениями, что и полимеризация в массе. Дисперсность зависит от эффективности перемешивания среды. Обычно размер капель мономера значительно больше, чем при эмульсионной полимеризации и составляет 50...100 мкм. Для получения больших степеней превращения мономера часто приходится в конце процесса повышать температуру, что приводит к расширению ММР продукта.

Эмульсионная полимеризация

Благодаря особому механизму протекания процесса в мицеллах, эмульсионную полимеризацию можно вести с большой скоростью при относительно низких температурах и получать продукты с максимальной молекулярной массой. Так, при полимеризации стирола в эмульсии молекулярная масса продукта составляет около миллиона.

В кинетическом отношении эмульсии – весьма сложные и своеобразные системы. Исследования кинетики показали, что роль эмульгатора не ограничивается только повышением стабильности эмульсии мономера в воде. Он определяет размер суммарной поверхности дисперсной фазы и число частиц, влияя тем самым на скорость диффузии мономера в мицеллы и, в конечном счете, на скорость процесса полимеризации.

Недостаток этого метода – загрязнение продукта следами эмульгатора и других добавок, необходимость отделения водной фазы (на центрифуге или фильтре), отмычки от компонентов реакционной среды, сушки и первичной переработки (шнековании), что приводит к его удорожанию по сравнению с полимеризацией в массе. Наиболее широко применяется в производстве каучуков.

Особенности полимеризации в дисперсной среде диктуют применение реакторов с эффективными перемешивающими устройствами и внешними теплообменными поверхностями. Процесс обычно ведут периодически в кубовых реакторах, объем которых может достигать десятков кубометров (суспензионная полимеризация винилхлорида осуществлена в Японии периодическим способом в реакторе объемом 140 м³).

Для проведения непрерывных процессов используют каскады последовательно расположенных реакторов смешения. При производстве каучуков и некоторых сополимеров число ступеней в каскаде достигает 20 и более.

До сих пор речь шла о проведении радикальной полимеризации в дисперсной среде. Принципиально подобный процесс можно осуществить и при ионном инициировании. Для этого могут быть использованы несмешивающиеся жидкости. Мономер может преимущественно растворяться в одной из фаз.

В качестве сильнополярной среды, хорошо растворяющий мономер (триоксан, окис этилена и др.), можно применять циклические карбонаты (при кислотном инициировании), диметилформамид и диметилсульфоксид (при анионном). В неполярных средах эти вещества образуют отдельную фазу уже при небольших концентрациях.

В эту фазу экстрагируется мономер и катализатор из раствора, что позволяет получить весьма высокие скорости превращения при добавках 1...5% дисперсной фазы.

При качественном сравнении основных способов полимеризации можно воспользоваться данными, полученными при полимеризации стирола в одинаковых условиях и в одинаковых масштабах. В частности, относительная стоимость единицы продукции на непрерывном производстве составила: в массе – 1,0; в эмульсии – 1,05; в суспензии – 1,1; в растворе – 1,2.

4.4. Методы получения поликонденсационных полимеров

Способ и условия поликонденсации также оказывают влияние на свойства получаемых полимеров. В связи с этим целесообразно проанализировать особенности различных методов поликонденсации.

4.4.1. Технологические особенности поликонденсации в расплаве

Поликонденсация в расплаве имеет ряд технологических преимуществ. Прежде всего это высокая концентрация мономеров, которая обуславливает большой съем продукции с единицы объема реактора, что обеспечивает достаточно высокую производительность оборудования.

Весьма существенным преимуществом способа реакции в расплаве является отсутствие «лишних» компонентов, например растворителя. Поэтому производство полимеров по этому методу становится бесбросовым производством, в котором отсутствуют сточные воды. Это относится к варианту, когда катализатор поликонденсации не удаляется из полимера. В противном случае могут появиться сточные воды.

Важным преимуществом поликонденсации в расплаве является товарный вид продукта, поскольку полимер, как правило, вырабатывается в виде гранул.

Одним из наиболее существенных технологических недостатков поликонденсации в расплаве является большая энергоемкость процесса (большие расходы тепловой энергии на получение полимера). Это связано с довольно высокими температурами процесса (около 200°C и выше) и его значительной продолжительностью.

Большим недостатком поликонденсации в расплаве является сложность использования оборудования, которое должно отвечать следующим требованиям:

- быть стойким к длительному воздействию высоких температур;
- обеспечивать герметичность системы во время процесса во избежание протекания побочных процессов (например, окислительных);
- обеспечивать интенсивное перемешивание высоковязких систем (при отсутствии застойных зон).

Существенным недостатком поликонденсации в расплаве является трудность получения полимеров с высокими молекулярными массами. Это связано с тем, что вязкость расплавов таких полимеров очень велики и их перемешивание требует значительных затрат энергии.

При осуществлении процесса по непрерывной схеме возникают трудности, связанные с тем, что по ходу процесса реакционная масса проходит ряд аппаратов с различными параметрами (температура, давление). Довольно сложной является переход реакционной массы из одного аппарата в другой.

Итак, анализ преимуществ и недостатков метода поликонденсации в расплаве позволяет определить его наиболее целесообразное использование. Это, в частности, получение сравнительно невысокоплавких (с температурой плавления не менее 280...300°C) полимеров, предназначенных для переработки из расплава.

4.4.2. Поликонденсация в растворе

Этот метод приемлем для получения термостойких полимеров, которые невозможно синтезировать поликонденсацией в расплаве из-за их высоких температур плавления. Кроме создания благоприятных условий для получения высокомолекулярных полимеров этот метод имеет ряд технологических преимуществ. Во-первых, хорошие условия отвода тепла реакции вследствие разбавления мономеров, что в свою очередь позволяет избежать протекания некоторых побочных процессов, развиваемых при повышенных температурах. Во-вторых, поликонденсация в растворе протекает значительно быстрее, чем поликонденсация в расплаве и тем более в твердой фазе. Поэтому, несмотря на то, что при поликонденсации в растворе мономеры применяются в очень больших концентрациях, этот способ реакции является довольно высокопроизводительным. В некоторых случаях получаемый по этому методу раствор полимера можно использовать для непосредственной переработки. Так, реакционные растворы полиамидокислот, получающиеся при реакции диаминов с диангидами используются без какой-либо дополнительной обработки для получения пленок, покрытий, лаков.

Процессы поликонденсации проводят при температурах, близких к комнатной и значительно более низких по сравнению с температурами при реакции в расплаве. Поэтому энергетические затраты при таком способе поликонденсации сравнительно невелики.

В большинстве случаев для проведения поликонденсации в растворе можно применять типовое химическое оборудование. Вследствие этого реакция мономеров в растворе может конкурировать с поликонденсацией в расплаве как по стоимости всего процесса, так и по затратам на оборудование.

Выделение полимера из реакционного сиропа требует проведения ряда операций, что делает процесс более громоздким. Это фильтрация порошка полимера, его промывка, сушка и т. д., а также операция регенерации растворителя и подготовка его к повторному использованию. От успешного проведения именно этой операции зависит рентабельность промышленного процесса поликонденсации.

К недостаткам процесса относится также малая производительность оборудования, обусловленная использованием мономеров в сравнительно малых концентрациях, увеличение же концентрации приводит, во-первых, к уменьшению молекулярной массы полимеров, во-вторых, значительно затрудняет перемешивание очень вязких сред. Особенно эти трудности возрастают при проведении в растворе сравнительно быстрых процессов поликонденсации. Очевидно, что для осуществления быстрых

процессов поликонденсации в растворе рекомендуются непрерывные процессы.

Таким образом, способ поликонденсации в растворе является весьма универсальным, он позволяет получать полимеры многих классов.

4.4.3. Эмульсионная поликонденсация

Технологические особенности эмульсионной поликонденсации обусловлены ее двойственной природой: с одной стороны – это процесс поликонденсации в гетерогенной среде, с другой – протекание процесса как бы в растворе, т. е. каплю эмульсии рассматривают как аналог реактора, в случае поликонденсации в растворе. В каждой из этих фаз эмульсионной системы создаются благоприятные условия для оптимального протекания каждой реакции, составляющей процесс поликонденсации. Благодаря этому процессу поликонденсация в такой двухфазной системе протекает особенно успешно. Поэтому эмульсионная поликонденсация позволяет создавать наиболее благоприятные условия проведения сложных процессов реакции, когда проведение какой-либо стадии требует «своих» оптимальных условий.

Важным технологическим преимуществом эмульсионного способа поликонденсации – хорошие условия для отвода тепла реакции и массообмена. Кроме того, преимуществом такого метода является получение маловязких текучих реакционных масс, которые можно перекачивать обычными способами, например центробежными насосами. Принимая во внимание и высокие скорости процесса, можно сказать, что это один из наиболее производительных способов получения поликонденсационных полимеров.

Однако для успешного проведения эмульсионной поликонденсации необходимо интенсивное перемешивание. Поэтому получение высокомолекулярных продуктов в реакторе больших объемов без каких-либо специальных приемов может быть затруднительным.

Наиболее сложной технологической задачей при эмульсионной поликонденсации является обеспечение дозирования мономеров с необходимой точностью (не менее 0,5%), что требует использования особых дозирующих устройств.

Наиболее трудоемкими (и часто малоэффективными) операциями при эмульсионной поликонденсации являются регенерация и возврат растворителя. Оптимальная организация именно этой стадии определяет экономическую эффективность всего технологического процесса получения полимера способом эмульсионной поликонденсации.

4.4.4. Межфазная поликонденсация

Межфазной поликонденсацией можно получить такие полимеры, как полиамиды, полимочевины, полиуретаны, полиэферы, разнообразные сополимеры и т. д.

Технология получения таких полимеров на границе раздела фаз включает в себя предварительное растворение мономеров в соответствующих растворителях и смешение полученных растворов. Образовавшийся полимер выделяют из реакционной смеси, промывают, регенерируют водную и органическую фазы и возвращают их в процесс.

Основным достоинством межфазной поликонденсации является возможность проведения процесса при комнатной температуре. Этот способ является энергетически выгодным.

При проведении межфазной поликонденсации возникают следующие дополнительные трудности:

- обеспечение интенсивного смешения растворов реагентов в условиях, исключающих налипание выделяющегося полимера на внутренние части;
- организация максимального возврата реакционных фаз после регенерации в процесс.

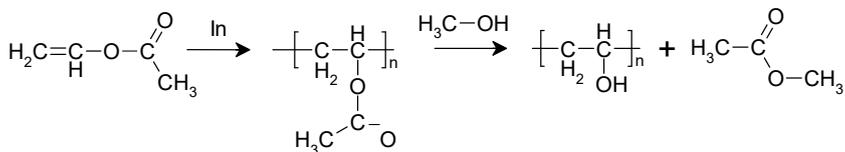
Важной стадией технологического процесса получения полимеров является регенерация растворителя и возврат его в процесс. Таким образом, рентабельность и целесообразность создания межфазного процесса определяются прежде всего оптимальной технологией вспомогательных операций.

4.4.5. Поликонденсация в твердой фазе

Этот метод поликонденсации не получил широкого распространения из-за технологических недостатков. Например, недостатком является использование высоких температур и большая продолжительность процесса. Последнее обстоятельство делает этот способ получения полимеров малопродуктивным.

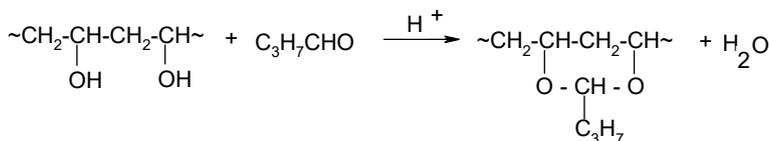
4.5. Производство полимеров методом полимераналогичных превращений

В промышленности поливиниловый спирт получают алкоголизом поливинилацетата:



Омыление ПВА в ПВС проводят в растворе суспензии или эмульсии с кислым или щелочным катализатором, непрерывным или периодическим методами.

Полиацетилирование и поликеталирование, осуществляемые обработкой поливинилового спирта (ПВС) уксусным альдегидом и кетонами, приводят к образованию полиацеталей и поликеталей, являющихся хорошими пленкообразующими материалами. В качестве примера приведем реакцию получения поливинилбутирала:

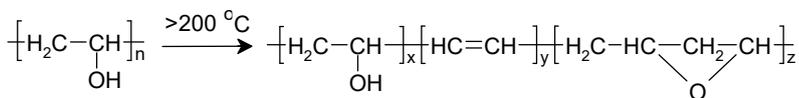


Этот полимер широко используется в многослойных стеклах типа «триплекс».

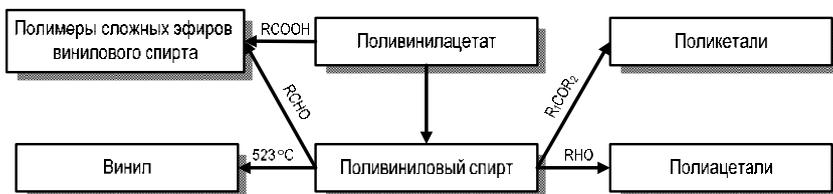
Полиэтерификация ПВС или полиперэтерификация поливинилацетата позволяет получать полимеры сложных эфиров общей формулы $(-\text{CH}_2 - \text{CHOCOR} -)_n$, используемые в качестве лаков.

В результате термообработки нитей ПВС, сформированных вытяжкой из растворов, получают поливинилспиртовые волокна, известные под названием «винил».

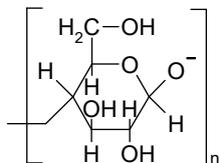
Химические превращения ПВС при термообработке достаточно сложны, основными реакциями являются дегидратация и внутримолекулярная циклизация:



Продукты полимераналогичных реакций ПВС приведены на схеме:



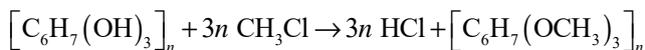
Целлюлоза давно привлекает к себе исследователей. Она добывается из хлопка и древесины. Элементарное звено целлюлозы следующее:



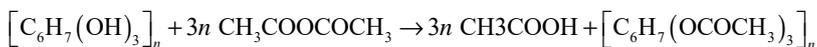
Путем полимераналогичных превращений из целлюлозы получают три основных класса ценных полимерных материалов:

- сложные эфиры целлюлозы,
- простые эфиры целлюлозы,
- гидратированная целлюлоза.

Простые эфиры целлюлозы образуются при ее обработке алкилгалогенидами, алкилсульфатами и другими алкилирующими агентами. Например, метилцеллюлоза получается из целлюлозы при ее обработке метилхлоридом:



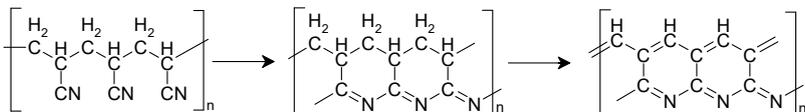
Сложные эфиры получают при обработке целлюлозы минеральными и карбоновыми кислотами, а также их ангидридами и хлорангидридами. В качестве примера ниже приведена реакция образования ацетилцеллюлозы из целлюлозы и уксусного ангидрида:



Гидратцеллюлоза аналогична по составу исходной целлюлозе, но отличается от нее расположением звеньев и большей степенью гидратации полярных групп. Гидратцеллюлозу можно получить двумя способами: физическим и химическим. В первом случае целлюлозу растворяют и снова осаждают. Во втором – путем соответствующей реакции целлюлозу переводят в одно из ее производных, затем последнее в результате реакции гидролиза вновь переводят в целлюлозу. Последним методом производятся вискозные, или медно-аммиачные волокна.

Внутримолекулярные реакции не приводят к изменению степени полимеризации полимера, однако они вызывают изменение скелета ос-

новой цепи. Примером таких реакций является процесс циклизации полиакрилонитрила, протекающий при нагревании. Образующийся полимер является полупроводником (черный нитрон).



4.6. Пример выбора метода производства полимера

Ниже рассмотрим пример выбора метода производства полипропилена.

Известны четыре варианта проведения процесса получения полипропилена (ПП):

- производство ПП с использованием легких растворителей (сжиженные пропан или сам пропилен);
- производство ПП с использованием тяжелых растворителей (бензин, гексан, гептан, их фракции и другие насыщенные углеводороды);
- производство ПП в газовой фазе;
- производство ПП в растворе.

Требуется выбрать наиболее приемлемый из них. С этой целью рассмотрим достоинства и недостатки каждого метода.

Процесс полимеризации пропилена в пропан-пропиленовой фракции ведут по периодической схеме в растворе объемом 25 м³ при давлении 3,5...4,0 МПа и температуре 70...80°С на каталитической системе TiCl₃+AlCl₃ или AlCl(C₂H₅)₂. Отвод тепла из реакционной зоны в реакторе осуществляется испарением пропан-пропиленовой фракции и конденсацией ее в конденсаторе-холодильнике горизонтального типа.

Разновидностью этого метода является получение гомопропилена в среде сжиженного пропилена.

Преимущества данного способа производства ПП следующие:

- уникальность реактора (хороший теплосъем, получение однородного по свойствам полимера, отсутствие оседания полимера на внутренней поверхности, благодаря высокой скорости циркуляции);
- минимальное количество несортного ПП вследствие быстрого перехода с получения одной марки на другую без выключения установки;
- отсутствие растворителя и связанной с ним регенерации мономера;
- отсутствие насосного оборудования при транспортировке полимера;
- максимальная безопасность (управление процессом ведется с помощью вычислительной техники);
- высокая чистота полимера;
- стабильность при переработке.

К недостаткам метода следует отнести:

- ассортимент ПП, как правило, ограничен выпуском низкоиндексных марок с показателем текучести расплава до 3...5 г/10 мин, что ограничивает его применение;
- большие затраты энергии для поддержания содержимого реактора в высокотурбулентном режиме;
- большой рецикл пропилена;
- в системе петлевого реактора при непрерывной циркуляции массы внутри реактора затруднен отбор твердого полимера.

Второй метод предусматривает производство ПП с использованием тяжелых растворителей. Он является в настоящее время доминирующим. Этот способ обеспечивает получение ПП самого широкого марочного ассортимента, особенно волокнообразующих марок.

При получении ПП в тяжелом растворителе наибольшее распространение получили реакторы с механическим перемешиванием (турбинные мешалки с частотой вращения до 130 об/мин). Объем реакторов 50...120 м³.

Преимуществами таких реакторов являются:

- высокая эффективность массобмена;
- термическая однородность среды;
- наиболее полное диспергирование катализатора и, как следствие, повышенный контакт катализатора с мономером;
- высокая однородность продукта, способность получать суспензию с содержанием в жидкой фазе твердого ПП до 500 кг/м³.

К недостаткам метода относят образование агломератов и связанные с этим потери мономера и растворителя.

Тепло полимеризации отводится за счет охлаждения циркулирующей суспензии полимера через рубашку и встроенные теплообменники реактора в результате испарения жидкого мономера и растворителя с последующим охлаждением и конденсацией в выносной системе теплосъема. Однако, при таком методе отвода тепла наблюдается унос порошкообразного полимера в систему охлаждения.

На 1 т товарного изотактического ПП приходится 5...10 кг атактического полипропилена.

При производстве ПП в тяжелом растворителе готовый продукт необходимо очищать от растворителя и сушить грануляцией. Имеющиеся в растворителе каталитические яды снижают активность катализатора, что приводит к увеличению его расхода. Все это значительно усложняет технологию получения полимера. Этих недостатков лишен газофазный процесс полимеризации пропилена.

Как известно, газофазную полимеризацию пропилена осуществляют под действием $TiCl_4$ и $AlCl(C_2H_5)_2$. Этот катализатор обеспечивает высокую скорость процесса. Так, выход ПП 14...20 кг на 1 г титана. Однако он обладает сравнительно низкой стереоспецифичностью (содержание нерастворимой в кипящем гептане изотактической фракции ПП составляет 78...83% против 96...98% для системы $TiCl_3 - AlCl(C_2H_5)_2$). Процесс синтеза ПП проводят непрерывно при $85^\circ C$, давление 3,5 МПа. Время контакта катализатора с мономером – 4...6 ч.

Особенностью данного процесса является то, что для отвода тепла реакции в нижнюю часть реактора вводится 4...6-кратный избыток частично сконденсированного пропилена. При интенсивном перемешивании реакционной массы это позволяет избежать местных перегревов внутри реактора.

При реализации газофазного процесса в промышленных условиях сталкиваются с определенными трудностями, связанными с дозировкой катализатора, перемешиванием реакционной массы и транспортированием порошка из реактора.

Реализация газофазного процесса в промышленности позволяет более чем на 30% сократить капитальные затраты по сравнению с суспензионной полимеризацией в растворителе.

При полимеризации пропилена в растворителе высококипящий процесс протекает при $160...250^\circ C$ и давлении 7 МПа. Пропилен и растворитель, выделяющийся при обработке полимеризата, подвергают разделению и возвращению в рецикл. Недостатком процесса является низкая стереоспецифичность катализаторов.

Таким образом, взвесив все аргументы за тот или иной метод, приходим к выводу, что наиболее предпочтительным является второй метод, который осуществляется в тяжелых растворителях.

Выбор между непрерывным и периодическим процессом, в свою очередь, зависит от большого числа факторов, из которых одним из самых главных является объем реализуемой товарной продукции, т. е. полимерных материалов. Так, при массовом производстве всегда предпочтительнее непрерывный процесс, так как он отличается большей стабильностью и однородностью полимера, чем периодический. Кроме того, при больших масштабах производства полимеров затраты на организацию непрерывного процесса ниже, так как выше удельная производительность реактора. И тем не менее, всегда ли непрерывный процесс определяет целесообразность проектирования непрерывного производства?

Первостепенное значение в этом случае имеют кинетические закономерности реакции, которые 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 аппаратов 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.

Однако, в случае медленных химических реакций время пребывания исходных веществ в реакторе значительно превышает продолжительность операции загрузки и выгрузки. Тогда объем аппаратов в периодическом процессе примерно равен объему реакторов в непрерывном процессе, и заметных преимуществ непрерывный 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. Далеко немаловажным является то обстоятельство, что по трубопроводам непрерывно действующей установки будут перемещаться потоки, составляющие $5 \dots 10 \text{ м}^3/\text{ч}$ (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 будет стабильны, теплоотдачи относительно невелики, исполнительные механизмы и датчики систем контроля и автоматизации будут работать надежно.

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

Заметим, что способ и условия полимеризации оказывают влияние на свойства получаемых полимерных материалов. Весьма трудоемкой задачей при этом является сравнительная количественная оценка каждого из рассматриваемых методов в отдельности. Трудность заключается и в том, что «право на жизнь» всегда имеют несколько параллельно разрабо-

тантных методов. Для проведения отсеивающих испытаний технолог выбирает критерии сравнения. Те или иные критерии отбора вариантов должны тщательно обсуждаться в комиссии.

Эта глава является наиболее важной, сложной и ответственной частью дипломного проекта, определяющей успешность выполнения целей и задач, поставленных при его разработке.

4.7. Заключение

В промышленности реакции полимеризации и поликонденсации можно осуществлять различными способами. Выбор соответствующего способа производства полимера зависит от природы мономера, а также от физических условий проведения реакций. Способ проведения реакций существенно влияет на характеристику получаемого полимера.

Практически все промышленные полимеры получают несколькими различными способами, что обусловлено или их экономической равноценностью, или различными свойствами получаемых полимеров. При выборе метода производства пристальное внимание уделяется его экологической безопасности с учетом всех возможных последствий для окружающей среды и человека. Главной задачей является в настоящее время разработка безотходных или малоотходных производств. Разработка таких производств позволит увеличивать выпуск полимеров и мономеров, не нарушая требования экологии.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие способы получения полимеров вы знаете?
2. Каковы критерии оценки технологических процессов?
3. Охарактеризуйте способ получения полимеров в массе.
4. Охарактеризуйте способ получения полимеров в растворе.
5. Охарактеризуйте способ получения полимеров в суспензии.
6. Охарактеризуйте способ получения полимеров в эмульсии.
7. Охарактеризуйте способ получения полимеров в расплаве.
8. Какова цель экологического обоснования способа производства полимеров?

Глава 5. Физико-химические основы производства полимерных материалов

Технологические разработки нового производства полимеров обязательно используют закономерности и данные различных областей знаний: термодинамики, химической кинетики, тепло- и массопередачи, гидродинамики и экономики и др. Так, например, при расчете и проектировании реактора полимеризации нужно получить ответы на два вопроса:

- какие превращения можно ожидать?
- как быстро они будут происходить?

Первый вопрос касается термодинамики полимеризации, второй – скорости полимеризационных процессов: химических превращений, тепло- и массопередачи т. д. Связать все это вместе и выяснить взаимодействие указанных процессов – вот главная и наитруднейшая задача при создании и проектировании новых полимерных производств. В этой главе нас будет интересовать возможная степень использования специальных дисциплин при разработке реальных технологических процессов.

5.1. Термодинамические расчеты

Термодинамика имеет дело с теплотами полимеризации или поликонденсации и вообще с изменением энергии в ходе реакции. Для полимеризационных процессов справедлив термодинамический закон: реакция превращения мономера в полимер может протекать только тогда, когда энергия Гиббса меньше нуля:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S < 0,$$

где ΔG – энергия Гиббса; ΔH – энтальпия реакции и ΔS – энтропия системы.

При $\Delta G = 0$ наступает в системе динамическое равновесие. Температура, при которой для данного процесса наступает равновесие, получила название предельной ($T_{\text{ПР}}$)

$$T_{\text{ПР}} = \frac{\Delta H}{\Delta S}.$$

Предельная температура полимеризации приобретает важное значение при поиске оптимальных условий синтеза, при сополимеризации.

При $T > T_{\text{ПР}}$ и $\Delta G > 0$ полимеризация термодинамически запрещена и возможна лишь деполимеризация макромолекул. Это важно помнить при проектировании стадий отпарки, отмывки, нейтрализации и т. п. Некоторые значения $T_{\text{ПР}}$ при атмосферном давлении для ряда мономеров приведены в табл. 1.5.1.

Пределные температуры некоторых мономеров

Мономер	$T_{\text{ПР}}, ^\circ\text{C}$	Фазовое состояние мономер-полимер
Этилен	407	$\Gamma - \Gamma$ (теор.)
Пропилен	300	$\Gamma - \Gamma$ (теор.)
Стирол	275	$\Gamma - \text{Ж}$
Метилметакрилат	173	$\Gamma - \text{Ж}$
Формальдегид	126	$\Gamma - \text{кристаллический полимер}$

Для виниловых и диеновых мономеров $T_{\text{ПР}}$ полимеризации равна 250...350 $^\circ\text{C}$ при нормальных условиях. Такие высокие температуры практически не используются в промышленности, так как при них уже начинается деструкция полимерных материалов. Однако процессы синтеза стирола в массе и этилене при высоком давлении являются исключением из этого правила.

Следует заметить, что для практики значительно важнее зависимость предельной температуры полимеризации от концентрации мономера (C_{M}) или обратная зависимость – равновесной концентрации мономера (C_{M_p}) от температуры. Эта зависимость может быть выявлена при анализе полимеризационно-деполимеризационного равновесия, при котором скорости полимеризации и деполимеризации равны:

$$K_p \cdot C_{\text{M}_*} \cdot C_{\text{M}} \xrightleftharpoons[K_d]{K_p} K_d \cdot C_{\text{M}_p},$$

где C_{M_*} и C_{M} – соответственно концентрации активных цепей и мономера.

Из приведенного уравнения может быть определена величина $K_{\text{равн}}$, которая равна:

$$K_{\text{равн}} = \frac{K_p}{K_d} = \frac{1}{C_{\text{M}_p}}.$$

Применяя к данному равновесию уравнение изотермы реакции, получают $\Delta G = \Delta G^0 + R \cdot T \cdot \ln K_{\text{равн}}$, и учитывая, что при равновесии $\Delta G = 0$:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \cdot \Delta S^0 = -R \cdot T \cdot \ln K_{\text{равн}},$$

где ΔG^0 , ΔH^0 , ΔS^0 – соответственно стандартная энергия Гиббса, стандартная энтальпия и стандартная энтропия реакции. Они относятся к превращению чистого мономера или одного моля мономера в растворе в аморфном полимере.

При этом

$$T_{\text{ПР}} = \frac{\Delta H^0}{\Delta S^0 + R \cdot \ln C_{\text{Мр}}}.$$

При обычных температурах константа скорости деполимеризации $K_{\text{равн}}$ мала. Однако, энергия активации этого процесса ($E_{\text{д}}$) по сравнению с энергией активации роста цепи ($E_{\text{р}}$) довольно велика (42...110 кДж/моль). Поэтому при высоких температурах скорость деполимеризации может превышать скорость роста цепи.

Предельная температура может быть рассчитана с использованием кинетических параметров $E_{\text{р}}$ и $E_{\text{д}}$.

$$T_{\text{ПР}} = \frac{E_{\text{р}} - E_{\text{д}}}{R \cdot \ln \left(\frac{A_{\text{р}}}{C_{\text{М}}} \right) \cdot A_{\text{д}}} = \frac{\Delta H_{\text{р}}}{R \cdot \ln \left(\frac{A_{\text{р}} \cdot C_{\text{М}}}{A_{\text{д}}} \right)},$$

где $A_{\text{р}}$ и $A_{\text{д}}$ – предэкспоненциальные множители, которые связаны с энтропией активации.

При температурах, приближающихся к предельной, может получаться только полимер с низкой степенью полимеризации.

Экспериментально $T_{\text{ПР}}$ определяют по графику зависимости скорости образования полимера (или средней степени полимеризации) от температуры. В окрестностях $T_{\text{ПР}}$ скорость полимеризации резко снижается. Экстраполяция к нулевой скорости позволяет точно определить $T_{\text{ПР}}$. Точность метода зависит от крутизны кривой и обычно составляет 2...3°C. Если $T_{\text{ПР}}$ нельзя определить экспериментально, ее можно оценить из термодинамических данных.

При поликонденсации наряду с образованием линейных макромолекул могут образовываться циклы в результате взаимодействия концевых функциональных групп растущей цепи. В большинстве случаев образование циклов является нежелательным, поэтому одной из главных задач термодинамики поликонденсации является предсказание условий, позволяющих свести образование циклов в реакции к минимуму. Поскольку циклы ненапряжены (при $n \geq 5$), то их концентрация зависит только от энтропийного фактора и не зависит от температуры. Поэтому все попытки технологов уменьшить концентрацию этих побочных продуктов путем изменения температуры синтеза обречены на неудачу. Единственная возможность уменьшить долю образующихся циклов заключается в ведении процесса в массе или в концентрированном растворе. Теория предсказывает, что природа растворителя тоже будет слабо влиять на равновесную концентрацию циклов, так как взаимодействие растворителя с циклами и полимером имеет одну и ту же природу.

Теплоты полимеризации могут быть определены экспериментальными или эмпирическими методами. К экспериментальным относятся следующие методы: сжигания, калориметрический, изменение термодинамического равновесия.

Так, теплота полимеризации может быть рассчитана через энергии связей в непределных соединениях:

$$-\Delta H = 2 \cdot E_{\text{од}} - E_{\text{дв}},$$

где $E_{\text{од}}$, $E_{\text{дв}}$ – энергии одинарной и двойной связи соответственно. Для производных этилена $2 \cdot E_{\text{од}} > E_{\text{дв}}$ и потому полимеризация этих соединений – процесс экзотермический.

Тепловой эффект полимеризации олефинов зависит от наличия заместителей у атомов углерода, соединенных двойной связью. Это объясняется в первую очередь эффектом сопряжения заместителя с двойной связью, снижающим энергию ее разрыва.

При образовании макромолекул из непределных соединений энтропия уменьшается. Это объясняется тем, что из трех составляющих энтропии, связанных с поступательным, вращательным и колебательным движением молекул, первая в результате полимеризации мономера заметно уменьшается. Для производных этилена величина ΔS мало зависит от природы мономера и обычно колеблется в пределах от -100 до 120 Дж/(моль·К).

Из уравнения $\frac{1}{T_{\text{пр}}} = \frac{\Delta S}{\Delta H} + \frac{R \cdot \ln C_{\text{Мр}}}{\Delta H}$, можно определить величины

ΔS и ΔH . Для этого следует построить график зависимости $\frac{1}{T_{\text{пр}}}$ от $\ln C_{\text{Мр}}$,

тогда тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен $\frac{R}{\Delta H}$, а отрезок на

оси ординат дает величину $\frac{\Delta S}{\Delta H}$. В этом случае полимеризацию мономера

в растворе осуществляют так, чтобы каждый раз устанавливалось равновесие. Равновесная концентрация мономера $C_{\text{Мр}}$ не зависит от количества образовавшегося полимера, однако она зависит от средней степени полимеризации:

$$C_{\text{Мр}} = \frac{1}{K_{\text{равн}}} \cdot \frac{\bar{P}_n}{\bar{P}_n + 1},$$

где \bar{P}_n – средняя степень полимеризации.

Энтропию можно вычислить по уравнению

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T_{\text{пр}}}.$$

Стандартные энтропии мономеров могут быть определены по удельной теплоемкости и другим калориметрическим характеристикам, а для газообразных мономеров – из спектроскопических данных.

5.2. Кинетические расчеты

При расчете технологического процесса кинетическая информация позволяет:

- определить условия проведения процесса и количественно проанализировать влияние различных факторов на характеристику полимеров;
- выбрать наиболее экономичные способы ведения процесса, фазовое состояние реагентов и тип реактора;
- на основании кинетической модели рассчитать промышленный реактор синтеза полимеров методами математического моделирования;
- оптимизировать процесс несуществующих производств.

Зная скорость полимеризации, можно определить объем того или иного типа реактора, например реактора смешения непрерывного действия. Его характеристическое уравнение имеет вид

$$V_p = F_0 \cdot \frac{x}{r},$$

где F_0 – скорость потока; x – степень превращения мономера в полимер; r – скорость полимеризации, которая задается уравнением вида

$$r = \frac{k_p}{k_o^{0,5}} \cdot C_M \cdot r_{\text{ин}}^{0,5},$$

где k_p и k_o – константы скорости роста и обрыва цепи соответственно в радикальной полимеризации, C_M – концентрация мономера, $r_{\text{ин}}$ – скорость иницирования.

В свою очередь скорость иницирования задается уравнением

$$r_{\text{ин}} = 2 \cdot k_{\text{расп}} \cdot f \cdot C_{\text{и}},$$

где $k_{\text{расп}}$ – константа скорости распада инициатора, f – эффективность иницирования, $C_{\text{и}}$ – концентрация инициатора.

Уравнение радикальной полимеризации можно записать в другой форме:

$$\ln \frac{C_{M_0}}{C_M} = \frac{2 \cdot k_p \cdot f^{0,5}}{(k_{\text{расп}} \cdot k_o)^{0,5}} \cdot (C_{\text{и}_0}^{0,5} - C_{\text{и}}^{0,5})$$

или

$$\ln \frac{1}{1-x} = \frac{2 \cdot k_p \cdot f^{0,5}}{(k_{расп} \cdot k_o)^{0,5}} \cdot k_{расп} \cdot C_{H_0}^{0,5} \cdot (1 - e^{-0,5}) \cdot \tau,$$

где x – конверсия; τ – время реакции.

Среднечисловая степень полимеризации \bar{P}_n зависит от концентрации реагентов, значения констант k_p и k_o , а также передачи цепи на мономер, инициатор, растворитель или агент передачи цепи.

5.3. Краткая характеристика процессов синтеза полимеров

В теории полимеризационных процессов принято отдельно рассматривать механизмы свободно-радикальной полимеризации, ионной полимеризации, стереоспецифической полимеризации, поликонденсации. Ниже будет дана характеристика этих процессов.

5.3.1. Радикальная полимеризация

Радикальная полимеризация инициируется свободными радикалами, которые возникают в результате действия на систему физических факторов, а также чисто химическим путем и при гомолитическом распаде перекисей или азосоединений и др.

Радикальная полимеризация является цепной реакцией и она включает четыре стадии – иницирование, рост, передача цепи и обрыв цепи.

Основными вопросами радикальной полимеризации являются тип иницирования, способы регулирования молекулярной массы и ММР, регулирование процесса при высоких степенях превращения. Для технологов важно знать эффективность иницирования в данных конкретных условиях. Для экспериментальной оценки эффективности иницирования существуют различные методы. Так, один из них основан на определении и сравнении параметров процесса распада инициатора и образования полимера. Измерив среднечисловую молекулярную массу полимера, можно определить путем сопоставления количества образовавшихся радикалов и числа полимерных молекул. Другим методом определения эффективности иницирования является анализ полимера на присутствие в нем осколков инициатора. Третий метод основан на использовании некоторых ингибиторов, таких как дифенилпикрилгидразил, хлорное железо, бензохинон и др.

В последние годы появились полифункциональные инициаторы, с помощью которых удается получать полимеры или олигомеры с концевыми функциональными группами или с функциональными группами, расположенными в боковых цепях.

К новым направлениям в области регулирования реакций роста цепи при радикальной полимеризации следует отнести комплексобразование и влияние типа растворителя на значение констант передачи цепи.

Рассмотрим влияние различных факторов на скорость и молекулярную массу образовавшихся полимеров.

Влияние температуры

Повышение температуры приводит к увеличению констант скоростей всех элементарных стадий процесса полимеризации. Оно оказывает существенное влияние на стадию инициирования, поскольку ее энергия активации является наибольшей по сравнению с другими стадиями. Повышение скорости инициирования приводит к росту скорости образования активных центров, увеличение их концентрации ведет к возрастанию скорости роста цепи в соответствии с уравнением

$$r_p = k_p \cdot C_{M_n^*} \cdot C_M.$$

Одновременно растет и скорость обрыва цепи в соответствии с уравнением

$$r_o = k_o \cdot (C_{M_n^*})^2.$$

Поскольку концентрация активных центров $C_{M_n^*}$ входит в уравнение скорости роста цепи в первой степени, а в уравнение скорости обрыва цепи в квадрате, это означает, что с повышением температуры скорость обрыва цепи возрастает в большей степени, чем скорость роста цепи. Следовательно, с повышением температуры скорость полимеризации возрастает, а вот молекулярная масса полимера, наоборот, уменьшается.

Верхний температурный предел не может быть выше $T_{ПР}$. Для каждой концентрации мономера есть своя $T_{ПР}$.

Влияние концентрации инициатора

Зависимость скорости полимеризации и молекулярной массы полимера от концентрации инициатора определяется «правилом квадратного корня»: чем больше концентрация инициатора, тем выше скорость полимеризации, но ниже молекулярная масса полимера.

Влияние концентрации мономера

С увеличением концентрации мономера повышается скорость полимеризации и увеличивается средняя степень полимеризации.

Влияние давления

Влияние давления исследовано недостаточно. Обычно с его повышением увеличивается скорость и молекулярная масса полимера. Это следует из зависимости констант скоростей элементарных стадий полимеризации от давления. Эксперименты показали, что константа скорости полимеризации растет с увеличением давления. Скорость инициирования несколько уменьшается, также она уменьшается из-за повышения вязкости реакционной среды.

Зависимость скорости полимеризации от времени. Гель-эффект

Из основного кинетического уравнения полимеризации следует, что скорость процесса должна уменьшаться с течением времени, поскольку уменьшается концентрация мономера, а скорость линейно зависит от нее. В действительности для большинства мономеров это не соблюдается. Наоборот, характерной особенностью радикальной полимеризации является ее автоускорение, т. е. увеличение скорости по мере образования полимера. Так, чем выше начальная концентрация мономера в растворе, тем в большей степени наблюдается автоускорение.

Явление возрастания скорости полимеризации при увеличении степени превращения мономера в полимер называется гель-эффектом.

Природу гель-эффекта объясняют тем, что в высоковязких средах заметно уменьшается подвижность макрорадикалов, тогда как подвижность молекул мономера вплоть до стеклования системы изменяется мало. В результате уменьшаются частота столкновения радикалов и скорость бимолекулярного обрыва, следовательно, увеличиваются среднее время жизни и стационарная концентрация радикалов и возрастают общая скорость и степень полимеризации. После стеклования системы на завершающей стадии полимеризации (80...90%) скачкообразно уменьшается подвижность мономера и реакция полимеризации останавливается. Для завершения полимеризации необходимо повысить температуру до расстеклования системы, чтобы мономер обрел подвижность.

В области проявления гель-эффекта наблюдаются отклонения от «правила корня квадратного». Порядок полимеризации по инициатору приближается к единице.

В высоковязких системах практически все кинетические параметры становятся переменными.

Предложено несколько моделей для описания зависимости константы скорости обрыва цепи от степени превращения мономера, основанных на концепции микро- и макровязкости, структуры макромолекул в растворе, свободного объема и др., но ценность их ограничена.

5.3.2. Ионная полимеризация

Обобщенный подход к ионной полимеризации практически не возможен. Это обусловлено не только гораздо большей ограниченностью сведений, имеющихся в данной области по сравнению со сведениями о процессе радикальной полимеризации. Существует ряд иных затруднений. Дело в том, что катионы и анионы активно влияют на элементарные стадии процесса, что накладывает существенный отпечаток на его кинетику.

Характерной чертой ионной полимеризации является крайне высокая чувствительность процесса к природе среды, изменение которой влияет не только на скорость элементарных стадий, но и на механизм реакции. Другая важная особенность касается реакции обрыва цепи, которые при ионной полимеризации носят своеобразный характер и во многих случаях вообще отсутствуют. Поэтому для ионной полимеризации в отличие от радикальной полимеризации не может быть предложена общая кинетическая схема и здесь приходится считаться с существованием определенных случаев, способных к взаимному переходу при изменении условий процесса.

Как цепной процесс, ионная полимеризация протекает через ряд стадий: инициирование, рост цепи, обрыв цепи и передача цепи.

В технологии к ионной полимеризации обычно прибегают в тех случаях, когда нужный полимер невозможно получить другим способом.

Скорость катионной полимеризации может быть представлена уравнением вида

$$r_p = \frac{k_i \cdot k_p \cdot C_M \cdot f(C_{\text{кат}}, C_{\text{сокат}}, r_1)}{k_o},$$

где $C_{\text{кат}}$ и $C_{\text{сокат}}$ – концентрации катализатора и сокатализатора.

В любом случае, чтобы получить функцию f , из которой можно вывести кинетическое уравнение, необходимо представить себе определенный механизм инициирования. Однако это не всегда легко сделать, особенно в отношении зависимости скорости от концентрации катализатора и сокатализатора. Более того, часто в подобных системах наблюдают совершенно различное поведение. Например, в системе $\text{SnCl}_4 : \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ скорость полимеризации стирола имеет второй, а изобутилен – первый порядок относительно мономера.

Принципиальной особенностью анионной полимеризации является то, что в определенных условиях она протекает без реакции обрыва и передачи цепи. При этом образуются «живые» полимеры, у которых после исчерпания мономера активные центры на концах цепей сохраняются и

могут существовать неопределенно долго. Если к такому полимеру добавить мономер, то полимеризация возобновляется.

В настоящее время методом анионной полимеризации осуществляется промышленное производство каучуков, полиамидов, полиформальдегида и др.

Ионно-координационная полимеризация отличается от ионной тем, что акту присоединения мономера предшествует его координация на активном центре или катализаторе. Методом анионно-координационной полимеризации в промышленности получают стереорегулярный каучук и полипропилен и др.

Скорость полимеризации олефинов описывается уравнением

$$r_p = \frac{k_p \cdot k_i \cdot n \cdot C_M^2}{k_i \cdot C_M + k_o + k'_o \cdot C_{кат} + \sum k''_o \cdot C_{пр}}$$

где k_p , k_i , k_o , k'_o и k''_o – соответственно константы скорости роста, иницирования, обрыва цепи, обрыва на катализаторе и обрыва на примесях; n – общее число активных центров.

5.3.3. Поликонденсация

Поликонденсация является широко распространенным методом синтеза полимеров. Объем производства поликонденсационных полимеров составляет примерно более 30% от общего объема их производства. Эта реакция часто сопровождается образованием низкомолекулярного соединения. В общем случае поликонденсация может быть обратима и необратима. Об этом судят по константе равновесия системы. Так, если $K_{равн} = 10 \dots 10^2$, то реакция считается обратимой, а если $K_{равн} > 10^3$, то процесс протекает необратимо. Обратимой может быть поликонденсация, протекающая как с выделением низкомолекулярного продукта, так и без него. Характерной особенностью поликонденсации является постепенное нарастание молекулярной массы промежуточного продукта, который может быть выделен на любой стадии реакции.

Скорость поликонденсации выражается через скорость исчерпания функциональных групп мономера $\left(\frac{dC_M}{d\tau} \right)$. Глубина поликонденсации характеризуется степенью завершенности реакции

$$x = \frac{C_{M_0} - C_M}{C_{M_0}},$$

где C_{M_0} и C_M – исходная и текущая концентрация функциональных групп какого-либо одного типа.

Обычно поликонденсация протекает в присутствии катализатора – кислоты или основания. Тогда для смеси из эквимольных количеств реагентов справедливо уравнение

$$-\frac{dC_M}{d\tau} = k_p \cdot C_M^2. \quad (1.5.1)$$

Интегрирование этого уравнения приводит к выражению

$$C_{M_0} \cdot k_p \cdot \tau = \frac{x}{1-x}. \quad (1.5.2)$$

Скорость обратимой поликонденсации описывается уравнениями (1.5.1) и (1.5.2) лишь на самой ранней стадии реакции. Далее она все в большей степени определяется не кинетическими, а термодинамическими факторами, т. е. близостью системы к состоянию равновесия. По этой причине скорость обратимой поликонденсации относительно невелика, а для большинства систем $k_p = 10^{-3} \dots 10^{-5}$ л/(моль·с). Обратимая поликонденсация может быть как экзо-, так и эндотермической: ее $E_A = 83,8 \dots 162$ кДж/моль. Энергия активации необратимой поликонденсации невелика: $8 \dots 42$ кДж/моль; чаще всего она сопровождается выделением теплоты.

Степень поликонденсации при обратимой реакции определяется выражением

$$\bar{P}_n = \sqrt{\frac{K_{\text{равн}}}{C_{\text{НМ}}}},$$

где $C_{\text{НМ}}$ – равновесная концентрация низкомолекулярного продукта.

5.4. Физическая химия полимеров

Технология полимерных материалов базируется не только на достижениях химии высокомолекулярных соединений, но также и на достижениях физикохимии полимеров, которая изучает структуру макромолекул, фазовые и физические состояния полимеров и т. п. Наиболее эффективными методами изучения структуры макромолекул являются рентгеноструктурный анализ и спектроскопия. Кроме того, методы дифференциальной калориметрии, дифференциального термического анализа и другие позволяют определять физические константы полимеров.

В настоящее время усилилась тенденция к серьезным физико-химическим исследованиям с помощью современных приборов и установок. Ключевой проблемой современной химии и физики полимеров продолжает оставаться проблема структура-свойство, для решения которой уже много сделано. В последние годы заметные успехи в этом направлении в значительной степени достигнуты благодаря развитию теории по-

лимеров, включая статистическую физику макромолекул и компьютерное моделирование сложных макромолекулярных систем.

5.5. Заключение

Основой технологии полимеров является фундаментальная наука, включающая в себя термодинамику, кинетику полимеризационных процессов, тепло- и массоперенос, гидродинамику и физическую химию полимеров. Именно они в наибольшей степени влияют на развитие технологии производства полимеров.

Процессы полимеризации и поликонденсации по-прежнему привлекают пристальное внимание ученых и технологов, поскольку продолжается развитие промышленных процессов получения полимеров методами полимеризации и поликонденсации. Кроме того, достижения в области изучения особенностей протекания элементарных актов полимеризации стали основой новых технологических решений при получении полимеров с улучшенными свойствами. Определенный прогресс имеется и в области исследования координационной полимеризации олефинов.

Обычно существует несколько возможных вариантов перехода от исходных мономеров, которыми располагает исследователь, к желаемому конечному продукту – полимеру. Предварительный анализ таких вариантов основан на проведении термодинамических расчетов, дающих возможность теоретически определить достижимые выходы полимеров по литературным данным. После такого предварительного анализа появляется возможность выбора наиболее многообещающего метода, для которого затем планируется проведение экспериментальных исследований. Эти исследования должны включать в себя изучение статистики, кинетики и механизма полимеризации. Однако, часто полное исследование сложного полимеризационного процесса невозможно, и исследователи в этом случае ограничиваются нахождением зависимости выхода полимера от отдельных параметров процесса. Собранные таким образом данные о кинетике и механизме процесса, а также о свойствах используемых реагентов являются основой для создания технологической концепции процесса, т. е. зависимости производительности от различных факторов и упорядочения единичных процессов и операций, приводящих к получению полимера, а также определению способов их реализации.

Вопросы для самоконтроля

1. Какую информацию дает термодинамика полимеризационных процессов?
2. От каких факторов зависит способность мономера к полимеризации?
3. Почему кинетически полимеризация возможна только в присутствии инициаторов определенного типа?
4. Какие параметры полимеризационного процесса важны для технолога-проектировщика и почему?
5. Как рассчитать скорость полимеризации по зависимости «Конверсия – Время»?
6. Перечислите методы определения молекулярно-массового распределения полимеров и связь этого распределения с кинетическими параметрами процесса.
7. Охарактеризуйте методы определения теплот полимеризации мономеров.
8. Каковы способы определения и расчета кинетических параметров полимеризационного процесса?

Глава 6. Разработка технологической схемы производства полимеров

6.1. Общие положения

Производство полимеров складывается из целого ряда химических и физических процессов, которые обеспечивают получение полимеров нужного качества. Последовательное описание или изображение процессов и соответствующих им аппаратов называется технологической схемой. Технологические схемы (ТС) производства полимеров делятся на два типа:

- с открытой цепью;
- циклические (циркуляционные, замкнутые).

Схема с открытой цепью состоит из аппаратов, через которые все реагирующие компоненты (мономер, инициатор, растворитель, ограничитель цепи и т. д.) или одна из взаимодействующих фаз проходит лишь один раз (проточная система).

Примером процесса с открытой цепью может служить технологическая схема производства сополимера стирола с акрилонитрилом периодическим методом в суспензии в реакторе с мешалкой, представленная на рис. 1.6.1.

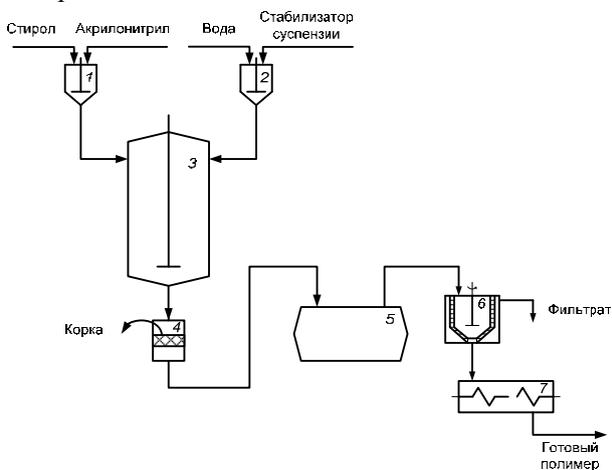


Рис. 1.6.1. Схема производства сополимера стирола с акрилонитрилом периодическим методом в суспензии:

1 – аппарат для приготовления мономерной фазы; 2 – аппарат для приготовления водной фазы; 3 – реактор; 4 – сито; 5 – промежуточный сборник; 6 – центрифуга; 7 – сушилка.

В аппарат 1 для приготовления мономерной фазы загружают стирол, акрилонитрил, инициатор и другие добавки и тщательно перемешивают. В аппарате 2 готовят раствор органического стабилизатора суспензии в воде. В реактор 3 загружают водную фазу, а затем при перемешивании вводят мономерную фазу и добавки и процесс ведут в течение 9...12 ч.

После окончания реакции сополимеризации содержимое реактора охлаждают до 40...50°C, сливают через сито 4 и собирают в промежуточный сборник 5. Из сборника 5 гранулы поступают на центрифугу 6, где их промывают водой, фильтрат (сточную воду) направляют на очистку, а гранулы с влажностью 2...3% поступают в сушилку 7 для сушки горячим воздухом до остаточной влажности 0,1...0,2%.

Циклическая схема предусматривает многократное возвращение в один и тот аппарат всех реагирующих масс до достижения заданной степени превращения исходных веществ. Типичными примерами циклической схемы могут служить современный синтез полиэтилена при высоком давлении в трубчатке, полистирол в массе в батарее реакторов с неполной конверсией, схемы которых приведены в книгах по технологии пластических масс, указанных в списке литературы.

6.2. Разработка технологической схемы производства полимеров

Выбрав метод производства, технолог приступает к разработке технологической схемы производства полимерных материалов. При работе над системой технолог должен обеспечить возможность выработки необходимого ассортимента полимеров нужного качества при минимальных капитальных затратах и эксплуатационных расходах, гарантировать бесперебойную работу запрокинутого производства, безопасность и надежную эксплуатацию.

6.2.1. Исходные материалы для проектирования технологической схемы

В состав исходных материалов, необходимых для проектирования процесса получения полимеров, входят:

- исходные данные по технологическому процессу;
- утвержденное задание на проектирование;
- технические условия проектирования.

Основным документом для разработки проекта нового производства полимерных материалов является технологический регламент, который составляет ведущий научно-исследовательский институт по данному процессу. Этот регламент проходит согласование и утверждение в

установленном порядке, после чего поступает в головной проектный институт. Регламент обычно содержит следующие сведения:

- литературные данные о процессе и сведения об аналогичных производствах за рубежом; описание технологических схем опытных и полужаводских установок, на которых отработывался процесс, а также изложение результатов, полученных на этих установках;
- техническую характеристику исходного сырья, основных продуктов и вспомогательных материалов (включая воду, сжатый воздух и азот и др.) для технологических целей; области применения основных продуктов;
- физико-химические константы и свойства исходных, промежуточных и конечных продуктов;
- химизм процесса по стадиям, физико-химические основы процесса, принципиальная технологическая схема производства, приводимая в графическом виде с кратким описанием;
- рабочие технологические параметры (давление, температура, конверсия и др.) по каждому узлу, условия приготовления и регенерация реагентов и катализаторов;
- материальный баланс производства, который представляется в виде таблиц по стадиям процесса;
- техническая характеристика побочных продуктов и отходов, направление их утилизации;
- математическое описание технологических процессов и аппаратов;
- рекомендации по конструированию основного технологического оборудования и защите строительных конструкций от разрушающего воздействия основных продуктов;
- рекомендации для проектирования системы автоматизации процесса;
- рекомендации по осуществлению аналитического контроля;
- методы и технологические параметры очистки химически и механически загрязненных сточных вод, обезвреживания газовых выбросов и ликвидации вредных отходов;
- мероприятия по технике безопасности, промышленной санитарии и противопожарной профилактике;
- патентный формуляр, определяющий патентную чистоту процесса в России и промышленно развитых странах Европы, Америки и Азии;
- экономическое обоснование процесса, включающее прогнозы потребности в товарной продукции и обеспеченности производства сырьем на перспективу.

Однако при проектировании традиционных, хорошо изученных и освоенных процессов, от разработки технологического регламента можно отказаться. В этом случае исследовательская организация представляет проектировщикам режим процесса, материальный баланс, дополнительные данные, в которых отражаются, как правило, сведения об

усовершенствованиях, внесенных в процесс на основании научно-исследовательских работ и обобщения опыта эксплуатации.

Получив исходные научно-исследовательские данные, проектировщик обязан детально проанализировать их и, прежде всего, выяснить, обладают ли они требуемой полнотой и обеспечивают ли наиболее экономичный способ производства полимерных материалов.

Необходимо убедиться, достаточен ли объем экспериментальных исследований для того, чтобы приступить к проектированию, проверен ли процесс на опытно-промышленной или хотя бы на опытной установке.

Изучая научно-исследовательские данные, следует установить, позволяют ли они произвести необходимые технологические расчеты и выбор оборудования. Если в процессе участвуют малоисследованные промежуточные или конечные продукты, то в регламенте должны содержаться исчерпывающие сведения об их физических и химических свойствах.

Особое внимание следует уделить выбору сырья, реагентов, инициаторов и растворителей. Требования к их качеству должны соответствовать действующим стандартам, межотраслевым или отраслевым техническим условиям.

При рассмотрении регламента следует детально проанализировать, насколько реально выделение сырья вновь проектируемого производства, не является ли предложенное исследовательской организацией сырье дефицитным. При выборе того или иного способа производства полимера доступность сырья должна быть одним из определяющих факторов, в противном случае это производство ждут большие затруднения в производстве продукции в больших объемах.

6.2.2. Технические условия проектирования

Задание на проектирование было рассмотрено в главе 1, а вот на технических условиях на проектирование следует остановиться более подробно.

В этом документе должны быть приведены общие сведения о предприятии, на котором намечено строительство нового цеха, технологической установки.

Технические условия состоят из нескольких частей, каждая из которых освещает соответствующий раздел проекта. Так, в технологической части технических условий отражаются следующие сведения:

- качество сырья и возможные пределы его колебаний, способ подачи сырья (по трубопроводам, по железной дороге и т. п.), параметры сырья (давление, температура и др.);

- характеристика реагентов, способ их подачи на установку, в цех, их параметры;
- наличие на предприятии систем сброса газа от предохранительных клапанов и давление в них;
- параметры, с которыми должны выводиться из цеха целевые продукты;
- пути использования и параметры на выходе из цеха некондиционных полимерных продуктов и отходов производства;
- фоновые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе.

Технические условия на проектирование составляются генеральной проектной организацией, с привлечением при необходимости субпроектировщика, выполняющего часть проекта конкретного производства. Они должны быть неотъемлемой частью задания на проектирование и представляться исполнителю проекта цеха одновременно с заданием.

6.3. Этапы разработки технологической схемы

Разработка технологической схемы производства полимерных материалов включает в себя ряд этапов, важнейшими из которых являются следующие:

- анализ и обоснование выбранного метода производства;
- определение перечня технологических операций, намечаемых к реализации в схеме, и составление вариантов принципиальных технологических схем;
- расчет материальных балансов схемы по стадиям;
- расчет и выбор технологического оборудования;
- проектирование обвязки оборудования трубопроводами и вычерчивание рабочей технологической схемы;
- разработка схем автоматизации технологического процесса.

Задачи анализа и обоснования выбранного метода производства полимерных материалов в настоящее время облегчается тем, что метод производства рекомендуется в технологическом регламенте или научно-исследовательских данных, заменяющих регламент. Для традиционных процессов синтеза полимеров при выборе метода производства руководствуются накопленным опытом проектирования, учитывают результаты промышленной эксплуатации аналогичных производств.

6.3.1. Последовательность разработки технологической схемы

Используя исходные данные для проектирования и выбрав метод производства, технолог-проектировщик определяет перечень технологических операций, намечаемых к реализации в технологии, и их последовательность, а затем изображают эту последовательность в виде блок-схемы, одна из которых показана на рис. 1.6.2.

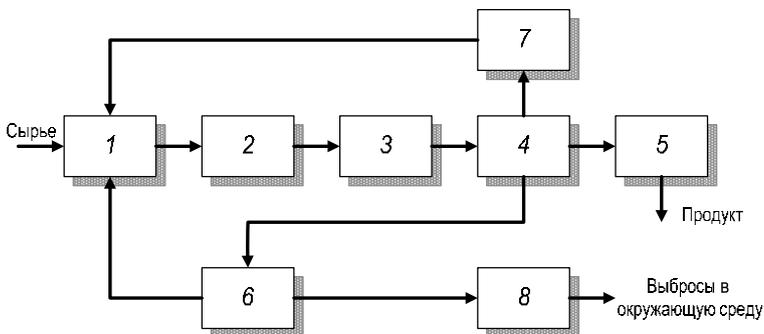


Рис. 1.6.2. Схема стадий технологического процесса: 1 – стадия подготовки сырья, 2 – стадия химического превращения, 3 – стадия выделения непревращенного мономера, 4 – стадия выделения и очистки целевого продукта, 5 – стадия придания товарной формы целевому продукту, 6 – стадия регенерации и очистки непрореагировавшего сырья, 7 – стадия регенерации и очистки вспомогательных веществ и материалов, 8 – стадия обезвреживания отходов производства.

На этом этапе на основе данных по кинетике, механизму и термодинамике процессов получения полимеров решаются вопросы о создании рециклов непревращенного сырья, вспомогательных веществ, стадии предварительной обработки отходов производства.

Рекомендуется на этом этапе подготовить несколько вариантов принципиальных технологических схем и представить их на обсуждение специалистов (например, членов технического совета проектного института, специалистов научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий). На основе обсуждения вариантов технологических схем принимается решение о выборе оптимально схемы, над которой ведется дальнейшая работа.

Несмотря на большой ассортимент полимерных материалов и многообразие технологических схем их получения, в промышленной практике используют в общем небольшое число типовых химических и физи-

ческих процессов. Чаще всего приходится встречаться с операциями приема в цех и выдачи из цеха полимерных материалов, взвешивания и отмеривания, разбавления и т. д.

Химические и физические процессы подразделяются на:

- массообменные (растворение, экстракция и т.п.);
- гидромеханические (отстаивание, центрифугирование, фильтрование и др.);
- теплообменные (подогрев, охлаждение);
- механические (измельчение, рассев, транспортирование и др.);
- химические (полимеризация, поликонденсация, реакции в цепях полимеров).

На этом этапе решаются вопросы о непрерывном, периодическом или полупериодическом режиме проведения отдельных операций и процессов с учетом экономической эффективности режима работы.

Прежде чем приступить к определению состава операций и процессов стадии подготовки сырья, необходимо уточнить основную задачу, решаемую на этой стадии технологической схемы, – какие формы состояния сырья наиболее рациональны для проведения стадии химического превращения в оптимальных условиях.

Технологи обычно стремятся к созданию однофазной системы в аппаратах, поскольку однофазные системы позволяют упростить технологическое и конструктивное оформление стадии химического превращения, такие системы легче поддаются комплексной автоматизации. Наиболее предпочтительна работа с жидкостями, так как использование жидких систем позволяет обрабатывать в единице объема реактора значительно большую массу реагентов за единицу времени по сравнению с газовыми системами.

Изучив ГОСТ и ТУ на сырьевые продукты, технологи выбирают процессы и операции, обеспечивающие перевод сырьевых продуктов в рациональную форму.

При организации приема жидких продуктов в условиях Сибири приходится иногда предусматривать предварительный подогрев продуктов в железнодорожных цистернах перед перекачкой, например, фенола в емкости цеха, а в случае создания прицехового склада на открытой площадке – необходимость постоянного подогрева емкостей.

При организации приема газообразных мономеров особое внимание уделяется конденсированию фаз, например фильтрованием, осушке или, наоборот, увлажнению, так, например, делают для безопасной работы с ацетиленом, вводя в него водяной пар.

При приеме и удалении из цеха твердых продуктов особое внимание надо уделять механизации операций и процессов доставки материалов в цех, загрузке и размещению в цехе, вскрытию тары и ее обработке,

доставке материалов к технологическим аппаратам и дозировке, обработке и удалению твердых и сыпучих отходов производства, переработке твердых целевых продуктов.

В некоторых случаях на стадии подготовки сырья приходится осуществлять процессы и операции по повышению качества сырьевых веществ в связи с тем, что мономеры заправлены обычно ингибиторами для хранения и транспортировки в соответствии с ГОСТ или ТУ. Обычно приходится применять процессы дистилляции, ректификации, абсорбции, сушки, фильтрации и т. п., а иногда и химические процессы, например гидрирование с целью удаления следов производства ацетилена, разложение перекисей, которые образуются при хранении ряда соединений и т. д.

Набор ряда операций зависит также от связей проектируемого производства с общезаводским хозяйством. Так, наличие заводского склада стирола или акрилонитрила избавит технологическую схему производства соответствующего полимера от прицехового склада мономеров на приемку и хранение.

Особого внимания требует составление операционной схемы стадий химического превращения. При проведении стадий химического превращения приходится иметь дело с явлениями различной физико-химической природы (диффузионные, химические, тепловые и прочие), которые, как правило, совмещены в одном локальном объеме реактора и характеризуются большим числом элементов и связей, иерархий уровней элементарных физико-химических эффектов, связанных причинно-следственных отношений. Поэтому необходимо стремиться провести качественный анализ физико-химической системы, создаваемой на стадии проведения химического превращения, и процессов, протекающих в ней.

На основе проведенного анализа можно составить набор ее операций, обеспечивающих стадии химического превращения и определить их локализацию. Выбирая ту или иную операцию, или их набор, надо точно определить их цель. Например, целью перемешивания могут являться:

- ускорение течения химического превращения мономеров в полимеры;
- обеспечение равномерного распределения твердых частиц в объеме жидкости или обеспечение равномерного распределения и дробления до заданной дисперсности газа или жидкости в объеме жидкости;
- интенсификация нагревания или охлаждения.

6.3.2. Оформление схемы производства полимерных материалов

Несмотря на то, что ассортимент вырабатываемых полимеров и перечень технологических производств весьма велики, на реальных производствах реализуется небольшое число типовых химических и физических процессов: массообменные, теплообменные, гидравлические, химические.

Для осуществления этих процессов проектируются технологические узлы-аппараты или группа аппаратов с обязательными трубопроводами и арматурой. Технологическая схема представляет собой совокупность ряда таких узлов. Наиболее часто встречаются следующие технологические узлы:

- транспортирования жидкостей с помощью насосов различного типа;
- компримирования газов с помощью компрессоров;
- обвязки вакуум-насосов различных типов;
- ректификации;
- фильтрации и осушки;
- утилизации тепла;
- подогрева компонентов реакции;
- обвязки реакторов.

Трубопроводная обвязка каждого реактора зависит от характера проектируемого процесса (непрерывный или периодический), от необходимости поддержания постоянного температурного режима в зоне реакции, от присутствия катализатора и его свойств и от наличия предварительного смешения реагентов. Для автоматического регулирования параметров процесса в реакторах на трубопроводах установлена запорная арматура, срабатывающая в соответствии с заданной программой.

После составления операционной технологической схемы проектировщик приступает к составлению принципиальной технологической схемы. Технологическая схема является аппаратным оформлением операционной схемы и состоит из технологических узлов. Технологический узел – это аппарат или группа аппаратов с обязательными трубопроводами и арматурой, в которых начинается и полностью заканчивается один из физико-химических процессов или операций, необходимых для получения полимера. В технологические узлы входят такие объекты, как сборники, насосы, реакторы, теплообменники, центрифуги, трубопроводная арматура, контрольно-измерительные приборы и т. д.

Изучив требования к объекту проектирования, необходимо проверить в каталогах наличие требуемого изделия, выяснить возможность применения типовых узлов, а иногда и целых агрегатов, и составить перечень оборудования с краткой характеристикой. После этого присту-

пают к вычерчиванию технологической схемы. Обычно ее начинают вычерчивать карандашом на миллиметровой бумаге.

Разработку и вычерчивание схемы рекомендуется вести в следующей последовательности:

- на лист наносят все вводы и выводы веществ;
- вычерчивается оборудование с указанием всех необходимых присоединительных штуцеров;
- аппараты и машины соединяются линиями основных технологических потоков, расставляется необходимая аппаратура;
- изображаются вспомогательные линии (дренажные, загрузочные, продувные);
- наносятся элементы автоматизации.

Масштаб изображения выбирают примерно 1:50 или 1:100.

Аппараты на технологической схеме нумеруются слева направо сверху вниз в порядке их расположения, начиная с цифры 1, что облегчает чтение схемы и работу с ней. Номер аппарата сохраняется во всех частях проекта.

Технологическая схема снабжается спецификацией оборудования, содержащей следующие данные:

- номер аппарата на схеме и его наименование;
- основная характеристика аппарата (объем, поверхность теплообмена, размеры);
- количество одинаковых аппаратов;
- основной материал для изготовления данного аппарата;
- номер чертежа аппарата.

Вычерченная схема является предварительной. Дело в том, что в процессе проектирования в нее могут вноситься изменения и добавления. Окончательное оформление технологической схемы производится после принятия основных проектных решений по расчету и подбору аппаратов и машин, выяснению всех вопросов, связанных с размещением и расположением аппаратов проектируемого производства.

Очень часто при подборе оборудования приходится сталкиваться с тем, что некоторые его виды либо не выпускаются промышленностью, либо находятся в стадии освоения. До окончания выбора оборудования обработку технологических узлов нельзя считать законченной. Отсутствие какой-либо машины зачастую вызывает необходимость в изменении отдельных узлов технологической схемы и может послужить причиной перехода на другой, экономически менее выгодный метод получения целевого полимера.

Отдел оборудования должен периодически получать сведения в технологических и других отделах проектной организации о характере и

ориентировочном количестве машин и аппаратов, труб, арматуры, которые требуются для нового полимерного производства. Окончательная технологическая схема составляется после разработки всех разделов проекта и вычерчивается только тушью на стандартных листах бумаги в соответствии с требованиями ЕСКД.

Описание схемы является частью расчетно-пояснительной записки проекта. Вначале следует указать, какое сырье подается в цех, как оно поступает, где и как хранится в цехе, какой первичной обработке подвергается, как дозируется и загружается в аппараты. При описании соответствующих технологических операций кратко сообщается о конструкции аппарата, способах его загрузки и выгрузки, указываются характеристики протекающего процесса (периодический или непрерывный), перечисляются основные параметры процесса, методы его контроля и регулирования, отходы и побочные продукты.

В дальнейшем анализируется надежность технологической схемы и указываются способы, примененные для повышения устойчивости разработанной технологической схемы производства полимерных материалов.

Описание технологической схемы производства составляют после согласования с руководством проекта компоновки оборудования и выполнения чертежа технологической схемы с нумерацией всех позиций. При этом дается перечень основных стадий проектируемого процесса в их технологической последовательности, подробное описание стадий применительно к чертежу технологической схемы с указанием номеров позиций оборудования, данных в эксплуатации.

Изложение должно дать ясное представление о принятом методе и технологических режимах, последовательности операций в технологическом процессе, взаимосвязи установленного оборудования, комплексной механизации. Оно не должно быть громоздким и содержать детали, относящиеся к рабочим инструкциям (очистка, осмотр и подготовка оборудования и т. д.).

Описание должно содержать сущность физико-химических процессов на каждой стадии в кратком изложении, исходное сырье и полуфабрикаты, их основной состав и соотношение (количество при периодическом методе), параметры технологического режима и допустимые пределы их колебаний, изменение агрегатного состояния и реологических свойств реакционной смеси и перерабатываемого продукта, выход полимера, краткое описание оборудования с основными характеристиками, специфическими для данного вида оборудования, способы и оборудование для приемки, хранения, дозирования и транспорта материалов, какие процессы автоматические регулируются, контролируются.

Таким образом, создание технологической схемы производства полимерных материалов является одним из важнейших этапов при разработке их проекта. Разработка технологической схемы включает ряд этапов. На первом этапе эта разработка неизбежно носит упрощенный характер, в нее входят все основные стадии процесса. Чаще всего в самом начале разработки прорабатывают несколько принципиальных технологических схем группами проектировщиков параллельно. Это создает возможность для маневрирования, а также вносит дух соревнования, стимулирующий их активную работу.

Важной стадией при разработке технологической схемы является проектирование обвязки аппаратов и оборудования трубопроводами, которое проводится одновременно с вычерчиванием технологической схемы. При составлении схемы обычно стремятся к тому, чтобы более четко изобразить последовательность всех операций. Аппараты и оборудование наносятся на схему в соответствии с общепринятыми условными обозначениями.

Используя исходные данные для проектирования и выбрав метод производства, проектировщик-технолог определяет перечень технологических операций, намечаемых к реализации на производстве, и их последовательность, а затем изображает эту последовательность в виде принципиальной технологической схемы. Рекомендуется на этом этапе подготовить несколько вариантов таких схем и представить их на обсуждение специалистов. На основе обсуждения вариантов технологической схемы принимается решение о выборе оптимальной, над которой ведется дальнейшая работа.

6.4. Механизация транспортных и погрузочно-разгрузочных работ

Под термином «механизация» здесь нужно понимать мероприятия, обеспечивающие переработку различных твердых и сыпучих материалов без применения ручного труда. Такая переработка включает операции доставки материалов в цех, их перегрузки и размещения в прицеховом складе, вскрытия тары и ее последующей обработки, подготовки материалов к использованию в процессе, дозировки, доставки материалов к технологическим аппаратам обработки и удаления твердых и сыпучих отходов производства, переработки твердых целевых продуктов.

Способы механизации зависят от размера частиц материала, тары, в которой он транспортируется (контейнеры, ящики, бумажные, мешки и т. п.), типа и размеров производственных и складских помещений (открытые площадки, навесы, одно- и многоэтажные здания), от расстояний между агрегатами и их высоты и от специфических требований технологического процесса.

Доставка материалов в цех

Твердые вещества в виде порошков, гранул, кусков различных размеров поступают на завод в таре либо без нее. Бестарные грузы со склада, расположенного не далее 40–60 м, можно доставлять в цех с помощью ленточных и скребковых конвейеров. Устройство такой непрерывно действующей конвейерной линии позволяет обходиться без прицехового склада. На расстояние до 200–250 м легкие и сыпучие грузы могут доставляться пневматическим транспортом. К условиям, исключающим возможность применения пневматического транспорта для перемещения грузов, следует отнести такие свойства, как высокая вязкость, пластичность, способность слеживаться и уплотняться под небольшим давлением. Основными деталями пневматических установок являются компрессоры, трубопроводы, всасывающие приспособления, питатели, разгрузочные устройства и фильтры.

При значительном удалении цеха от склада грузы доставляются грузовыми автомобилями, автосамосвалами и электрокарами.

Разгрузка и размещение в цехе

При наличии саморазгружающихся транспортных средств в цехе монтируются приемные бункеры, откуда с помощью непрерывно действующих подъемных устройств – норий, элеваторов – грузы направляются в расходные бункеры. Для разгрузки автомашин и электрокаров могут применяться такие средства, как выносные монорельсы с тельферами, наклонные платформы, установка пневмотранспорта.

Материалы, загруженные в тару (стеклянные и металлические банки, барабаны, бумажные мешки, ящики), доставляются в цех в основном теми же методами, что и бестарные. Перемещение и укладку материалов в цехе производят с помощью кран-балок, небольших электрокаров, конвейеров и других устройств. Наиболее просто производится периодическая загрузка, причем для этой операции можно использовать краны (мостовые, порталные, кран-балки), передвижные тали, тельферы и др. Для непрерывной загрузки используются конвейеры различных типов (ленточные, скребковые, трубчатые), конвейеры в сочетании с подъемниками, дозаторы различных конструкций (шнековые, секторные, тарельчатые), установки пневмотранспорта.

6.5. Удаление отходов производства

Этот вопрос играет существенную, а иногда и решающую роль при выборе рабочего метода и разработке технологической схемы процесса.

Под общим названием «отходы» понимают выделяющиеся в технологическом процессе продукты, которые не могут быть использованы ни на данном, ни на другом химическом предприятии, и поэтому подлежат уничтожению, а также те продукты, которые после соответствующей обработки можно использовать повторно.

По агрегатному состоянию они разделяются на твердые, жидкие, газообразные, а по химическому – на минеральные, органические и смешанные. По характеру выделения – на случайные, периодические, непрерывно выделяющиеся.

При разработке узлов удаления производственных отходов прежде всего необходимо постараться обойтись без сбросов, т. е. определить возможность извлечения ценных веществ или использования их для тех или иных целей. Это зависит от состава отходов, их количества и местных условий.

В зависимости от конкретных условий на химическом предприятии предусматриваются как общезаводские установки по переработке отходов производства, так и местные, прицеховые.

Газообразные отходы (абгазы, водяной пар после регенерации катализатора и т. п.), как правило, имеют некоторое избыточное давление, позволяющее транспортировать их на факел, к печам сжигания или сбрасывать через выхлопные трубы в атмосферу.

Если масса отходов находится в жидкой фазе, то часть отходов выводится из цеха под избыточным давлением, а часть сбрасывается в системы безнапорной канализации.

Почти все отходы перед удалением из цеха подвергаются обработке, состоящей из следующих процессов.

Газы, выбрасываемые из дыхательной системы в атмосферу, очищаются от вредных примесей путем отмывания в выхлопных скрубберах.

Органические вещества, являющиеся отходами данного производства, но используемые в других процессах, собирают в специальные сборники: при необходимости их обрабатывают и откачивают на заводские склады. Не нашедшие применения органические вещества направляются на сжигание.

Отработанное масло, периодически спускаемое из маслоотделителей компрессоров, направляют в отпарные бачки, снабженные паровыми змеевиками.

Отпаренные углеводороды сбрасываются на факел, а масло насосами откачивают в цех регенерации масел.

Канализация условно чистых производственных стоков

Принимает отработанную воду из охлаждающих рубашек компрессоров, из оросительных холодильников и конденсаторов и т. д. В зависимости от принятой на заводе системы охлаждения эти стоки либо отстаиваются, фильтруются и направляются на градирни оборотного водоснабжения, либо сбрасываются в водоемы.

Канализация ливневых стоков

Кроме атмосферных осадков, в эту систему сбрасываются воды из холодильников при их остановке.

Внутрицеховая сеть ливневой канализации состоит из системы лотков, утраиваемых на всех этажах наружной установки цеха. Стоки попадают в лотки благодаря специальным уклонам в полах перекрытий и через трапы, снабженные гидрозатворами, препятствующими проникновению газов из заводской системы канализации в цех, а затем в ближайший ливневый коллектор.

Канализация химически загрязненных производственных стоков

В эту систему направляют воды, степень загрязнения которых органическими и минеральными веществами такова, что возникает необходимость применения сложных методов очистки (физико-химической, биохимической и других) на специальных очистных сооружениях. Сюда же направляют атмосферные осадки и смывные воды с установок, перерабатывающих особо токсичные вещества. В отдельных случаях такие стоки приходится собирать в специальную заглубленную емкость, подвергать дегазации и лишь после этого откачивать на очистные установки.

Канализация кислотно-щелочных стоков

При незначительном количестве кислотно-щелочных стоков их можно нейтрализовать в цехе, а затем направлять в систему химически загрязненных стоков.

В заключении перечислим мероприятия, позволяющие сократить количество сточных вод:

- замена теплообменников смешения поверхностными;
- применение воздушного охлаждения;

- создание замкнутых циркуляционных систем (например, системы циркуляции абсорбента с непрерывным выводом некоторого его количества на регенерацию, это мероприятие одно из самых эффективных);
- ступенчатое использование охлаждающей воды, при этом воду, выходящую из одного холодильника, направляют в другой, работающий при более высокой температуре, и т. д.;
- широкое применение пара вторичного вскипания.

6.6. Заключение

Руководствуясь технологической схемой, состоящей из нескольких технологических узлов, проектировщики приступают к расчету материального баланса производства по стадиям. При расчете материального баланса используют данные, содержащиеся в технологическом регламенте проектируемого производства или других материалов научно-исследовательских институтов.

После составления материального баланса проектировщик-технолог выполняет наиболее трудоемкую часть своей работы – расчет оборудования. Завершающим этапом расчета аппаратуры является составление схемы материальных и тепловых потоков, которая затем включается в состав расчетно-пояснительной записки к проекту производства.

Следующей стадией является проектирование обвязки аппаратов и машин трубопроводами, которая проводится одновременно с вычерчиванием технологической схемы. При проектировании трубопроводной обвязки следует руководствоваться отраслевыми рекомендациями, выпущенными в составе системы нормативной документации, а также опытом, полученным при разработке аналогичных аппаратов, включая и реактор.

Технологическая схема представляет собой графическое описание технологической части проекта. Она является основным источником информации при составлении всех остальных частей проекта.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы технологических схем применяют в производстве полимеров?
2. Каковы исходные материалы для проектирования технологических схем?
3. Охарактеризуйте основные этапы разработки технологической схемы производства.
4. Какова последовательность разработки технологической схемы?
5. Охарактеризуйте основные процессы и операции, используемые для оформления технологической схемы.
6. Что такое технологический узел? Приведите пример технологического узла с обвязкой.
7. Что такое описание технологической схемы и какие сведения в нем приводятся?
8. Каким образом осуществляется доставка, разгрузка и размещение материалов в цеху предприятия?
9. Какие типы отходов выделяются в технологическом процессе?
10. Каковы способы удаления и обезвреживания различных видов отходов производства?
11. Какова система канализации производственного предприятия?

Глава 7. Инженерные расчеты, выполняемые при проектировании производств полимеров

В процессе проектирования производств полимеров технологупроектировщику приходится выполнять ряд расчетов:

- технологический;
- тепловой;
- механический;
- гидравлический.

Технологический расчет включает в себя расчет материального баланса производства полимера, определение объема реакционной зоны реактора и его основных размеров. Тепловой расчет включает в себя определение теплового режима, расчет поверхности теплообмена и определение расхода теплоносителей. Гидравлический расчет предусматривает определение потерь напора, мощности на перемешивание и т. д. Цель же механического расчета – проверка прочности элементов реактора синтеза полимеров.

Данные технологических, тепловых и гидравлических расчетов обычно взаимно увязывают и корректируют. Ниже приводится методика проведения инженерных расчетов в производствах полимеров.

Имея в распоряжении предварительный вариант технологической схемы производства полимера, проектировщик приступает прежде всего к технологическим расчетам.

7.1. Технологические расчеты

7.1.1. Материальные расчеты в производствах полимеров

Такие расчеты выполняют для каждой стадии полимеризационного процесса в форме материального баланса. Назначение материального расчета заключается в определении затрат сырья для получения заданного количества полимера, объемов и составов реакционных масс на каждой стадии полимеризационного процесса, количеств и составов отходов, сточных вод и газовыделений, определении расходных коэффициентов по сырью, например на 1 т готового продукта, объема реакционной массы на данной стадии, необходимого для получения определенного количества готового полимера и т. д.

В основу любого техно-эконо-химического расчета положены два основных закона природы: закон сохранения массы вещества и закон сохранения энергии. На первом из этих законов базируется всякий материальный, на втором – тепловой баланс.

Применительно к расчету материального баланса какого-либо процесса этот закон принимает следующую форму:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{п}} + G_{\text{пот}},$$

где $G_{\text{пр}}$ – масса исходных продуктов, кг; $G_{\text{п}}$ – масса целевого полимера, кг; $G_{\text{пот}}$ – массовая потеря реагентов, кг.

Когда производится материальный расчет процесса, необходимо учитывать массу каждого компонента поступающего в данный реактор (приход), и массу каждого компонента, уходящего из аппарата (расход).

Приступая к составлению материального и теплового баланса процесса необходимо ясно и четко представить себе закономерности и ход этого процесса.

На основании этих закономерностей, с учетом известных для данного процесса величин, составляется методика расчета, которая зависит не только от рода производства, но также от способа переработки и качества исходных мономеров, от режима работы аппарата и других конкретных факторов и условий производства.

Процессы синтеза полимеров характеризуются следующими основными показателями.

Количество вещества системы n – одна из основных величин, определяемая числом структурных элементов (атомов, молекул, ионов и других частиц), содержащихся в системе.

Молярная масса – отношение массы вещества к количеству вещества:

$$M = \frac{m}{n}.$$

Молярный объем – отношение объема вещества к количеству вещества:

$$V_m = \frac{V}{n}.$$

Молярная доля компонента смеси – отношение количества вещества компонента, содержащегося в смеси, к общему количеству вещества смеси:

$$x_i = \frac{n_i}{n}.$$

Объемная доля компонента смеси – отношение объема компонента, содержащегося в смеси, к общему объему смеси:

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V}.$$

Показатель *объемная доля* используется, как правило, для характеристики газовых смесей и для идеальных газов на основании закона Авогадро совпадает с показателем *молярная доля*.

Массовая доля компонента смеси – отношение массы i -го компонента, содержащегося в смеси, к общей массе смеси:

$$w_i = \frac{m_i}{m}$$

Молярное отношение – отношение количества вещества компонента к количеству вещества остальной части смеси.

Объемное отношение – отношение объема компонента к объему остальной смеси.

Массовое отношение – отношение массы компонента к массе остальной смеси.

Молярная концентрация – отношение количества вещества компонента к общему объему смеси:

$$C_i = \frac{n_i}{V}$$

Массовая концентрация – отношение массы компонента к общему объему смеси:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V}$$

Технологические расчеты ряда производств органического синтеза, в которых преобладают газофазные процессы, требуют применения газовых законов, характеризующих состояние газа и устанавливающих взаимосвязь параметров состояния. Приведенные в дальнейших расчетах объемные расходы газов отнесены к нормальным условиям ($T_0 = 273,15$ К, $P_0 = 101\,325$ Па). Молярный объем любого идеального газа при нормальных условиях равен $22,41383$ м³/кмоль (закон Авогадро).

Для определения параметров состояния идеального газа используют уравнение Менделеева – Клапейрона:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T,$$

где p – давление газа, Па; V – объем газа, м³; n – количество вещества, моль; m – масса газа, кг; M – молярная масса газа, кг/моль; R – универсальная газовая постоянная, равная $8,31441$ Дж/(моль·К); T – температура, К ($T = t^\circ\text{C} + 273,15$).

Для приведения объема газа данной массы к реальным условиям применяют уравнение состояния:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}.$$

Для определения общего давления смеси газов используют закон Дальтона – давление смеси газов, химически не взаимодействующих друг с другом, равно сумме парциальных давлений компонентов:

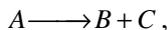
$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n.$$

Из этого следует, что парциальное давление компонента газовой смеси равно произведению общего давления на объемную (молярную) долю данного компонента:

$$p_i = p \cdot \Phi_i = p \cdot x_i.$$

Конверсия исходного сырья – количество превращенного сырья (компонента сырья), отнесенное к загрузке реактора, выраженное в процентах или долях единицы.

Рассмотрим простейшую реакцию



где B – целевой продукт.

Пусть количество компонента A в загрузке реактора равно G_A^H , в продуктах реакции G_A^K (кг/ч) или n_A^H и n_A^K (кмоль/ч). Тогда конверсию компонента A (в %) можно выразить следующим образом:

$$K = \frac{G_A^H - G_A^K}{G_A^H} \cdot 100 = \frac{n_A^H - n_A^K}{n_A^H} \cdot 100 = \frac{G_A^{np}}{G_A^H} \cdot 100 = \frac{n_A^{np}}{n_A^H} \cdot 100.$$

Конверсия характеризует степень превращения сырья в целевые и побочные продукты и, в конечном счете, количество сырья, подлежащего рециркуляции.

Выход целевого продукта в расчете на пропущенное сырье – количество целевого продукта, отнесенное к загрузке реактора, выраженное в % (масс.) или массовых долях.

Если количество целевого продукта обозначить G_B (кг/ч), выход продукта B в расчете на пропущенное сырье G_A^H составит

$$B = \frac{G_B}{G_A^H} \cdot 100.$$

Селективность — доля (или процент) превращенного сырья, израсходованная на образование целевого продукта:

$$C_B = \frac{n_B}{n_A^{np}} \cdot 100. \quad (1.7.1)$$

Селективность процесса характеризует степень полезного использования сырья.

Количество сырья A , превращенного в продукт B , равно $G_{A \rightarrow B} = n_B \cdot M_A$. Отсюда следует, что

$$C_B = \frac{G_{A \rightarrow B}}{G_A^{\text{пп}}} = \frac{n_B \cdot M_A}{G_A^{\text{пп}}} = \frac{n_B}{n_A^{\text{пп}}} \cdot 100. \quad (1.7.2)$$

Таким образом, выражения (1.7.1) и (1.7.2) идентичны.

Селективность также определяют как отношение выхода целевого продукта к его стехиометрическому выходу, или как отношение количества целевого продукта к его стехиометрическому количеству, которое могло бы образоваться при отсутствии побочных реакций.

Если бы реакция шла без образования побочных продуктов, то количество полученного продукта было бы равно

$$G_B^{\text{стех}} = \frac{G_A^{\text{пп}} \cdot M_B}{M_A}, \quad (1.7.3)$$

а селективность:

$$C_B = \frac{G_B}{G_B^{\text{стех}}}. \quad (1.7.4)$$

Легко показать, что селективности, рассчитанные по уравнениям (1.7.2) и (1.7.4), будут одинаковы. Подставим выражение для $G_B^{\text{стех}}$ из уравнения (1.7.3) в уравнение (1.7.4):

$$C_B = \frac{G_B \cdot M_A}{G_A^{\text{пп}} \cdot M_B} = \frac{n_B}{n_A^{\text{пп}}}.$$

В литературе часто используют понятие «выход от теоретического», подразумевая под этим селективность, выраженную как отношение выхода целевого продукта к его стехиометрическому выходу. Такое выражение селективности («выход от теоретического») неприменимо к обратимым реакциям, так как в этом случае теоретическое или равновесное количество вещества B равно:

$$G_A^{\text{теор}} = G_B^{\text{стех}} \cdot B_B^{\text{р}},$$

где $B_B^{\text{р}}$ – равновесный выход продукта при данных условиях, доли единицы. Селективность равна

$$C_B = \frac{G_B}{G_B^{\text{стех}} \cdot B_B^{\text{р}}}.$$

Селективность выражают в мольных долях или процентах.

В технических расчетах под селективностью иногда понимают выход целевого продукта в расчете на разложенное сырье и выражают ее в % (масс.) или массовых долях:

$$C'_B = \frac{G_B}{G_A^{\text{пр}}}.$$

Эта величина связана с селективностью, выраженной в мольных долях, следующим соотношением:

$$C_B = \frac{C'_B \cdot M_A}{M_B}.$$

Выражать селективность в массовых долях или процентах удобно в тех случаях, когда молекулярные массы сырья и целевого продукта близки, например в процессах дегидрирования.

Если реагируют два и более веществ или образуется два и более продуктов реакции, селективность определяют по каждому из них.

Расходный коэффициент – расход сырья на получение одной тонны целевого продукта.

Расходный коэффициент рассчитывают на основании стехиометрического расхода сырья на реакцию (или реакции), учитывая селективность процесса (или его отдельных стадий), механические потери сырья и продуктов, а также степень извлечения целевого продукта из продуктов реакции.

Стехиометрический расходный коэффициент для реакции $A \longrightarrow B + C$ равен

$$a_{\text{стех}} = \frac{M_A}{M_B}.$$

Расходный коэффициент с учетом селективности процесса:

$$a_C = \frac{a_{\text{стех}}}{C} \quad \text{или} \quad a_C = \frac{1}{C'}.$$

Для процессов, протекающих в несколько стадий, расходный коэффициент рассчитывают, учитывая селективность каждой стадии:

$$a_C = \frac{a_{\text{стех}}}{(C_1 \cdot C_2 \cdot \dots \cdot C_n)}.$$

С учетом потерь расходный коэффициент равен

$$a = a_C \cdot \left(1 + \frac{a}{100}\right),$$

где a – суммарные потери на всех стадиях, % (масс.).

Если потери отнесены к количеству целевого продукта, то расходный коэффициент равен

$$a = \frac{a_C}{1 - \frac{a}{100}}.$$

В некоторых процессах для расчета расходных коэффициентов пользуются не селективностью, а выходом целевого продукта в расчете на пропущенное сырье. Так, расходные коэффициенты рассчитывают для процессов, в которых сырье представляет собой сложную смесь, а реакция идет с большой глубиной. Примером такого процесса является пиролиз бензина или газойлевых фракций, когда не представляется возможным определить конверсию сырья. Расходный коэффициент в этом случае равен

$$a = \frac{G_A^H}{G_B} \cdot \left(1 + \frac{a}{100} \right).$$

Различают теоретический и практический материальный баланс.

Теоретический материальный баланс рассчитывается на основе стехиометрического уравнения реакции. Для его составления достаточно знать уравнение реакции и молекулярные массы компонентов.

Практический материальный баланс учитывает состав исходного сырья и готовой продукции, избыток одного из компонентов сырья, степень превращения, потери сырья и готового продукта и т. д.

Практический материальный баланс делится на две основные части: общий материальный баланс и постадийный (пооперационный) баланс.

Цель материального расчета – определение расхода сырья и вспомогательных материалов для обеспечения заданной производительности по целевому продукту (иногда определение выхода целевого и побочных продуктов, исходя из расхода сырья). Поэтому до выполнения материального расчета необходимо:

- изучить существующие методы получения продукта или переработки сырья, выбрать наиболее экономически эффективный метод (на данном уровне развития химической промышленности);
- детально рассмотреть теоретические основы выбранного метода, проанализировать влияние различных технологических факторов на термодинамику и кинетику химического процесса (температуры, давления, отношения поступающих исходных веществ, объемной скорости, свойств и состояния катализатора, времени пребывания реагентов в аппарате и др.), выбрать оптимальные условия проведения процесса;
- ознакомиться с основными физико-химическими характеристиками сырья, вспомогательных материалов и продуктов, а также с требованиями стандартов или технических условий к их качеству;
- изучить технологическую схему процесса, обратив особое внимание на режим работы аппаратов, материальные расчеты которых предстоит выполнить;

- на основе всестороннего изучения действующего производства, технологической и конструкторской документации, литературных данных решить (совместно с руководителем дипломного или курсового проекта), какие конкретные предложения по совершенствованию технологии и оборудования будут внесены в технологическую схему процесса и отражены в расчетах;
- составить схему материальных и энергетических потоков производства, стадий.

Это позволит осознанно выполнить материальный расчет, учесть все особенности работы отдельных аппаратов, избежать неточностей при составлении материальных балансов аппаратов, стадий, сводного материального баланса производства. Только на основе схемы материальных потоков и выполненного материального расчета можно проводить технологические расчеты, определить расходные коэффициенты, необходимые для калькуляции себестоимости получаемого продукта, оценить экономическую эффективность процесса, наметить пути его дальнейшего совершенствования. Данные материального баланса позволяют провести анализ влияния изменения основных технологических параметров на технико-экономические показатели процесса (в расчетно-исследовательских проектах).

Исходные данные для материального расчета

Исходными данными для составления материального баланса являются:

- схема технологическая, отражающая характер и последовательность стадий производства того или иного полимера;
- годовая производительность производства по данному продукту цеха. Если в цехе производится несколько видов продукции, то материальный расчет составляется отдельно для каждого продукта;
- производственная рецептура загрузки всех компонентов по каждой технологической стадии;
- кинетические закономерности химических реакций, приводящих к получению полимера;
- потери по всем технологическим стадиям в процентах. Эти величины определяются по данным научно-исследовательских институтов или путем расчетов процессов, описываемых химическими уравнениями, или по данным обследования аналогичных производств (по данным практик, технологической или преддипломной).

В зависимости от характера требований материальный расчет периодических процессов может быть составлен в трех вариантах:

- исходя из суточной производительности производства;
- на 1 т готового продукта;

- на количество готовой продукции, получаемой за одну операцию.

Наиболее целесообразным является суточный материальный баланс. Материальный баланс непрерывного производства осуществляется на часовую выработку продукта (либо в минутах или секундах).

Общий материальный баланс

Общий материальный расчет, связанный с определением расхода всех видов сырья в единицу времени: сутки, часы, секунды. Эта часть в большинстве случаев завершается расчетом расходных коэффициентов на 1 т готового полимера и сравнением их с расходными коэффициентами существующего производства аналогичного продукта, где была проведена, например, преддипломная практика.

Общий или собственно материальный расчет состоит из следующих основных этапов.

1. Определение числа работы дней в году цеха. Эта величина зависит от характера производства: периодический, непрерывный, комбинированный. В случае периодических процессов необходимо учесть возможность скользящего графика выходных дней рабочего персонала без остановки цеха на один или два дня в неделю. В таких случаях количество рабочих дней в году можно определить следующим образом.

Для периодических процессов $D = 365 - (P + B)$, где D – количество рабочих дней в году; P – количество дней в году, отведенных на капитальный и другие виды ремонта, предусмотренного графиком планово-предупредительного ремонта (ППР) цеха; B – количество праздничных дней в году. Если цех останавливается и на выходные дни, то необходимо еще вычесть их количество из общих дней в году.

Для непрерывных процессов $D = 365 - P$.

В этом случае величина P включает в себя и время, отводимое на периодическую остановку непрерывного производства для его чистки, замены инициатора и т. д.

Определение суточной (часовой, секундной) производительности цеха без учета потерь:

$$P_c = \frac{N}{D},$$

где P_c – суточная производительность по готовому продукту без учета потерь, т/сут; N – производительность по готовому продукту в год.

Далее расчет производится в следующем порядке.

2. Если представить потери в процентах по отдельным стадиям α_1 , α_2 и т. д., то суточная (часовая, секундная) производительности цеха с учетом потерь продукта по стадиям:

$$П_C^П = \frac{П_C}{\left(1 - \frac{\alpha_1}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{100}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 - \frac{\alpha_n}{100}\right)}$$

3. Определение общей величины потерь по стадиям производства продукта в массовых единицах (удобнее в кг):

$$П = П_C^П - П_C,$$

где П – общее количество потерь продукта по всем стадиям, кг/сут.

4. Определение суточного расхода каждого вида сырья с учетом потерь, исходя из рецептуры загрузки компонентов в реакционной смеси. При этом необходимо предварительно рассчитать рецептуру в процентах на содержание каждого компонента в реакционной смеси, принимая последнюю за 100%. Причем потери реакционной смеси на каждой технологической стадии в равной степени относятся к каждому из компонентов, если не имеет места отгон одного из продуктов, выделение в осадок и др.

5. Определение потерь исходного сырья до получения реакционной смеси при транспортировке, загрузке и т. д. На величину этих потерь необходимо увеличить расход каждого из компонентов.

6. Расчет постадийного материального баланса.

7. Расчет расходных коэффициентов на тонну готового продукта по каждому типу применяемого сырья. Данные оформляют в виде таблицы (табл. 1.7.1).

Таблица 1.7.1

Расходные коэффициенты т/т готового продукта

№ п/п	Наименование сырья	Расход, т/сут (в год)	Расходные коэффициенты т/т готового продукта
1	Сырье А	A_1 ; или $A_1 \cdot Д$	$A_1 / П_C$; или $A_1 \cdot Д / П_C$
2	Сырье В	B_1 ; или $B_1 \cdot Д$	$B_1 / П_C$; или $B_1 \cdot Д / П_C$

Постадийный материальный баланс

Постадийный материальный баланс составляется в виде таблиц прихода и расхода продуктов для каждой стадии технологического процесса, исходя из результатов первой части материального расчета и устройства конкретного оборудования, применяемого на каждой стадии.

7.1.2. Тепловые расчеты в синтезе полимеров

При разработке полимерных производств вопросам тепло- и массопереноса уделяется особое внимание. Так, проблема отвода тепла полимеризации, диссипации энергии вязкого течения, разогрева, охлаждения высоковязких систем, удаления из них остаточного мономера, растворителя и т. п. часто являются определяющими при выборе технологических схем и аппаратурного оформления процесса.

Промышленные процессы синтеза полимеров проводятся при строго определенных заданных температурных условиях и в большинстве случаев требуют отвода тепла. Снятие тепла реакции при синтезе полимеров является одной из основных инженерных задач. При этом отвод тепла реакции и тепла диссипации энергии возможен несколькими способами. Так, теплоотвод через стенку эффективен при небольших объемах реакционной массы. Сейчас в технологии синтеза полимеров применяют реакторы объемом 5...30 м³, что позволяет достигать годовой производительности около 5...10 тыс. т полимера. Существуют реакторы объемом 140...600 м³. Поскольку с увеличением масштаба объем реактора растет как куб, а поверхность теплообмена как квадрат линейного размера, то для каждого типа полимеризационного процесса имеется предел, за которым отвести тепло через стенку нельзя. Этот предел зависит от теплового эффекта реакции и от скорости процесса. Ниже приведены величины удельных тепловых эффектов полимеризации различных мономеров (табл. 1.7.2).

Таблица 1.7.2

Удельные тепловые эффекты полимеризации мономеров

Мономер	Тепловой эффект, кДж/кг
Стирол	670...714
Изопрен	966
Бутадиен	1300
Винилхлорид	1640...1850
Пропилен	2480
Этилен	3900

Например, для полимеризации стирола при коэффициенте теплопередачи около 420...840 кДж/м²·ч·°С можно подсчитать, что уже при объеме реакционной массы 3 м³ и температуре 100...140°С отвести тепло реакции через стенку становится невозможно.

Что же делать в этом случае? В технологии синтеза полимеров достаточно широко применяют дополнительные охлаждающие поверхности в виде змеевиков и трубчаток. В частности, мешалка может быть выполнена полый с развитой поверхностью охлаждения. Эти технологические приемы достаточно эффективны для низковязких жидких сред, в которых не образуется корка твердого полимера.

Кроме перечисленных методов отвода тепла аналогичный эффект достигается за счет испарения реакционной массы с обратным холодильником. Температура испарения может регулироваться путем изменения давления или подбором растворителя. Скорость отвода тепла лимитируется рядом факторов и, прежде всего, пенообразованием. В такой реакционной системе нельзя работать с летучими катализаторами и другими летучими ингредиентами. При неэффективном перемешивании гидростатическое давление приводит к перепаду температур кипения по высоте реактора. Объем реактора при использовании этого приема возрастает в 2...3 раза.

При полимеризации стирола этот метод теплоотвода дал хорошие результаты в промышленном масштабе. На этом принципе основаны способы производства бутилкаучука, полиэтилена и пропилена при низком давлении, сополимеров стирола в массе и др., в которых разность температур T_1 и T_0 недостаточно велика для получения расчетной конверсии в реакторе смещения периодического действия. Обычно регулирование температурного режима достигается либо подбором растворителя, кипящего при заданной температуре, либо изменением давления в реакторе.

Тепловой расчет реактора включает в себя:

- составление теплового баланса процесса;
- расчет поверхности теплообмена;
- определение расхода теплоносителей и др.

Тепловой баланс процесса полимеризации составляют на основе закона сохранения энергии, в соответствии с которым в замкнутой системе сумма всех видов энергии постоянна, т. е. приход тепла в данной полимерной операции должен быть равен расходу его в той же операции. Тепловой баланс составляют по данным материального баланса и тепловых эффектов реакции полимеризации и физических превращений, происходящих в реакторе, с учетом подвода тепла извне и отвода его с продуктами реакции, а также отвода тепла через стенку аппарата. При решении теплового баланса определяют количество теплоты, которое необходимо подводить или отводить из реактора.

В общем виде уравнение теплового баланса может быть представлено следующим уравнением:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_1 – тепло, вносимое в реактор с загружаемыми веществами (мономер, инициатор, растворитель и т. д.); Q_2 – тепло, отдаваемое теплоносителем перерабатываемым веществам или отводимая охлаждающими агентами; Q_3 – тепловой эффект полимеризации; Q_4 – тепло, уносимое из реактора с продуктами реакции; Q_5 – тепло, расходуемое на нагревание реактора (при проведении непрерывных процессов Q_5 не учитывается); Q_6 – тепловые потери в окружающую среду.

Обычно это уравнение решают относительно неизвестной величины Q_2 :

$$Q_2 = Q_4 + Q_5 + Q_6 - Q_1 - Q_3.$$

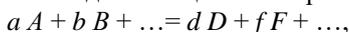
Количество теплоты, вносимой в реактор с реагирующими соединениями (Q_1) и уносимой из реактора с конечными продуктами реакции (Q_4), определяют по формуле

$$Q_{1,4} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot c_{p_i} \cdot (T_K - T_H),$$

где $\sum_{i=1}^n G_i \cdot c_{p_i} = G_1 \cdot c_{p_1} + G_2 \cdot c_{p_2} + \dots + G_n \cdot c_{p_n}$; G_1, G_2, \dots, G_n – соответственно масса мономера, инициатора, растворителя и других ингредиентов; c_{p_1}, c_{p_2} и т. д. – теплоемкость этих продуктов, Дж/(кг·К); T_K и T_H – соответственно температура конечная и начальная реакционной массы, К.

В случае если в литературе отсутствуют теплоемкости реагирующих мономеров и полимеров, то их можно вычислить по соответствующим уравнениям, приведенным в обширной справочной литературе.

Тепловые эффекты химических реакций могут быть рассчитаны на основе значений энтальпии образования веществ, участвующих в реакции. Так, по закону Гесса, тепловой эффект реакции определяется как разность между значениями энтальпии образования продуктов реакции и энтальпии образования исходных веществ. Например, для реакции



изобарный тепловой эффект q_p^0 равен

$$q_p^0 = (d \cdot q_{обр.,D}^0 + f \cdot q_{обр.,F}^0 + \dots) - (a \cdot q_{обр.,A}^0 + b \cdot q_{обр.,B}^0 + \dots).$$

Изобарная теплота образования из элементов различных веществ $q_{обр}^0$ (или $\Delta H_{обр}^0$) приведена в справочниках физико-химических, термодинамических или термодинамических величин.

Для определения зависимости теплового эффекта реакции от температуры применяют уравнение Нернста.

Подвод теплоты в аппарат Q_5 можно учитывать по потере количества теплоты теплоносителей, например греющей воды:

$$Q_5 = G_B \cdot c_{p_B} \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}});$$

или пара:

$$Q_5 = G_{\text{п}} \cdot r_{\text{п}};$$

или же по формуле теплопередачи через греющую стенку:

$$Q_5 = K_T \cdot F \cdot (t_T - t_X) \cdot \tau,$$

где G_B – расход греющей воды, кг/с; c_{p_B} – удельная теплоемкость греющей воды, Дж/(кг·К); $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{кон}}$ – соответственно начальная и конечная температуры потока греющей воды, °С; $G_{\text{п}}$ – расход греющего пара, кг/с; $r_{\text{п}}$ – теплота конденсации греющего пара, Дж/кг; K_T – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); F – поверхность теплообмена, м²; t_T , t_X – соответственно средняя температура греющего (воды, пара и т. п.) и нагреваемого (холодного) вещества в аппарате, °С; τ – время, с.

По этой и другим формулам теплопередачи можно также рассчитать отвод теплоты от реагирующей смеси в аппарат или потерю теплоты в окружающую среду (Q_6). Эту статью расхода теплоты часто вычисляют по изменению количества теплоты хладагента, например охлаждающего воздуха или воды.

Теплоту, полученную при сжигании топлива или при превращении электрической энергии в тепловую за единицу времени (например, секунду), подсчитывают по формулам:

для пламенных печей

$$Q_{\text{пл}} = B \cdot Q_{\text{н}}^{\text{с}},$$

для электрических печей

$$Q_{\text{эл}} = N \cdot \beta,$$

где B – расход топлива, м³/с или кг/с; $Q_{\text{н}}^{\text{с}}$ – низшая теплота сгорания топлива, Дж/м³ или Дж/кг; N – мощность печи, Вт; β – коэффициент полезного действия электрических нагревателей.

Количество теплоты, вносимой влажным воздухом, можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{возд}} = \alpha \cdot G_{\text{теор}} \cdot (1,02 + 1,95 \cdot x) \cdot t_{\text{возд}},$$

где α – коэффициент избытка воздуха (для твердого топлива обычно $\alpha = 1,3 \dots 1,7$, для жидкого – $1,1 \dots 1,2$, для газообразного – $1,0 \dots 1,2$); $1,02$ и $1,95$ – удельная теплоемкость воздуха и водяных паров, кДж/(кг·К); x –

влажностное содержание воздуха, кг на 1 кг сухого воздуха; $t_{\text{возд}}$ – температура воздуха, поступающего в камеру сгорания, °С.

Для проведения теплового расчета реактора должны быть известны:

- количество компонентов в реакционной системе и их физические характеристики: плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, удельные теплоты полимеризации и испарения;
- кинетика реакции полимеризации;
- тепловой эффект полимеризации;
- конструктивно-размерная схема реактора, материал его основных частей;
- возможные в условиях проектируемого объекта виды тепло- и хладоносителей и их оптимальные параметры.

Для обогрева полимеризационных реакторов чаще всего применяются теплоносители:

- горячая вода;
- водяной пар;
- органические теплоносители.

Так, при температуре реакционной среды внутри полимеризаторов порядка 70...90°С (340...360 К) применяется обычно горячая вода, в интервале температур 87...150°С (360...423 К) применяется насыщенный водяной пар, а при температуре до 200°С (473 К) – перегретая вода или водяной пар под давлением 2...5 Па (20...25 атм). Органические теплоносители применяются при температурах более 160°С (433 К).

Обычно в качестве высокотемпературных органических теплоносителей применяются минеральные масла, дифенильная смесь, различные ароматизированные масла и др.

Минеральные масла могут быть использованы до температур 230°С (503 К). При более высоких температурах масла подвергаются термической деструкции, которая сопровождается осмолением поверхности нагрева, что ведет к снижению эффективности теплообмена.

Дифенильная смесь содержит 26,5% дифенила и 73,5 вес.% дифенилового эфира (динил). Температура плавления смеси 12,3°С (285,3 К), удельная теплота плавления 129,6 кДж/кг, удельная теплота парообразования дифенильной смеси составляет 286,5 кДж/кг. Одним из основных недостатков дифенильной смеси является ее большая проникающая способность. Она проникает через сальниковые уплотнения, фланцевые соединения и т. д.

Для охлаждения реакторов применяются вода и рассолы.

7.1.3. Методика расчета полимеризаторов

Специфика полимеризационных процессов и большое разнообразие реакторов полимеризации мономеров обусловили разные способы их расчета по конкретной для каждого процесса методике. Так, для расчета реакторов непрерывного действия существует нижеследующий порядок их расчета.

1. Термодинамический расчет процесса полимеризации, при котором определяют наиболее оптимальные параметры его режима – температуру, давление, степень превращения мономера в полимер.
2. Материальный баланс.
3. Кинетический расчет для определения объема реакционного пространства. Его проводят графоаналитическим или аналитическим способом. При этом сначала определяют продолжительность протекания полимеризации или поликонденсации, а затем полезный объем реактора.
4. Тепловой расчет реактора полимеризации. При решении теплового баланса определяют количество теплоты, которое необходимо подводить или отводить из реактора, расход теплоносителя.
5. Технологический расчет мешалки, определение мощности при перемешивании реакционной массы.
6. Гидравлический расчет.
7. Механический расчет.

Расчет реакторов периодического действия емкостного типа сводится к определению его объема, обеспечивающего заданную суточную производительность, а также тем расчетам, которые указаны для реакторов непрерывного действия.

В промышленности полимеры получают в реакторах периодического действия (РПД) и непрерывного действия (РНД). Методика их расчетов различна, и поэтому целесообразно рассмотреть ее в отдельности.

Определение объема реактора периодического действия

Исходными данными для расчета объема РПД служат, как правило, заводские данные. В их число входят:

- производительность реактора по загрузке G (кг/сут, кг/опер), которые берутся из материального баланса;
- степень превращения мономера в полимер x_M (обычно задается);
- сведения о кинетике полимеризации или поликонденсации;
- время цикла процесса получения полимера $\tau_{ц}$ (берется из регламента соответствующего полимера);
- коэффициент заполнения РПД ϕ (из материалов производственной практики)
- плотность реакционной массы ρ (кг/м³).

Объем РПД определяют по формуле

$$V_p = \frac{n \cdot G_c \cdot \tau_{ц}}{24 \cdot \rho \cdot \varphi},$$

где G_c – производительность аппарата по загрузке, м³/сут; ρ – плотность реакционной массы, кг/м³; φ – коэффициент заполнения реактора, ($\varphi = 0,5 \dots 0,8$); n – коэффициент запаса производительности, ($n = 1,1 \dots 1,15$); $\tau_{ц}$ – время цикла работы реактора:

$$\tau_{ц} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6,$$

где τ_1 – время загрузки аппарата; τ_2 – время, затрачиваемое на перемешивание и нагрев реакционной массы; τ_3 – время проведения химического процесса в реакторе; τ_4 – время, затрачиваемое на охлаждение реакционной массы; τ_5 – время выгрузки готового продукта из реактора; τ_6 – подготовка РПД к следующему циклу (очистка, осмотр и т. д.), которое задается регламентом и лежит в пределах 10...60 мин.

Длительность заполнения РПД реагентами можно рассчитать по формуле

$$\tau_1 = \frac{V_{ж}}{Q_H},$$

где $V_{ж}$ – объем жидкого мономера в РПД, м³; Q_H – производительность насоса, подающего мономер в реактор, м³/с.

Длительность опорожнения РПД τ_5 зависит от способа выгрузки из него реакционной массы и может быть рассчитана следующим образом.

При опорожнении РПД через трубу передавливания выгрузки (в с) составит

$$\tau_5 = \frac{900 \cdot V_{ж}}{D^2},$$

где D – диаметр РПД, м.

При опорожнении РПД через сливной штуцер:

$$\tau_5 = 1,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{V_{ж}}{H_{ж}^{0,5} \cdot D^2},$$

где H – начальная высота уровня жидкости в РПД, м.

Продолжительность разогрева τ_2 и охлаждения τ_4 РПД при известной площади поверхности рубашки (змеевика) F (м²) может быть рассчитана по формуле

$$\tau_{2,4} = \frac{Q_{2,4}}{K \cdot F \cdot \Delta t_{CP,4}},$$

По окончании расчетов номинальный объем РПД выбирают по ГОСТ 13372-78 «Сосуды и аппараты. Ряд номинальных объемов». Ряды

диаметров сварного сосуда или аппарата из листовой стали выбирается по ГОСТ 9617-76 «Сосуды и аппараты. Ряды диаметров».

Время полимеризации или поликонденсации τ_3 можно рассчитать из формулы

$$\tau_3 = C_{M_0} \cdot \int_0^x \frac{1}{r_{\Pi}} \cdot dx, \quad (1.7.5)$$

где C_{M_0} – начальная концентрация мономера, моль/л; x – степень превращения мономера в полимер; r_{Π} – скорость полимеризации, моль/(л·с).

Скорость радикальной полимеризации описывается уравнением вида

$$r_{\Pi} = \frac{k_p}{k_o^{0,5}} \cdot C_M \cdot r_{ин}^{0,5},$$

где k_p , k_o – константы скорости реакций роста и обрыва цепи; $r_{ин}$ – скорость реакции инициирования, моль/(л·с).

После подстановки скорости полимеризации в уравнение (1.7.5), некоторых преобразований и решения интеграла получаем

$$\tau_3 = \frac{k_o^{0,5}}{k_p \cdot r_{ин}^{0,5}} \cdot \ln \frac{1}{1-x}.$$

Определение объема реактора идеального вытеснения непрерывного действия

В том случае, когда не имеется кинетических данных о полимеризации того или иного мономера, то определить объем реактора идеального вытеснения непрерывного действия (РИВНД) можно по формуле

$$V_p = U \cdot \tau,$$

где U – объемная скорость потока, м/с³, τ – время пребывания, с.

Если известны константы скорости роста и обрыва цепи и скорость инициирования полимеризации мономера, тогда объем РИВНД вычисляются из характеристического уравнения:

$$V_p = F_0 \cdot \int_0^x \frac{1}{r_{\Pi}} \cdot dx,$$

где F_0 – мольный расход реагента в реактор, моль/с.

Наконец, если неизвестно уравнение кинетики реакции и время контакта, но имеются кинетические кривые процесса в виде зависимостей типа $x_A = f(\tau)$ при различных температурах (рис. 1.7.1), то можно воспользоваться для нахождения объема РИВНД методом графического интегрирования.

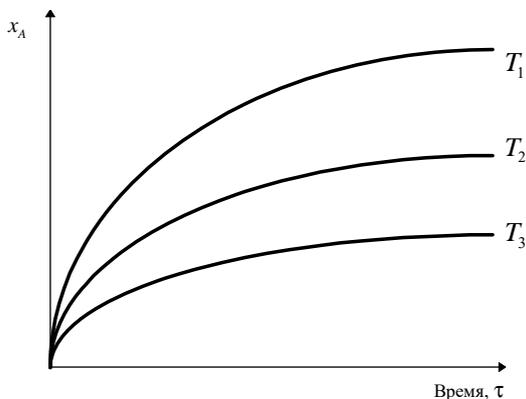


Рис. 1.7.1. Зависимость степени превращения от времени процесса при различных температурах

Время τ определяется графическим интегрированием уравнения

$$\frac{dx_A}{d\tau} = f(x, T); \quad d\tau = \frac{dx_A}{f(x, T)} \quad \text{и} \quad \tau = \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{f(x, T)}.$$

Интеграл численно равен площади, ограниченной кривой $f(x, T)$, осью абсцисс и двумя ординатами.

Для построения функции $f(x, T)$ кинетические кривые на рис. 1.5.1 графическим дифференцированием преобразуют к виду $\frac{d\tau}{dx_A} = f(x_A)$.

Для построения функции $f(x, T)$ на рис. 1.7.2 необходимо знать изменение температуры реагентов в зависимости от изменения степени превращения x_A .

Для изотермического режима $f(x, T) = f(x)$, а для адиабатического режима

$$T = T_0 + \frac{-\Delta H \cdot C_A \cdot x_A}{c_p},$$

т. е. температура является линейной функцией x_A и может быть определена для любого значения x_A . Затем, нанеся на рис. 1.7.2 точки, соответствующие рассчитанным значениям $T = f(x_A)$, и проведя по этим точкам кривую, получают $f(x, T)$. Время реакции определяют по площади под кривой $f(x, T)$, ограниченной координатами $x_{Aн}$ и $x_{Ак}$, как указано на рис. 1.7.2.

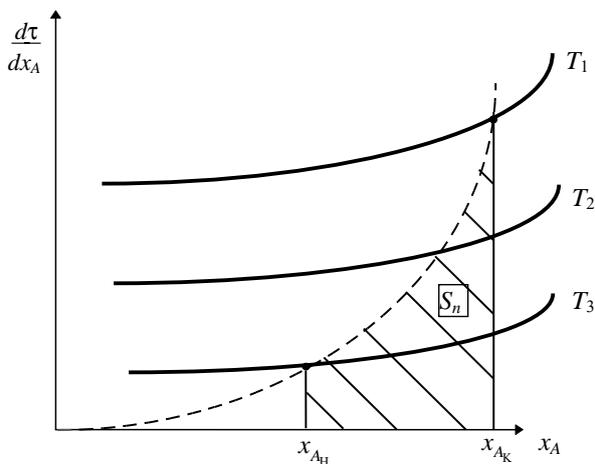


Рис. 1.7.2. Зависимость $\frac{d\tau}{dx_A} = f(x_A)$; $S_n = \tau$

Рассчитав таким образом τ , определяют объем реакционной зоны по известному уравнению.

Определение объема реактора идеального смешения непрерывного действия

Характеристическое уравнение реактора идеального смешения непрерывного действия (РИСНД) имеет вид

$$V_p = F_0 \cdot \frac{x}{r_{\Pi}}$$

Это уравнение позволяет по трем известным параметрам непосредственно определить четвертый.

Время пребывания реагентов в реакторе смешения определяют из соотношения

$$\tau = \frac{V_p}{U} = \frac{C_{M_0} \cdot x}{r_{\Pi}}$$

Если скорость реакции неизвестна, то время пребывания можно взять из регламента технологического процесса соответствующего полимера и определить объем РИСНД по формуле

$$V_p = U \cdot \tau.$$

Расчет изотермического каскада идеальных реакторов перемешивания

Степень превращения сырья A (x_A) в реакторах идеального смешения обычно меньше, чем в РИВНД. Поэтому, для увеличения производительности процесс часто проводят в каскаде последовательно соединенных полимеризаторов с мешалкой.

Состав реагентной смеси изменяется по мере перехода из одного реактора в другой, однако в каждом реакторе концентрация веществ не меняется во времени и одинакова во всем объеме.

Расчет каскада реакторов идеального смешения проводится последовательно от аппарата к аппарату, аналогично расчету одиночного РИСНД.

Аналитический расчет каскада реакторов идеального смешения

Полагая, что плотность реакционной смеси не меняется по мере прохождения через систему и что при установившемся режиме питания объемные расходы во всех ступенях каскада равны между собой, можно записать уравнение материального баланса для j -го реактора каскада по ключевому компоненту A в следующем виде:

$$x_{A_j} - x_{A_{j-1}} = \frac{V_{p_j} \cdot r_{A_j}}{U},$$

где x_{A_j} и $x_{A_{j-1}}$ – степени превращения компонента A в последующем (j) и предыдущем ($j-1$) реакторах соответственно; U – объемный расход реагентов, м³/с.

Тогда время пребывания τ_j в j -аппарате можно записать в форме

$$\tau_j = \frac{C_{A_0} \cdot \left[\left(1 - \frac{C_{A_j}}{C_{A_0}} \right) - \left(1 - \frac{C_{A_{j-1}}}{C_{A_0}} \right) \right]}{r_{A_j}} = \frac{C_{A_{j-1}} - C_{A_j}}{r_{A_j}},$$

здесь C_{A_j} и $C_{A_{j-1}}$ – концентрации компонента A в j и $j-1$ реакторах соответственно.

Для реакции первого порядка полученное уравнение принимает вид

$$\tau_j = \frac{C_{A_{j-1}} - C_{A_j}}{k \cdot C_{A_j}}; \text{ откуда } \frac{C_{A_{j-1}}}{C_{A_j}} = 1 + k \cdot \tau_j,$$

где k – константа скорости химической реакции.

Если соединенные в каскад реакторы имеют равные объемы и работают в одном режиме, то $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_n$.

Следовательно,
$$\frac{C_{A_0}}{C_{A_j}} = \frac{1}{1-x_{A_j}} = \frac{C_{A_0}}{C_{A_1}} \cdot \frac{C_{A_1}}{C_{A_2}} \cdot \dots \cdot \frac{C_{A_{j-1}}}{C_{A_0}} = (1-k \cdot \tau_j) \cdot n.$$

После преобразования для всего каскада реакторов получаем

$$\tau_n = n \cdot \tau_j = \frac{n}{k} \cdot \left[\left(\frac{C_{A_0}}{C_{A_j}} \right)^{1/n} - 1 \right] = \frac{V_P \cdot n}{U}, \quad (1.7.6)$$

где n – число реакторов в каскаде, C_{A_0} – начальная концентрация компонента A на входе в первый реактор.

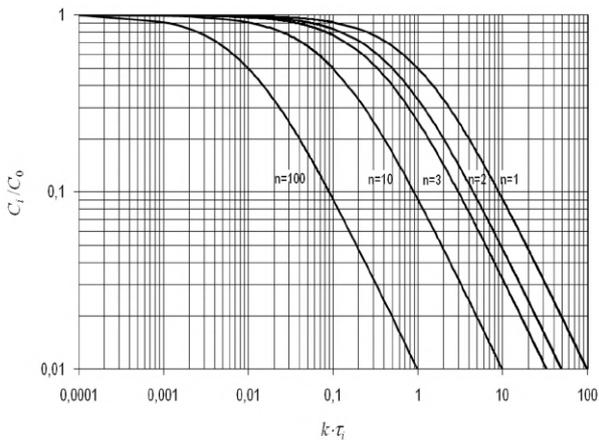


Рис. 1.7.3. Графическое изображение функции $\frac{C_{A_j}}{C_{A_0}} = f(k \cdot \tau_j)$ для реакции 1-го порядка при различном числе РИСНД в каскаде

Таким образом, из уравнения (1.7.6) можно рассчитать объем всей системы, зная время пребывания и объемную скорость. Время пребывания в этом случае определяется на основании кинетических закономерностей.

На рис. 1.7.3 в качестве примера приведено графическое изображение функции $\frac{C_{A_j}}{C_{A_0}} = f(k \cdot \tau_j)$ для реакции 1-го порядка при различном числе РИСНД в каскаде.

Следует отметить, что аналитическое решение уравнения (1.7.6) для реакций более высокого порядка затруднительно. Даже в случае реакции 1-го порядка при наличии более трех ступеней в каскаде аналитическое решение требует больших затрат времени. В связи с этим для расчета каскада РИСНД предпочтительнее использовать графические методы или расчет на ЭВМ.

Графические методы расчета каскада реакторов идеального смешения

При использовании этих методов отпадает необходимость в определении порядка реакции, и расчет в этом случае проводят непосредственно по экспериментальным значениям скорости реакции.

Пусть имеется кинетическая кривая изменения концентрации ключевого компонента от времени протекания процесса, т. е. график зависимости $C = f(\tau)$ (рис. 1.7.4).

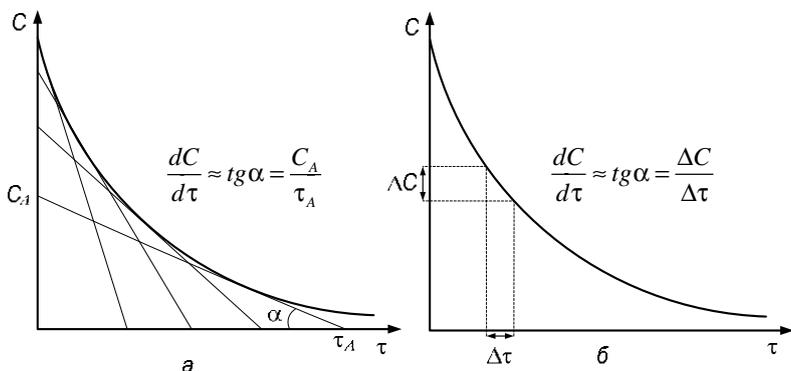


Рис. 1.7.4. Определение $\frac{dC}{d\tau}$ графическим способом по кинетической кривой

$$C = f(\tau)$$

Графическое дифференцирование кривой, приведенной на рис. 1.7.4, позволяет перейти к зависимости $-\frac{dC}{d\tau} = f(\tau)$. С этой целью проводят ряд касательных к кривой $C = f(\tau)$ в нескольких точках (как показано на рис. 1.7.4а), измеряют их наклон и строят зависимость скорости реакции r от времени τ (рис. 1.7.5а).

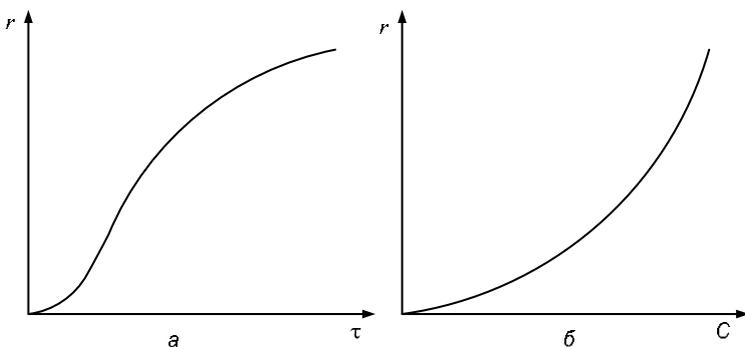


Рис. 1.7.5. Зависимость $r = \frac{dC}{d\tau}$ от времени процесса (а) и от концентрации ключевого компонента (б)

Путем аналогичных графических преобразований выражают скорость реакции r как функцию концентрации ключевого компонента (рис. 1.7.5б).

В другом варианте можно использовать прием приближенного дифференцирования, как показано на рис. 1.7.4б. В этом случае кривую $C = f(\tau)$ разбивают на несколько участков и для каждого из них определяют

$\frac{dC}{d\tau} \approx \frac{\Delta C}{\Delta \tau}$. В конечном счете получают график зависимости скорости процесса r от времени τ (см. рис. 1.7.5а).

Число аппаратов n , необходимых для достижения некоторой заданной степени превращения, можно определить простым ступенчатым построением графика (см. рис. 1.7.6), аналогично тому, как это делается при определении числа теоретических тарелок в процессе ректификации. С этой целью на имеющемся графике зависимости скорости реакции r от концентрации ключевого компонента проводят прямую из точки C_0 с углом наклона, равным $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\tau_i} = \frac{V_0}{V_p}$, до пересечения с кривой $r = f(C)$.

После этого из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс, получая значение концентрации, достигаемой в первой ступени каскада.

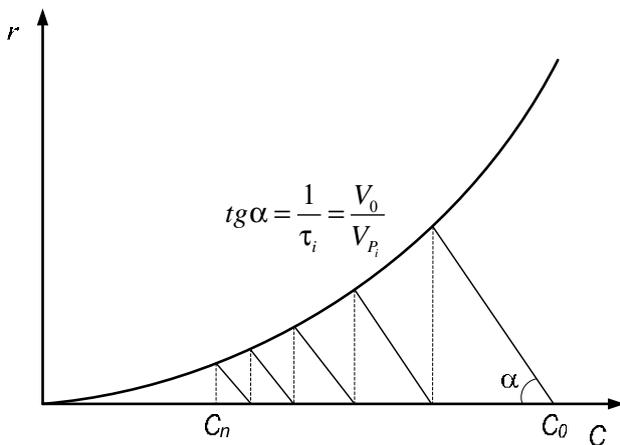


Рис. 1.7.6. Ход расчета каскада реакторов идеального смешения графическим способом

Подобные графические построения повторяют до тех пор, пока не получат конечное значение C_n , соответствующее концентрации ключевого компонента на выходе из каскада. Число реакторов в каскаде будет соответствовать числу графических построений, т. е. числу найденных рабочих концентраций ключевого компонента.

Графический метод определения степени превращения в каскаде равных кубовых реакторов

При сложных выражениях скорости реакции (например, для реакции 2-го порядка с избытком одного из реагентов) графический метод решения задачи разработан Элриджем и Пиретом, которые использовали выражение материального баланса в виде

$$x_{i-1} = x_i - \frac{V_p \cdot n}{U} \cdot r_i \quad (1.7.7)$$

Если r_i – известная функция x_i , а отношение $\frac{V_p \cdot n}{U}$ предварительно выбрано и принято независимым от числа реакторов (n), то величина x_{i-1} в выражении (1.7.7) определяется только x_i . Эта зависимость может быть представлена кривой 1 на рис. 1.7.7.

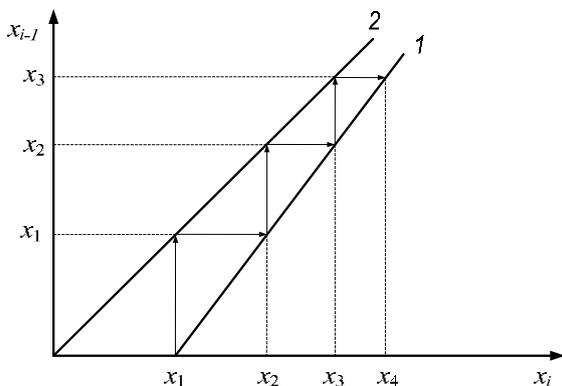


Рис. 1.7.7. Графическое построение для определения степени превращения в каскаде одинаковых РИСНД

Если провести вспомогательную кривую 2, для которой расстояние по горизонтали между кривыми 1 и 2 будет равно выбранному $x_j - x_{j-1}$, то шаговым построением, как показано на рис. 1.7.7, находят искомое число аппаратов в каскаде, необходимое для получения заданной степени превращения.

Итерационный метод расчета каскада реакторов идеального смешения

Этот метод расчета позволяет получить решение для реакции любого порядка m при любом числе реакторов в каскаде n и различных объемах реакторов, составляющих каскад.

Поскольку $-r \cdot \tau = C_0 - C_K$, то можно записать:

$$C_0 - C_K = k \cdot \frac{V_p}{U} \cdot C^m.$$

Преобразуем последнее уравнение к виду

$$1 - \frac{C_K}{C_0} = k \cdot \frac{V_p}{U} \cdot C_0^{m-1} \cdot \left(\frac{C_K}{C_0} \right)^m.$$

Обозначив $v = \frac{C_K}{C_0}$ и $R = k \cdot \frac{V_p}{U} \cdot C_0^{m-1}$, будем иметь

$$f(v) = R \cdot v^m + v - 1 = 0. \tag{1.7.8}$$

Решение этого уравнения можно выполнить методом итераций, используя для сходимости например 1-ю формулу Ньютона:

$$v_{i+1} = v_i + \frac{f(v_i)}{f'(v_i)}.$$

Первая производная функции $f(v)$, необходимая для использования 1-й формулы Ньютона, для нашего случая определится как $f'(v) = m \cdot R \cdot v^{m-1} + 1$. Тогда

$$v_{i+1} = v_i - \frac{R \cdot v_i^m + v_i - 1}{m \cdot R \cdot v_i^{m-1} + 1} \text{ или } v_i = v_{i-1} - \frac{R \cdot v_{i-1}^m + v_{i-1} - 1}{m \cdot R \cdot v_{i-1}^{m-1} + 1}.$$

Уравнение (1.7.8) можно решить для каждого реактора любого объема в каскаде, начиная с первого. Доля непрореагировавшего вещества в выходном потоке $v = \frac{C_K}{C_0}$ составит $v = v_1 \cdot v_2 \cdot \dots \cdot v_{n-1} \cdot v_n$.

Расчет реакторов непрерывного действия. Неизотермические режимы

При использовании неизотермических идеальных реакторов скорость процесса является функцией температуры и степени превращения. В этом случае при определении объема реактора (или степени превращения, продолжительности реакции) совместно решают уравнения материального и теплового балансов. Например, для расчета РПД при использовании неизотермического режима можно пользоваться следующим уравнением:

$$\pm \Delta H \cdot V_p \cdot r \cdot d\tau \pm q_t \cdot d\tau = m \cdot c_p \cdot dT,$$

где ΔH – тепловой эффект реакции; V_p – объем реактора, м³; r – скорость реакции по ключевому компоненту; q_t – скорость отвода или подвода тепла; c_p – средняя теплоемкость реакционной смеси при постоянном давлении; m – общая масса питания, кг; τ – время реакции; T – температура реакционной смеси.

В частности, для адиабатического режима уравнение теплового баланса принимает вид

$$\pm \Delta H \cdot V_p \cdot r \cdot d\tau = m \cdot c_p \cdot dT,$$

поскольку отсутствует теплообмен с окружающей средой.

Расчет адиабатического реактора идеального смешения

Адиабатический режим в РИСНД характеризуется отсутствием теплообмена через внешние и внутренние теплообменные поверхности. Зависимость степени превращения от температуры при необратимой экзотермической реакции, протекающей в адиабатическом аппарате, рассчитывают из соотношения

$$x_A = \frac{\rho \cdot c_p}{C_0 \cdot (-\Delta H)_T} \cdot \Delta T, \quad (1.7.9)$$

где ρ – плотность реакционной смеси, кг/м³; c_p – теплоемкость реакционной массы, кДж/(кг·град); C_0 – концентрация целевого компонента, кмоль/м³; ΔT – разность температур на входе и выходе, °С.

Решая совместно уравнение (7.9) с уравнением материального баланса $\tau = \frac{x}{r}$, получаем

$$\tau = \frac{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T}{-\Delta H \cdot C_0 \cdot r}.$$

Рассчитав τ , определяют объем РИСНД по известному соотношению.

Расчет адиабатического реактора идеального вытеснения

В реакторах этого типа температура изменяется по длине аппарата. Таким образом, скорость процесса и степень превращения ключевого продукта являются функциями температуры $x = f(T)$; $r = f(T)$.

Изменение температуры по длине реактора можно определить из уравнения

$$T_K = T_H + \frac{C \cdot (-\Delta H)_T}{c_p} \cdot (x_K - x_H),$$

где ΔH – тепловой эффект реакции; c_p – теплоемкость реакционной массы; C – концентрация целевого компонента; x_H и x_K – степень превращения в начале и в конце процесса соответственно.

Уравнение материального баланса для РИВНД принимает вид

$$V_p = F_0 \cdot \int_0^{x_K} \frac{dx}{[k = f(T)] \cdot [C = f(x)]},$$

в котором функциональная зависимость константы скорости реакции k от температуры определяется значением x .

7.1.4. Методы расчета реальных реакторов

Отличие реальных реакторов от идеальных моделей принято характеризовать тремя видами отклонений от идеальности:

- наличием поперечных градиентов температур;
- наличием продольной диффузии;
- неравномерностью скоростей потока по сечению аппарата.

Из реальных реакторов почти не отличается от идеального представления реактор периодического действия с мешалкой (РПД).

Несколько больше отличий от идеальной модели имеет реальный кубовый реактор проточного типа. И, наконец, наибольшим числом отклонений от идеальности характеризуется реальный трубчатый реактор непрерывного действия.

Трубчатый реактор вытеснения

Перечисленные виды отклонений могут быть более или менее удачно учтены в виде корректирующих дополнений в уравнениях материального и теплового балансов соответствующей идеальной модели. В итоге получаются более сложные виды математических описаний, чем для РИВНД, учитывающие от одного и более указанных видов отклонений от идеальности. Как правило, решение подобных задач удобнее проводить с использованием вычислительной техники.

Наличие продольной диффузии

Степень отклонения от идеальности для трубчатых реакторов, работающих в изотермических условиях, оценивают по величине $\frac{D}{w \cdot l}$, обратной диффузионному критерию Пекле Pe_D (где w – скорость жидкости, l – длина реактора, D – коэффициент продольной диффузии). Численное значение $\frac{D}{w \cdot l}$ изменяется от 0 до ∞ и зависит от порядка реакции.

Практическое использование критерия Пекле сводится к установлению различий в объемах идеального и реального реакторов по известным уравнениям кинетики рассматриваемых процессов. В литературе приводятся графические зависимости, позволяющие оценить это различие и избежать трудоемких аналитических решений. На рис. 1.7.8 в качестве примера представлен один из таких графиков.

Из рис. 1.7.8 видно, что чем больше значение D и x , тем больший объем должен иметь реальный реактор по сравнению с идеальным аппаратом.

Этот тип отклонения от идеальности учитывается диффузионной моделью. Тепловой режим может быть любым. Согласно диффузионной модели для стационарного процесса в изотермических условиях математическое описание реактора вытеснения будет определяться зависимостью

$$\frac{1}{Pe_D} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial \epsilon^2} - \frac{\partial C}{\partial \epsilon} + \frac{l}{w} \cdot r = 0.$$

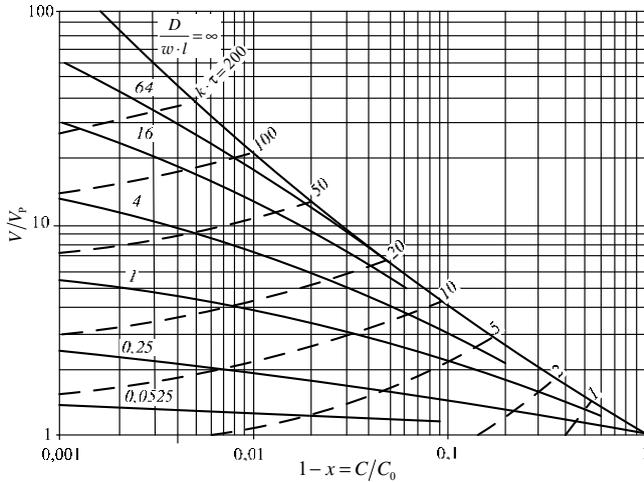


Рис. 1.7.8. Сопоставление реактора идеального вытеснения с реактором, в котором происходит продольное смешение для реакций 1-го порядка

То же, но для адиабатического теплового режима:

$$\frac{1}{\text{Pe}_D} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial C}{\partial \varepsilon} + \frac{l}{w} \cdot r = 0,$$

$$\frac{1}{\text{Pe}_T} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} + \frac{\Delta H \cdot l}{c_p \cdot w} \cdot r = 0.$$

То же, но в режиме с внешним теплообменом:

$$\frac{1}{\text{Pe}_D} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial C}{\partial \varepsilon} + \frac{l}{w} \cdot r = 0,$$

$$\frac{1}{\text{Pe}_T} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} + \frac{\Delta H \cdot l}{c_p \cdot w} \cdot r + K_T \cdot (T - T_X) = 0.$$

Принятые обозначения: l – длина реактора; w – линейная скорость потока; C_A – концентрация ключевого компонента; T – температура; T_T – температура потока охлаждения (нагрева); T_X – текущая температура; ε – безразмерная длина ($\partial \varepsilon = \frac{\partial l}{l}$); ΔH – тепловой эффект реакции;

$\text{Pe}_D = \frac{w \cdot l}{D}$ – критерий Пекле диффузионный; $\text{Pe}_T = \frac{w \cdot l \cdot \bar{c}_p}{\bar{\lambda}}$ – критерий

Пекле тепловой; \bar{D} – эффективный коэффициент диффузии; \bar{c}_p – эффективная теплоемкость единицы ОРЗ; $\bar{\lambda}$ – эффективная теплопроводность реакционной массы; K_T – коэффициент теплопередачи.

Математические приемы решения таких уравнений не представляют сложности, но имеют специфические условия, рассчитанные на использование ЭВМ. Познакомиться с ними можно в специальной литературе.

Наличие градиентов скоростей

Градиенты скоростей обусловлены неидеальностью потока жидкости в проточном реакторе и как правило этот вид отклонения от идеальности в чистом виде встречается редко. Наиболее характерно такое проявление для вязких потоков. В зависимости от гидродинамического режима профиль скоростей потока по радиусу аппарата может определяться ламинарным ($Re < 2300$) или турбулентным ($Re > 2300$) течением. В первом случае диапазон разброса скоростей значительно выше по сравнению с турбулентным режимом. При учете данного вида отклонения от идеальности в расчетах объемов реакторов используют следующий прием. За основу берется любая методика расчета реактора идеального вытеснения, а затем полученное решение корректируется специальным коэффициентом, учитывающим дисперсию линейной скорости по радиусу аппарата в зависимости от гидродинамического режима в реакторе. Корректирующий коэффициент по физическому смыслу определяется функцией распределения времени пребывания.

Функция распределения показывает долю непрерывного потока на входе, которая находилась в реакторе в течение времени, меньшего или большего, чем время пребывания:

$$\bar{\tau} = \int_0^{\infty} \tau \cdot dF(\tau),$$

где $\bar{\tau}$ – среднее время пребывания; $dF(\tau)$ – функция распределения времени пребывания; τ – время прохождения жидкости (газа) через реактор.

Вид функции распределения можно получить экспериментально, варьируя какое-либо свойство потока на входе в систему и изучая изменение этого свойства на выходе. В этом случае ее обозначают $E(\tau)$. С учетом безразмерного времени $\theta = \frac{\tau}{\bar{\tau}}$ объем реактора вытеснения может быть определен из выражения

$$\theta = \frac{\tau}{\bar{\tau}} = \frac{V_p}{V_0 \cdot \bar{\tau}} \quad (1.7.10)$$

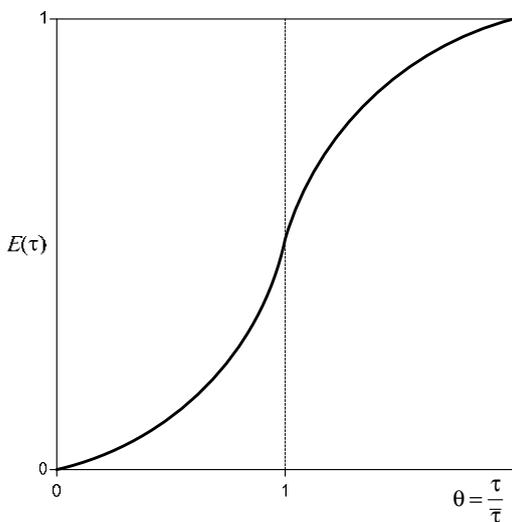


Рис. 1.7.9. Кривая распределения времени пребывания

Гипотетическая кривая распределения времени пребывания показана на рис. 1.7.9.

Таким образом, чтобы воспользоваться уравнением (1.7.10), необходимо знать среднее время пребывания $\bar{\tau}$.

Наличие градиентов температур

Данный вид отклонений в основном характерен для гетерогенно-каталитических процессов, протекающих в трубчатых реакторах с неподвижным слоем катализатора и внешним теплообменом.

Расчет реактора такого типа в принципе аналогичен расчету гомогенного идеального реактора вытеснения. Главное отличие заключается в том, что в реальном реакторе за счет теплового сопротивления контактной массы (гидравлическим сопротивлением пренебрегаем) существует, кроме продольного, поперечный градиент температуры и концентраций. В безнасадочных реакторах поперечные градиенты, как правило, не наблюдаются. В этом случае, при использовании для расчетов характеристического уравнения идеального трубчатого реактора, появляется дополнительная неопределенность, связанная с градиентами температуры по объему. Общее математическое описание процесса в трубчатом реакторе с неподвижным слоем катализатора можно представить в виде

$$\begin{aligned} \Pi_D \left[\frac{\partial^2 C}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial C}{\partial \rho} \right] - \frac{1}{\text{Pe}_D} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial C}{\partial \varepsilon} + \frac{l}{w} \cdot r = 0, \\ \Pi_T \left[\frac{\partial^2 T}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial T}{\partial \rho} \right] - \frac{1}{\text{Pe}_T} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varepsilon^2} - \frac{\partial T}{\partial \varepsilon} + \frac{\Delta H \cdot l}{c_p \cdot w} \cdot r = 0, \end{aligned}$$

где l – длина реактора; w – линейная скорость потока; C – концентрация ключевого компонента; T – температура; ρ и ε – безразмерный радиус и безразмерная длина; ΔH – тепловой эффект реакции; $\Pi_D = \frac{D_R}{w \cdot R^2}$;

$\Pi_T = \frac{\lambda \cdot l}{c_p \cdot w \cdot R^2}$; D_R – эффективный коэффициент диффузии в радиальном направлении; R – радиус трубы; \bar{c}_p – эффективная теплоемкость единицы ОРЗ; $\bar{\lambda}$ – эффективная теплопроводность реакционной массы; r – скорость химической реакции.

В зависимости от значений критериев Π_D , Π_T , Pe_D и Pe_T рассмотренную модель можно привести к более простому виду.

Реакторы смешения

Реальные системы такого типа отличаются от идеальных в основном наличием явлений «проскока», приводящих к снижению производительности реактора по сравнению с идеальной моделью, или же к увеличению размеров реакционной зоны при тех же показателях производительности.

Очень удобно и просто для этих целей использовать имеющиеся графические зависимости, отражающие взаимосвязь глубины превращения ключевого компонента и модуля реакции. Такие сведения часто приводятся в различной учебной и специальной литературе.

Для емкостных аппаратов с мешалками основным тепловым режимом является изотермический. Этот признак обычно реализуется при достаточно интенсивном перемешивании. Но нередки случаи, когда в таких реакторах объемное перемешивание не является полным. В таких ситуациях отнесение действующего (или проектируемого) реактора к реальному или идеальному можно осуществить по значению критерия Pe_D . Обычно принято считать конструкцию идеальной, если $\text{Pe}_D > 200$, но для расчетных действий зачастую хватает точности, когда $\text{Pe}_D > 50$.

Весь объем реакционной зоны реактора перемешивания можно представить суммой объемов зон, соединенных последовательно или параллельно. К таким зонам кроме зоны основного протока относятся:

- зона обратного перемешивания;
- зона байпасирования;

- застойные зоны;
- зоны струйных проявлений и т. д.

Расчет проточных реакторов перемешивания в реальном представлении недоступен из-за ряда условий, точное определение которых априорно или путем математического моделирования невозможно. Единственным надежным путем решения таких задач является использование экспериментальных данных для каждого конкретного случая с определением функции распределения времен пребывания для случаев обратного перемешивания и других отклонений от идеальности. По найденной функции распределения времен пребывания рассчитывают критерии Pe ; на опытном реакторе, а затем по полученным данным делается переход на проектируемый реактор.

7.2. Механический расчет

Цель механического расчета – проверка работоспособности в заданных условиях узлов выбранного по ГОСТ серийного реактора. В отдельных случаях при эксплуатации реакторов требуется также определить предельные значения технологических параметров (давление, температура), при которых не нарушается работоспособность аппарата.

Проверочный расчет элементов реактора производится для корпуса, крышки, узла привода с валом мешалки и т. д.

Расчетную толщину обечайки определяют по формуле

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_p - P} + C_1 + C_2 \leq S_{\text{табл}},$$

где S – расчетная толщина стенки; $S_{\text{табл}}$ – табличная толщина стенки выбранного реактора; P – внутреннее давление, $P = P_{\text{раб}} \cdot n$ ($n = 1,25$ или $1,5$); $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение при растяжении, МПа; φ – коэффициент прочности продольного сварного шва; C_1 и C_2 – прибавка на коррозию и возможное отклонение толщины листа, м; D – внутренний диаметр обечайки, м.

Для стандартного эллиптического днища (крышки):

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_p - 0,5 \cdot P} + C_1 + C_2 \leq S_{\text{табл}}.$$

Для конического днища:

$$S = \frac{P \cdot D}{(2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_p - P) \cdot \cos \alpha} + C_1 + C_2 \leq S_{\text{табл}},$$

где α – угол конусности, град.

Для плоского днища (крышки):

$$S = K \cdot K_0 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_p \cdot \varphi}} + C_1 + C_2 \leq S_{\text{табл}},$$

где K – коэффициент, учитывающий тип соединения днища (крышки) с обечайкой, $K = 0,40 \dots 0,55$; K_0 – коэффициент ослабления сечения крышки отверстием.

При количестве отверстий больше одного:

$$K_0 = \sqrt{\frac{(1 - D \cdot \sum d_i)^2}{1 - \sum d_i / D}}$$

При одном отверстии в крышке (днище):

$$K_0 = \sqrt{1 + d/D + (d/D)^2},$$

где $\sum d_i$ – максимальная сумма длин диаметров и хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральной сечении (отверстия для болтов в расчет не принимаются).

Если неравенство $S \leq S_{\text{табл}}$ не выполняется, то либо увеличивается толщина стенки, либо выбирается более прочный материал.

Все мешалки поверяется на прочность по уравнению

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{N_{\text{э.дв}} \cdot \eta_{\text{ред}}}{\omega_{\text{м}} \cdot W_{\text{р}}} \leq [\tau]_{\text{кр}},$$

где $[\tau]_{\text{кр}}$ – допускаемое напряжение на кручение, МПа; $N_{\text{э.дв}}$ – мощность электродвигателя, Вт; $\eta_{\text{ред}}$ – КПД редуктора (0,8...0,85); $\omega_{\text{м}}$ – угловая скорость вала мешалки, с^{-1} ; $W_{\text{р}}$ – полярный момент сопротивления, $W_{\text{р}} = 0,2 \cdot d^3$; d – диаметр вала мешалки, м.

7.3. Гидравлический расчет

Расчет гидравлического сопротивления проводится для определения затрат энергии на перемещение жидкостей и газов и выбора насосов и компрессоров.

Из курса «Процессы и аппараты химической технологии» известно, что при движении потока по трубопроводу гидравлическое сопротивление складывается из сопротивления трения о стенки и местных сопротивлений, возникающих при изменении направления или скорости потока. Суммарные потери давления $\Delta P_{\text{п}}$ или напора $h_{\text{п}}$ на преодоление сопротивления трения и местных сопротивлений (вентилей, переходов и т. д.) в трубопроводах определяется из выражений:

$$\Delta P_{\text{п}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \sum \xi_i \right) \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2};$$

$$h_{\text{п}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \sum \xi_i \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент трения; l – длина трубопровода, м; d_3 – эквивалентный диаметр, м; ξ_i – коэффициент местного сопротивления; w – скорость потока, м/с; ρ – плотность среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Основными задачами при расчете насосов являются определение необходимого напора и мощности двигателя при заданном расходе жидкости; выбор насоса по каталогам и ГОСТам с учетом свойств перемещаемой жидкости.

Полезная мощность, затрачиваемая на перемещение жидкости:

$$N_{\text{п}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000}.$$

Напор определяется по формуле

$$H = \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\text{п}},$$

где P_1 – давление в аппарате, из которого перекачивается жидкость, Па; P_2 – давление в аппарате, в который подается жидкость, Па; Q – объемный расход жидкости, м³/с; H_{Γ} – геометрическая высота подъема жидкости, м; $h_{\text{п}}$ – потери напора во всасывающей и нагнетательной линиях, м.

Мощность, которую должен развивать электродвигатель насоса на выходном валу при установившемся режиме работы:

$$N = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}},$$

где $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{п}}$ – КПД соответственно насоса и передачи от электродвигателя к насосу.

Зная производительность, напор и мощность электродвигателя выбирают по каталогам насос с учетом свойств перемещаемой жидкости.

7.4. Заключение

Инженерные расчеты не сводятся к определению основных размеров реакторов с целью подбора стандартного или проектирования и заказа нестандартного оборудования. Они предусматривают, прежде всего, сравнительный количественный анализ различных вариантов аппаратурного оформления технологической схемы процесса. Для этого необходимы расчеты материальных и тепловых балансов.

При проведении инженерных расчетов следует принимать во внимание вопросы экологической приемлемости проектируемого технологического процесса, техники безопасности, механизации и автоматизации и т. д.

Вопросы для самоконтроля

1. Выведите характеристические уравнения реакторов идеального смешения и вытеснения непрерывного действия?
2. Составьте тепловой баланс реактора смешения непрерывного действия.
3. Что такое время пребывания, как его определяют?
4. Какие данные должны быть известны проектировщику при определении объема реактора периодического действия?
5. Как определяют поверхность теплообмена изотермического реактора?
6. Последовательность расчета теплового баланса реактора периодического действия.
7. Последовательность гидравлического расчета реакционного оборудования и подбора насосов.
8. Зачем необходимо проводить механический расчет реакционного оборудования?
9. Последовательность теплового расчета адиабатического реактора.

Часть 2. Оборудование для производства полимеров

Глава 1. Эскизная конструктивная разработка реакторов синтеза полимеров

После выбора метода производства полимера специалисты приступают к проектированию технологического оборудования. Оборудованием называют технические устройства, предназначенные для создания условий, обеспечивающих требуемые технологические параметры (температуру, давление и др.). Ниже будут изложены этапы проектирования реакторов синтеза полимеров.

1.1. Тенденция развития оборудования синтеза полимеров

Любой промышленный процесс получения полимеров представляет собой комбинацию стандартных и нестандартных аппаратов для работы в конкретных производствах. К такому оборудованию в основном относятся: котлы, колонные аппараты, полимеризационные формы и др. Технологи-проектировщики при создании нового технологического процесса синтеза полимеров руководствуются простым правилом: процесс должен быть в максимальной степени ориентирован на стандартизованное оборудование. Стандартизованное оборудование подбирают по каталогам.

В каких случаях возникает необходимость в использовании нестандартного оборудования? Очевидно, что такое оборудование нужно тогда, когда стандартное не удовлетворяет требованиям, сформулированным при разработке технологического процесса. Например, создание нестандартных аппаратов должно значительно увеличить эффективность технологического процесса, когда технологи приходят к выводу, что разрабатываемый ими процесс синтеза полимеров не «вписывается» в стандартную аппаратуру. После этого разрабатывается техническое задание на специальный аппарат, чаще всего представляющий собой модификацию известного. В контексте вышесказанного уместно привести пример, иллюстрирующий ситуацию, возникшую при выборе стандартной и нестандартной аппаратуры в производстве полиэтилена высокой плотности путем газофазной полимеризации этилена. Так, фирма Union Carbide с самого начала решила использовать процесс в кипящем слое, который широко применяется в производстве мономеров. Известны конструкции реактора в виде организованного кипящего слоя, фонтанирующего, виброкипящего со встроенным холодильником, мешалками, направляющими

плоскостями и т. п. Однако исследователи этой фирмы решили использовать наиболее простую конструкцию реактора с решеткой и расширителем. Создание реактора объемом в несколько сот кубометров, рассчитанного на давление 2,5 МПа, само по себе превратилось в задачу уникальной сложности.

Требования к оборудованию:

- точное обеспечение заданного технологического процесса и производительности;
- простота обслуживания и надежность в работе;
- соответствие требованиям технической эстетики;
- технологичность изготовления (оптимальная простота конструкции, применение типовых агрегатов и узлов и т. д.);
- минимальная масса, минимальная энергоемкость;
- максимальный КПД.

Основные направления развития оборудования сводятся к следующему.

Первым направлением следует считать укрупнение единичной мощности реактора. Оно вызвано необходимостью создания многотоннажных производств полимеров и в свою очередь требует увеличения габаритов реактора, использования комбинированных установок и совмещенных агрегатов. Применение укрупненного оборудования позволяет уменьшить число аппаратов, увеличить их производительность, повысить автоматизацию управления их работы при одновременном уменьшении количества необходимых приборов.

Укрупнение до определенного предела приводит к снижению капитальных затрат и расходов на обслуживание, к сокращению площадей застройки, количества основного и вспомогательного персонала. Однако увеличение единичной мощности агрегата не всегда может быть экономически эффективным, особенно в тех случаях, когда вспомогательные операции занимают значительную часть времени основного цикла. Кроме того, следует иметь в виду, что съем тепла в таких больших агрегатах представляет очень трудную техническую задачу.

Другим направлением развития оборудования является его унификация, т. е. уменьшение его разновидностей, что позволят облегчить проектирование, изготовление и эксплуатацию реакторов и одновременно повысить эффективность их использования. На большинство конструкций оборудования, применяемого в полимерной отрасли, разработаны государственные стандарты и нормалы, которыми установлены ряды емкостей, давлений, основных параметрических характеристик оборудования. Например, на реакторы с перемешивающими устройствами объемом до 25 м³ разработан

ГОСТ 20680-2002, регламентирующий емкость, толщину стенки и диаметр корпуса, размеры и мощность привода.

Агрегатирование отдельных узлов аппаратов и машин позволяет применять один и тот же узел в различных устройствах. Так, для реакторов с мешалкой двенадцати типоразмеров используется шесть разновидностей приводов мешалок.

Важным направлением развития оборудования является интенсификация. Она подразумевает создание новых видов оборудования, рассчитанных на более интенсивные режимы эксплуатации. К ним относятся:

- переход на оборудование непрерывного действия;
- увеличение давления и температуры в рабочем объеме реактора;
- возрастание скорости движения рабочих элементов (мешалок и др.).

Повышение надежности реакторов – это задача технологов и конструкторов. Она должна обеспечить бесперебойную работу в течение заданного срока, устойчивость при повышенных температурах деталей и узлов оборудования. Оборудование должно быть механически прочным. Надежность оборудования достигается умелым использованием различных конструкционных, защитных и уплотнительных материалов, совершенствованием конструкции.

1.2. Выбор типа и формы реактора для синтеза полимеров

В технологической схеме производств любых полимеров реактор (полимеризатор) несомненно играет существенную роль, от совершенства его во многих случаях зависит выход получаемого продукта и его качество. Поэтому задача обоснования оптимальной конструкции и типа реактора очень остро встает при технологическом проектировании новых полимерных производств.

Выбор типа и формы реактора должен завершить этап выявления оптимума из всех существующих возможностей. Главным условием такого выбора является наиболее простое техническое решение, обеспечивающее нужное качество полимера при заданной производительности и минимальной себестоимости продукта. При всей очевидности постановки вопроса поиск наиболее простого технического решения сопряжен со значительными трудностями. Это обусловлено тем, что на тип и форму реакторов полимеризации мономеров влияют многие факторы. Ниже будет показано, как выбрать наилучший тип промышленного реактора для синтеза полимеров.

Реакторы для синтеза полимеров разрабатывают две группы специалистов-проектировщиков: технологическая группа и группа инженерного оформления процесса.

Следует иметь в виду, что идея будущего реактора никогда не возникает на пустом месте. Лабораторный реактор – первый прототип промышленного аппарата. Кроме того, технологи-полимерщики вооружены инженерным опытом и знакомы с типовыми конструкциями реакторов для различных технологических процессов получения полимеров.

После того как конструкция реактора обоснована и продуманы условия его эксплуатации, разрабатывается техническое задание конструкторам. Конструкторы получают задание от технологов. При этом технологи-проектировщики обычно стремятся опереться на свой собственный опыт, накопленный при проектировании той или иной конструкции реактора.

1.2.1. Типы реакторов полимеризации мономеров

В химической технологии высокомолекулярных соединений применяются реакторы самых разнообразных форм и типов. При выборе реактора полимеризации мономеров определяют в первую очередь его тип. По гидродинамической характеристике, определяющей в значительной степени режим полимеризации, они делятся на следующие типы:

- реактор периодического действия;
- реактор смешения непрерывного действия;
- реактор вытеснения непрерывного действия;
- газофазные реакторы и др.

Реактор периодического действия

До сих пор они занимают видное место в технологии синтеза полимеров. Наибольшее распространение эти реакторы получили в производстве средне- и малотоннажных полимеров, синтезируемых при различных температурных режимах.

Реактор этого типа представляет собой обычно вертикальный цилиндр с выпуклым днищем и мешалкой. Реактор оборудован внешней рубашкой, через которую циркулирует теплоноситель или хладагент. В реакторах большого объема имеются дополнительные внутренние устройства для теплообмена в виде змеевиков, пакетов труб, стаканов и диффузоров, предназначенных для увеличения поверхности теплообмена.

Реакторы периодического действия (РПД) снабжаются также перемешивающими устройствами различной конструкции. Мешалки в зависимости от вязкости реакционной среды внутри аппарата подразделяются на якорные, рамные, пропеллерные и др.

Чаще всего РПД моделируется гидродинамической моделью реактора идеального смешения. В таком реакторе возможна реализация изотермического и неизотермического режимов процесса полимеризации.

В реакторах такого типа проводят полимеризацию мономеров в растворе, суспензии, эмульсии, расплаве. Непригодны они для проведения газофазных реакций полимеризации. Однако особым случаем можно считать реакторы полимеризации газообразных этилена и пропилена в газожидкостной системе под действием катализаторов Циглера-Натта. В этом случае реактор заполнен жидкой фазой и в него непрерывно подается газообразный мономер. Последний растворяется в жидкой фазе за счет интенсивного перемешивания и полимеризуется в ней. По мере накопления полимера подвод газа прекращают и реактор разгружают.

Очень трудной инженерной задачей при синтезе полимеров в РПД остается снятие теплоты реакции полимеризации. Эта задача решается разными путями. Например, в реакторах небольшого объема поверхности теплообмена, создаваемой наружной рубашкой, достаточно для поддержания заданного температурного режима. При увеличении объема реактора прибегают к установке внутренних охлаждающих поверхностей (змеевики, стаканы и др.). Однако возможности размещения внутренних теплообменных поверхностей тоже весьма ограничены. В этом случае прибегают к циркуляции хладагента внутри мешалки или используют конденсаторы типа обратных холодильников и ведут процесс в так называемом автотермическом режиме при пониженном давлении, чтобы происходило частичное испарение мономера.

Для РПД также актуальна проблема налипания твердого полимера на стенку и крышку реактора. Она возникает при гетерогенной полимеризации ряда мономеров, в ходе которой полимер образуется в твердой фазе.

Реактор смешения непрерывного действия

Конструктивно такие реакторы не отличаются существенно от РПД. Отличие состоит в том, что в РПД все частицы реакционной среды находятся одинаковое время, а температура может изменяться практически по любому заданному закону. Если к реактору идеального смешения непрерывно подводить реагенты и одновременно с той же скоростью выводить из него содержимое, ситуация в нем начнет изменяться. В установившемся стационарном режиме концентрация реагентов во всем объеме реактора и выходе из него будет оставаться постоянной. При этом среднее время пребывания реагентов в реакторе равно

$$\tau = \frac{V_p}{U},$$

где V_p – объем реактора, м³; U – объемная скорость потока на входе в реактор, кг/ч.

Время τ в реакторе идеального смешения непрерывного действия (РИСНД) уже не одинаково, а определяется некоторым законом распределения для отдельных частиц. В частности, в РИСНД, в котором происходит мгновенное усреднение концентрации по всему объему, распределение времени пребывания частиц, поступивших в реактор с начальной концентрацией C_0 описывается уравнением вида

$$C = C_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{V}{V_p} \tau} \right).$$

Это означает, что реальное время пребывания частиц в РИСНД будет значительно отличаться от среднего значения $\bar{\tau}$. Установлено, что эта особенность РИСНД существенно влияет на молекулярно-массовое распределение (ММР) образующегося полимера, а также на его микроструктуру и состав, если речь идет соответственно о гетерофазных материалах и сополимерах. Например, при «живой» полимеризации стирола в РПД можно ожидать, что ширина ММР для полимера достаточно близка к единице, а в РИСНД этот же процесс приведет к полимеру с ММР равным двум.

Особенностью РИСНД является зависимость степени превращения мономера в полимер от объемной скорости потока, т. е. от времени пребывания в нем реагентов. Характер этой зависимости таков: чем меньше время пребывания реагентов в реакторе, тем ниже степень превращения.

Для того чтобы сочетать высокую производительность с высокими степенями превращения мономера в полимер и обеспечить последовательное изменение температуры процесса, применяют каскады последовательно соединенных реакторов смешения непрерывного действия. В этом случае температура процесса может изменяться скачкообразно от реактора к реактору в каскаде.

Каскады РИСНД применяют в растворной и эмульсионной полимеризации в производствах синтетических каучуков на основе дивинила и других мономеров, таких как стирол, акрилонитрил и др.

Реактор вытеснения

Прототипом такого реактора является труба, в которой движется жидкий мономер в смеси с образующимся жидким полимером. Другая модель – шнековый реактор, в котором происходит полимеризация с образованием высоковязкого или твердого полимера. По принципу реактора вытеснения работают аппараты колонного типа, применяемые в производствах полистирольных пластиков, полиакрилонитрила и т. д.

Реактор идеального вытеснения непрерывного действия (РИВНД) характеризуется переменной концентрацией реагирующих веществ по

длине реактора, наибольшей разницей концентраций на входе и выходе из реактора и, следовательно, наибольшей движущей силой процесса.

Аппараты колонного типа могут быть оборудованы различными по конструкции внутренними теплообменными устройствами. В реакторах трубчатого типа теплообмен можно организовать только через стенку или за счет ввода в различные зоны реактора дополнительных охлажденных потоков сырья, как это делается в производстве полиэтилен при высоком давлении.

Размеры трубчатых реакторов в синтезе полиэтилена достигают нескольких километров в длину при производительности до 70...80 тыс. т/год. Другой тип реактора, используемого в производстве полиэтилена низкой плотности, носит название автоклава с мешалкой, но на самом деле это тоже реактор вытеснения. Он представляет собой толстостенную трубу большого диаметра с многорядной мешалкой, обеспечивающей радиальное перемешивание реакционной массы.

Из литературы известны и другие типы реакторов синтеза полимеров. Например, для полимеризации этилена на катализаторах, нанесенных на твердый дисперсный носитель, используют газофазный реактор, работающий в режиме псевдооживления. Сконструированы и работают реакторы этого типа объемом до 600 м³.

Из других типов реакторов следует упомянуть аппараты, в которых полимеризация мономера проводится в тонких слоях под действием радиационного и фотоизлучения, и полимерные формы, предназначенные для отверждения и вулканизации, а также сшивания в массе материала.

Сравнение различных типов реакторов синтеза полимеров

Ниже, основываясь на кинетике полимеризационных процессов, будет показано, почему один тип реактора обеспечивает большой выход полимера и оказывается предпочтительнее другого.

Например, при рассмотрении одних кинетических факторов обычно имеется возможность выбора подходящего типа реактора на основе соображений частично теоретического, частично интуитивного характера. В основе этих соображений лежат данные анализа взаимосвязи кинетических факторов процесса и различий между основными типами реакторов. В контексте сказанного сравним динамические модели реакторов по производительности. Предположим, что полимеризация имеет нулевой порядок по мономеру. Теория химических реакторов предсказывает, что для реакции нулевого порядка тип реактора не имеет значения, поскольку производительность реактора зависит только от его объема. Очевидно, что большие объемы конструктивно и экономически проще реализовать в виде кубового реактора смешения.

Теперь сравним типы реакторов для проведения реакции первого порядка, по производительности. Оказывается, что при очень малых значениях τ кривые совпадают. То же происходит при очень больших значениях времен пребывания τ . Для промежуточных значений τ реактор типа РИВНД при равном объеме даст большую производительность, чем РИСНД. Почему? Дело в том, что для РИВНД время пребывания определяет степень превращения мономера во всех микрообъемах. Для РИСНД $\bar{\tau}$ характеризует кривую распределения времен пребывания микрообъемов. Хотя $\tau_{\text{РИСНД}} = \tau_{\text{РИВНД}}$, фактически часть микрообъемов находится в РИСНД в течение $\tau_i \ll \bar{\tau}$, другая часть, наоборот, в течение $\tau_i \gg \bar{\tau}$. Вероятность реагирования для молекул мономера описывается уравнением $1 - e^{-k\tau}$.

Эта вероятность не пропорциональна времени контакта, как наблюдалось для реакции нулевого порядка. Чем больше τ , тем меньше вероятность взаимодействия для молекул, остающихся в реакционном объеме. Таким образом, для РИСНД усреднение выхода полимера происходит по времени контакта, но вероятность протекания реакции не пропорциональна τ .

Для реакции более высокого порядка отклонение выхода полимера от линейной зависимости в координатах «вероятность реакции – τ » еще больше. Следовательно, разница в производительности двух основных типов непрерывно действующих реакторов будет возрастать с увеличением порядка реакции полимеризации.

Хотя кинетически РИВНД более выгоден, однако на практике получается, что в большинстве случаев экономически выгоднее применять РИСНД, так как он менее сложен конструктивно, менее металлоемок и, следовательно, имеет более низкую стоимость.

Теперь сравним относительные объемы реакторов трех типов (РИСНД, РИВНД и каскад РИСНД) при одинаковой производительности, расходах реагента и температуры (табл. 2.1.1).

Таблица 2.1.1

Влияние кинетики процесса на относительный объем реактора

Тип реактора	Порядок по мономеру	Относительный объем реактора при степени конверсии $x = 0,90$
РИВНД	1,0	1,0
РИСНД	1,0	4,0
РИВВД	2,0	1,0
РИСНД	2,0	10,0
Каскад из 2 РИСНД	2,0	3,0

Как видно из табл. 2.1.1, различие в объемах растет с увеличением порядка реакции по мономеру. Применение каскада РИСНД позволяет уменьшить суммарный объем аппарата. В пределе бесконечная последовательность РИСНД превращается в РВНД. Следует иметь в виду, что при использовании каскада реакторов смешения при некотором числе ступеней капитальные затраты проходят через минимум и снова начинают возрастать.

Что же касается применения РПД, то здесь решающим фактором становится объем производимой продукции. Многогоннажные производства основаны на применении непрерывных реакторов.

В заключение заметим, что в реакциях полимеризации от типа реактора, в котором протекает процесс, может иметь место значительное различие в распределении молекулярных масс в образующемся полимере.

К. Денбиг при рассмотрении математической модели процесса полимеризации показал, что на распределение молекулярных масс влияют два противоположно действующих фактора:

- время пребывания любых молекул мономера одинаково в РПД и различно в РИСНД;
- характер изменения концентрации во времени и, в частности, то, что в РПД концентрация мономера уменьшается, а на каждой ступени РИСНД она остается постоянной.

В отношении первого фактора вполне очевидно, что увеличение диапазона распределения времен пребывания отдельных молекул мономера способствует расширению интервала изменения молекулярных масс. Некоторые растущие макромолекулы очень быстро «ускользают» из реактора смешения и не успевают образовывать цепочки значительной длины. Другие молекулы остаются в реакторе длительное время и, следовательно, могут достигать значительной молекулярной массы.

Роль второго фактора менее очевидна. Существенным моментом является то, что в РИСНД концентрация мономера остается постоянной и при тех же условиях проведения процесса средняя величина ее меньше, чем в РПД. Следствием этого является уменьшение интервала изменения молекулярных масс.

Какой из этих факторов будет доминирующим, зависит всецело от типа реакции синтеза полимеров. Например, если в процессе реакции не происходит обрыва цепей (например, в поликонденсации), то преобладающим является первый фактор, что приводит к более широкому ММР.

Однако при полимеризации, протекающей с образованием свободных радикалов или ионов, время жизни этих активных центров роста может быть чрезвычайно мало вследствие обрыва цепей, как, например, при

рекомбинации двух свободных радикалов. Если среднее время жизни этих центров намного меньше среднего времени пребывания в РИСНД, первый фактор не оказывает существенного влияния и доминирует второй фактор. Показано, что для многих разновидностей механизма инициирования и обрыва цепи диапазон изменения молекулярных масс в этих условиях уже, чем в РПД.

Имеются данные, свидетельствующие о различии между РПД и РИСНД применительно к реакции сополимеризации. Так, если в РПД мономеры, имеющие различные скорости реакции, образуют сополимер переменного состава, то в реакторе смешения процесс протекает с постоянной скоростью, в результате чего образуется сополимер однородного состава.

Всегда ли непрерывный процесс так уж безусловно выгоден по сравнению с периодическим? Основные причины, благодаря которым непрерывные процессы получили широкое распространение в производстве полимеров, следующие:

- меньшие эксплуатационные расходы вследствие ликвидации некоторых технологических операций, например повторной загрузки и выгрузки реакторов периодического действия;
- лучшие условия для автоматизации процесса;
- большая устойчивость технологического режима, следовательно, и большая стабильность качества выпускаемого полимера.

Очевидно, на выбор процесса (периодического или непрерывного) большое влияние оказывает величина эксплуатационных расходов по отношению к капиталовложениям.

Тем не менее вопрос о том, каким должен быть проектируемый технологический процесс – периодическим или непрерывным – является весьма важным, и имеет смысл показать это на нижеследующем примере. Техничко-экономическое сравнение РПД и РИСНД синтеза поликарбоната явно свидетельствует о предпочтительности непрерывного процесса. Так, сьем целевого полимера с 1 м³ реакционного объема возрастает в 20...30 раз, металлоемкость снижается в 5...7 раз, установленная мощность электродвигателей – в 3...5 раз, а мощность холодильной станции – примерно в 5 раз.

И все же, каковы те основные критерии, которые определяют целесообразность проектирования непрерывного производства? Первостепенное значение в этом случае имеют кинетические закономерности, которые сводятся к определению времени пребывания исходных веществ в реакторе. Если это время сравнительно мало и соизмеримо с продолжительностью операций загрузки и выгрузки РПД, то переход на непрерывный процесс позволит сократить объем аппаратов и уменьшить расход

энергии как на перемешивание, так и на подогрев и охлаждение. В РПД 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 синтез поликарбоната.

Однако в случае медленных химических реакций время пребывания исходных веществ в реакторе значительно превышает продолжительность операций загрузки и выгрузки. Тогда объемы РПД и РИСНД будут одинаковы.

1.2.2. Сравнение экономических показателей работы реакторов

Критерием целесообразности проведения процесса периодически или непрерывно является сравнение экономических показателей работы реакторов и, в частности, себестоимость получаемой продукции в зависимости от производительности (рис. 2.1.1).

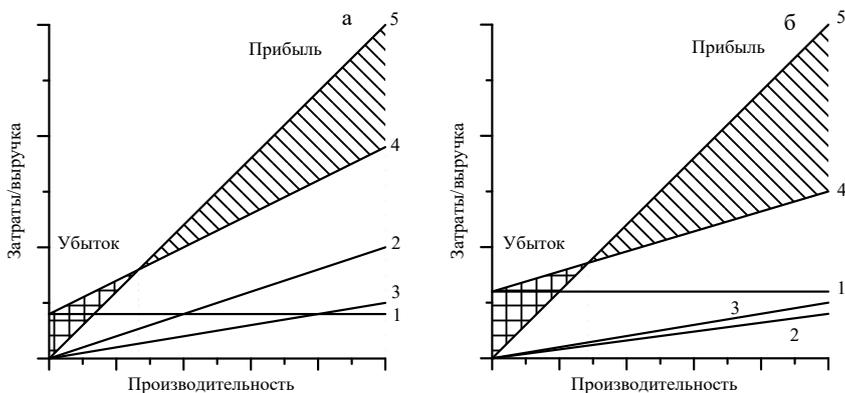


Рис. 2.1.1. График экономической целесообразности периодического (а) и непрерывного (б) процессов

Себестоимость продукции зависит от постоянных расходов, переменных расходов и стоимости сырья.

Постоянные расходы: амортизация, эксплуатация, зарплата и т. п. (прямая 1) – не зависят от производительности. Для непрерывных процессов они, как правило, несколько выше, чем для периодических.

Переменные расходы: электроэнергия, пар, вода и т. п. (прямая 2) – пропорциональны производительности. Они выше для периодических

процессов вследствие периодического пуска реактора, переменного нагрева и охлаждения, трудностей регенерации тепла и т. п.

Прямая 3 показывает стоимость сырья, которая пропорциональна производительности и одинакова для обоих процессов.

Прямая 4 – общая стоимость производства – представляет собой сумму постоянных и переменных расходов и стоимости сырья.

Выручка за произведенный продукт (прямая 5) одинакова для периодического и непрерывного процессов.

Разность между выручкой за произведенный продукт и общей стоимостью производства составляет прибыль или убыток производства данного продукта.

Из рис. 2.1.1 следует, что производительность, при которой процесс становится убыточным для реактора периодического действия, меньше, чем для реактора непрерывного действия. Таким образом, при небольшой производительности может оказаться экономически выгодным использование РПД. При высокой производительности, наоборот, наибольшую прибыль дает использование реактора непрерывного действия.

Использование периодически работающих реакторов целесообразно, как правило, для малотоннажных производств.

1.2.3. Этапы эскизной разработки реактора синтеза полимеров

Основанием для разработки проекта реактора служит задание механико-технологического отдела проектного института. Задание состоит из эскиза общего вида реактора и его краткой характеристики.

В процессе эскизной проработки конструкции реактора механики совместно с технологами выполняют следующую работу:

- разрабатывают мероприятия, обеспечивающие заданный технологический режим;
- определяют материал реактора и его отдельных узлов;
- выясняют возможность применения типовых узлов и целых агрегатов;
- проверяют соответствие основных размеров реактора, определенных в процессе технологического расчета, действующим ГОСТ и стандартам;
- разрабатывают детали и приспособления, облегчающие транспортировку реактора, его монтаж, обслуживание в процессе эксплуатации (чистку, замену быстро изнашивающихся деталей) и демонтаж;
- разрабатывают мероприятия по безопасной эксплуатации проектируемого реактора.

До начала эскизного конструирования должны быть собраны исходные данные, в число которых входят:

- место реактора в технологической схеме производства полимера;
- рабочие параметры процесса (давление, температура);

- физические и химические свойства мономеров, инициаторов и других соединений, особенно их агрессивность при рабочих условиях;
- максимальные расходы через различные элементы и узлы реактора;
- основные размеры реактора, определяемого в процессе технологического расчета реактора;
- сведения о характере технологического процесса (непрерывный или периодический);
- способы эксплуатации реактора.

При разработке конструкции реактора стремятся к ее максимальной технологичности – придавать реакторам полимеризации мономеров простые формы, удобные для изготовления и доступные для обработки.

Разработка эскиза реактора синтеза полимеров состоит из следующих этапов:

- выбор конструкционного материала;
- определение формы реактора;
- определение штуцеров и устройств, необходимых для поддержания в реакторе заданного технологического режима процесса полимеризации мономеров;
- разработка вспомогательных устройств и деталей;
- оформление задания на разработку технического проекта реактора производства полимеров.

Рассмотрим перечисленные этапы в указанной последовательности.

Выбор конструкционного материала для реакторов

Определяющим фактором при выборе конструкционного материала для реакторов синтеза полимеров является его коррозионная стойкость. С этой точки зрения следует рассмотреть два варианта: первый – когда коррозия ставит под угрозу прочность реактора, а второй – когда коррозия вызывает загрязнение перерабатывающих соединений (разрушение эмульсии, снижение молекулярной массы полимера и т. д.). Если в первом случае можно согласиться на изготовление реактора из менее стойких, но зато и менее дефицитных материалов, увеличив при этом толщину обечайки, крышки и днища, то во втором случае приходится применять материалы, исключающие возможность коррозии. Так, в этом случае можно использовать двухслойную сталь марки Ст. 3 + X18H10T и др.

В табл. 2.1.2 указаны рекомендуемые материалы для изготовления реакторов синтеза полимеров.

Конструкционные материалы

Полимер	Марка сталей и других материалов
Фенолоформальдегидные смолы:	
новолачные	1X18Н9Т, X18Н14М2Б, X18Н12М3Т, никель, Ст. 3 + медь, Ст. 3 + никель
резольные	Ст. 3, Ст. 3 + 1X18Н9Т при повышенных требованиях к содержанию в продукте железа
Мочевиноформальдегидные смолы	1X18Н9Т, Ст. 3 + 1X18Н9Т, Ст. 10 эмалированная, алюминий
Полиэфирные смолы	1X18Н9Т
Эпоксидные смолы	1X18Н9Т, Ст. 10 эмалированная
Полихлорвиниловая смола	Ст. 3 + 1X18Н9Т
Эмульсионный полиметилметакрилат	Ст. 10 эмалированная, никель
Полистирол	Алюминий (для форполимеризации), 1X18Н9Т (для полимеризации).
Поливинилацетали и поливиниловый спирт	1X18Н9Т, Ст. 10 эмалированная, алюминий (для поливинилового спирта)
Ацетилцеллюлоза	1X18Н9Т, бронза Бр. ОФ-4-2

Для уменьшения расхода дефицитных легированных сталей и цветных металлов реакторы изготовляют из двухслойного листового проката, состоящего из двух соединенных слоев – толстого основного из более дешевой углеродистой стали, например Ст. 3, и тонкого – плакирующего слоя из кислотостойкой стали или цветного металла. В качестве защитного слоя используют такие стали, как 0X13, X18Н9Т, X17Н13М2Т и др., а также цветные металлы и сплавы, например никель, медь, латунь, титан. Толщина защитного слоя составляет 0,1...0,15 от толщины основного слоя. Основной слой состоит из сталей Ст. 3, Ст. 30, Ст. 25.

Из двухслойных сталей изготовляют обечайки, днища, крышки реакторов, а также смесители для жидких сред.

Чугуны редко используются для изготовления реакторов синтеза полимеров. Однако они пригодны для изготовления арматуры трубопроводов, сальниковых коробок и др.

В том случае, когда реактор изготовлен из чугуна, его эмалируют. Применение эмалевых покрытий обеспечивает высокую чистоту получаемых продуктов и возможность использования недефицитных конструкционных материалов. В частности, такие реакторы применяются для получения эпоксидных смол, эмульсии поливинилацетата, поливинилового спирта, мочевиноформальдегидных олигомеров и др. Предельная температура эксплуатации эмалированных аппаратов 250°С.

Цветные металлы широко применяются в химическом машиностроении из-за их коррозионной стойкости, износостойкости, пластично-

сти и др. В производстве полистирола использовали в качестве форполимеризатора аппарат, изготовленный из алюминия. Однако чаще всего свинец, алюминий, медь применяются в качестве прокладочных материалов для автоклавов с мешалками.

Например, бронза Бр. ОФ-4-2 применяется для изготовления аппарата в синтезе ацетилцеллюлозы.

В производствах синтетических волокон, ненасыщенных полиэфиров, глифталевых олигомеров, полиформальдегида используют реакторы, изготовленные из титана (скорость его коррозии не превышает 0,01 мм/год). Прочность титана при растяжении достигает 400...600 МПа.

Полимерные и другие неметаллические материалы также применяются в полимерном машиностроении. Это обусловлено сочетанием технологических и физических свойств в одном полимерном материале. В табл. 2.1.3 приведены свойства и применение полимерных материалов в деталях аппаратов.

Таблица 2.1.3

Свойства и применение пластмасс

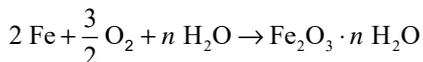
Материал	Разрушающее напряжение, МПа		Допустимые рабочие температуры, °С	Применение
	растяжение	сжатие		
1	2	3	4	5
Фторопласт-4 (4Д)	14...25	30	270...250	Трубы, покрытия, уплотнения, вкладыши подшипников, прокладки
Фторопласт-3	35...40	40	120...160	
Фторопласт-40	30...45	40	160...200	
Винипласт ВН	55	80	100...80	Трубы, фитинги, емкости до 1 м ³ , листы
Полиамиды:				Вкладыши подшипников скольжения, втулки, зубчатые колеса, упругие шайбы, прокладки, покрытия
П-68	45...60	70...80	60	
капрон В	90...95	125...125	90	
П-54	45...50	60	60	
Фаолит	12...38	60...30	30...120	Листы, емкости до 1,4 м ³ , ванны, трубы и фитинги к ним
Антегмит	18...22	100...120	120	Сальниковые устройства, уплотнительные кольца, подшипники шнековых транспортеров, футеровальная плитка
Стеклопластики, плакированные термопластами	до 350	200	120	Оболочки, корпуса, трубы реакторов низкотемпературных процессов
Фенилон	до 150	до 160	280	Детали силовых передач скоростных смесителей, подшипники скольжения
Полиимид	до 170	до 150	320	Детали, работающие в условиях повышения радиации

Для снижения тепловых потерь в реакторах при синтезе полимеров служит изоляция. Теплозащитную изоляцию наносят на наружную поверхность реакторов. Для теплоизоляции реакторов с жидкостным и паровым обогревом (с температурой до 80...120°С) применяют пенопласты (фенольные, эпоксидноволачные, полиуретановые, полистирольные). Наружную поверхность пенопластовой изоляции покрывают защитной оболочкой из термопласта. При температурах изолируемого аппарата более 120°С используют изоляцию из неорганических материалов.

Коррозия металлических материалов

В процессе эксплуатации реакторы приходят в соприкосновение с окружающей средой (газообразной или жидкой) и подвергаются разрушению.

Причина этого разрушения лежит в химическом взаимодействии металлов с окружающей средой, т. е. металлы вступают в окислительно-восстановительные реакции с веществами, находящимися в окружающей среде, и окисляются. Самопроизвольное разрушение металлических материалов, происходящее под химическим воздействием окружающей среды, называется коррозией. В результате протекания коррозионного процесса металл переходит в окисленное, ионное состояние с образованием соответствующих соединений. Так, во влажном воздухе железо быстро ржавеет, т. е. покрывается бурым налетом гидратированного оксида железа, который вследствие своей рыхлости не защищает железо от дальнейшего окисления:



В технике используются различные методы защиты металлов от коррозии. Наибольшее распространение среди них получили следующие методы:

- отделение металла от воздействия агрессивной среды;
- изменение свойств коррозионной среды.

Так, например, по первому методу металл изолируют от окружающей среды при помощи нанесенных на его поверхность различных покрытий. К числу таких покрытий относятся пленки из труднорастворимых оксидов, из других металлов, эмалей, лаков и красок. Наиболее распространенным средством защиты металла является эмалевое покрытие, представляющее собой разновидность стекла (сплавы различных силикатов). Эмали изготовляют из полевого шпата, кварца, тугоплавких оксидов титана, магния, бериллия и др. Тщательно измельченные компоненты наносятся в виде суспензии на поверхность металла и подвергаются затем высокотемпературной обработке. Второй метод защиты основан на

изменении свойств агрессивной среды путем обработки ее различного рода реагентами или введения добавок, снижающих ее агрессивность.

Для изготовления реакторов должны использоваться конструкционные материалы, скорость коррозии которых не превышает 0,1...0,5 мм/год.

Как установлено экспериментами, в процессе конструирования того или иного узла можно предусмотреть в ряде случаев такие решения, которые сводили бы к минимуму возможности возникновения коррозии.

Коррозионный процесс быстрее протекает при повышенных температурах реакционной среды. Поэтому реакторы, нагреваемые и охлаждаемые с помощью рубашек, должны быть снабжены мешалками, которые устанавливаются с таким расчетом, чтобы жидкость двигалась вдоль теплопередающей поверхности с постоянной скоростью. Это способствует, в частности, предупреждению термогальванической коррозии, возникающей вследствие разницы температур на поверхности металла.

В этой связи змеевики и стаканы, устанавливаемые в реакторе в качестве дополнительной поверхности теплообмена, должны конструироваться с таким расчетом, чтобы их поверхности нагрева были полностью погружены в реакционную массу, имеющую устойчивую температуру.

На аппаратах и трубопроводах из кислотостойкой стали фланцы иногда делают из углеродистой стали и защищают его накладкой, как показано на рис. 2.1.2.

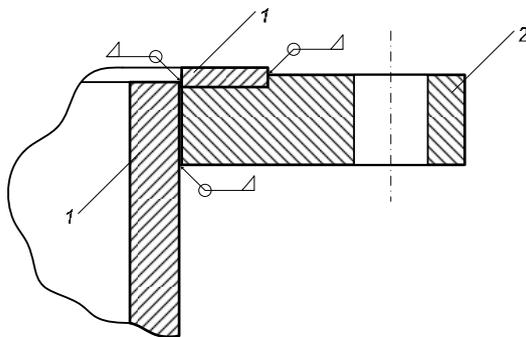


Рис. 2.1.2. Фланец трубопровода, защищенный накладкой:
1 – легированная сталь; 2 – углеродистая сталь.

Подачу теплоносителя в рубашку нужно конструировать так, как показано на рис. 2.1.3.

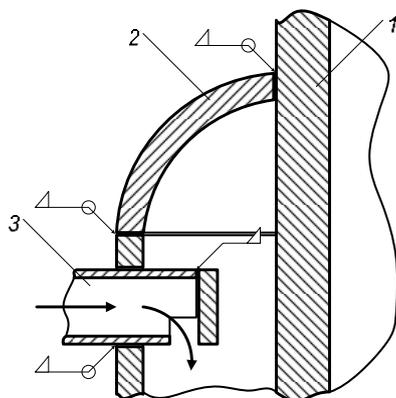


Рис. 2.1.3. Узел подачи теплоносителя в рубашку:
 1 – стенка аппарата; 2 – рубашка; 3 – штуцер подачи пара.

При приварке к легированной стали деталь из углеродистой стали нарушает коррозионную стойкость первой. Чтобы не портить основной металл (легированная сталь), достаточно шов между специальной и углеродистой сталью отдалить от места возможной коррозии на величину большую, чем глубина диффузии. Практически это осуществляется помещением между частями из легированной и углеродистой стали еще одной разделительной детали, сделанной из легированной стали. Таким образом, шов между углеродистой и легированной сталью будет далеко за пределами поверхности, омываемой агрессивной средой, и стойкость реактора не нарушится (рис. 2.1.4).

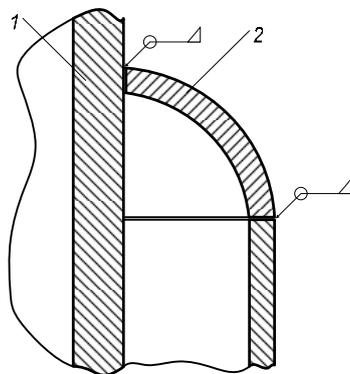


Рис. 2.1.4. Применение промежуточной детали при сварке легированных и углеродистых сталей:

1 – легированная сталь; 2 – углеродистая сталь.

При большой толщине листа обечайки можно не применять промежуточную деталь при сварке углеродистой и легированной сталей.

Определение формы реакторов синтеза полимеров

В производстве любого полимера количество и качество его определяются строгим соблюдением условий проведения процесса, что, с одной стороны, обеспечивается правильным выбором формы реактора, а с другой – определяет именно этот выбор. Следует иметь в виду, что один и тот же реактор может конструктивно отличаться друг от друга. Например, для полимеризации этилена в промышленности используют емкостной аппарат с мешалкой, трубчатый реактор, автоклав-теплообменник без перемешивания.

Реактор синтеза полимеров должен удовлетворять следующим требованиям. Прежде всего, он должен иметь необходимый реакционный объем, обеспечивать заданную производительность и определенный гидродинамический режим движения взаимодействующих фаз, поддерживать необходимый теплообмен в процессе получения полимера, уровень активности инициатора и т. д.

Форма реактора определяется технологическими требованиями, величиной рабочих давления и температуры, особенностями конструкционного материала, фазовым состоянием реагирующих веществ.

Условия работы реакторов производства полимеров весьма разнообразны. Так, давление, при котором происходят различные полимеризационные процессы, колеблется от 150...350 МПа до глубокого вакуума с остаточным давлением 0,1 мм рт. ст.

Температура полимеризации высокая, достигающая для отдельных полимеризационных процессов 563...573 К. Поэтому при конструировании и изготовлении полимеризаторов необходимо руководствоваться требованиями, изложенными в нормале МН 72-62 «Сосуды стальные сварные. Технические условия» и материалами Гостехнадзора РФ.

При использовании в процессах инициаторов, катализаторов, стабилизаторов и других добавок следует обращать внимание на выбор конструкционного материала реактора, соприкасающегося с реакционной средой. Полимеры в большинстве случаев являются неактивными средами, однако при выборе материала для реактора нужно учитывать, что ионы тяжелых металлов ускоряют реакцию деполимеризации. Например, при содержании ионов железа в количестве 0,0005...0,001% невозможно получить полимер с высокой молекулярной массой. В этой связи реакторы производства полимеров, как правило, изготавливаются из высоколегированных сталей.

В процессе полимеризации мономеров реакционная масса становится весьма вязкой и поэтому подогрев и охлаждение ее затруднены. Поэтому скорость движения массы в реакторе низкая, что обусловлено также временем протекания полимеризации. Чтобы увеличить скорость движения реакционной массы, нужно увеличить габариты реактора, что нежелательно, так как в большом объеме масса прогревается неравномерно и полимер получается неоднородным по составу.

Реакции поликонденсации, как правило, сопровождается выделением целого ряда низкомолекулярных соединений и поэтому трудно обеспечить достаточную поверхность зеркала испарения при их отгонке. Это усугубляется еще и тем, что интенсивное перемешивание высоковязких сред недопустимо из-за их сильного разогрева, значительного расхода мощности и т. д. Обычно для перемешивания высоковязких сред применяются лопастные и якорные мешалки.

Полимеры обладают низкой термостабильностью, поэтому перегрев или выдержка их при повышенной температуре приводит к значительной деполимеризации с получением низкомолекулярных продуктов, что значительно ухудшает свойства готового полимера. Поскольку полимеры имеют вязкость порядка 500...900 Па·с и при перегреве они налипают на стенки реактора, заполняя неровности внутри аппарата и трубопроводов. В этом случае не рекомендуется при получении высоковязких полимеров устанавливать внутри реактора змеевики для охлаждения и другие устройства.

При конструировании реакторов полимеризации мономеров следует избегать применения фланцевых соединений типа «шип-паз», так как в них задерживается полимер. Штуцеры и люки, ввариваемые в корпус реактора, должны устанавливаться заподлицо с основным металлом. Сварные швы реакторов со стороны реакционной среды должны быть зачищены также заподлицо с основным слоем металла.

При направлении движения полимера сверху вниз переход к выгрузочному или переливному отверстию необходимо осуществлять плавно. Обычно это достигается применением отбортованных конических переходов или днищ. Лишь для выгрузки маловязких сред допускается использование эллиптических днищ.

Одним из основных требований, предъявляемых к конструкции реактора, является его герметичность, что особенно важно для реакторов, в которых получают полимеры, легко подвергающиеся окислению кислородом (лавсан, полиамиды). Поэтому необходимо тщательно подбирать конструкцию фланцевых соединений.

Герметичность мест выхода из реактора валов мешалки достигается при помощи сальниковых уплотнений. Для реакторов, работающих

под вакуумом и давлением, следует применять сальники высотой до $(1,5 \dots 2) \cdot d$, где d – диаметр вала.

Многообразие факторов, определяющих форму реактора, приводит к необходимости создания специального аппарата для каждого конкретного полимеризационного процесса. Однако задача несколько упрощается в связи с тем, что не вся совокупность факторов в равной мере влияет на конструкцию каждого из вновь проектируемых реакторов синтеза полимеров. Учет двух или трех из них обычно совершенно необходим, а остальные факторы учитываются только частично и не усложняют конструкцию аппарата. Удельное значение каждого из приведенных факторов зависит от конкретного полимеризационного процесса.

В табл. 2.1.4 показано влияние различных факторов на тип реактора.

Таблица 2.1.4

Факторы, определяющие тип реактора

Фактор	Что он определяет
1. Температура реакции	Конструкцию элементов поверхности теплообмена, выбор теплоносителя
2. Давление	Материал и тип реактора
3. Среда реакционная	Материал реактора, элементы защиты его от коррозии
4. Состояние реагирующих масс	Способ организации процесса, интенсивность перемешивания, конструкцию мешалки и тип реактора
5. Конструкционный материал	Способ изготовления реактора, форму реактора
6. Фазовое состояние реагентов	Тип реактора

Конструкция реакторов в значительной степени определяется агрегатным состоянием реагирующих соединений. В реальных промышленных реакторах синтеза полимеров возможны следующие фазовые состояния: газ + газ, газ + жидкость, газ + твердое тело, жидкость + жидкость, жидкость + твердое тело и твердое вещество + твердое вещество.

В системе газ + газ проводят полимеризацию этилена под высоким давлением, для которой применяют трубчатку (змеевиковый аппарат), автоклав емкостного типа или реактор колонного типа с распределительной решеткой и расширителем. Процесс газофазной полимеризации этилена протекает в последнем реакторе в кипящем слое.

В системе газ + жидкость осуществляют полимеризацию этилена и пропилена в присутствии катализаторов Циглера-Натта в растворе, для чего используют емкостной реактор с мешалкой. Для технологических

процессов в системе жидкость + жидкость рекомендуется применять емкостной аппарат с мешалкой и змеевик.

Химические процессы и физико-химические в системах жидкость + твердое тело осуществляют в емкостных реакторах с мешалками или в проточных камерах, заполненных твердым продуктом. Например, фильтрация, отстаивание, ультрацентрифугирование производится соответственно в фильтрах, отстойниках и центрифугах, В фазовой системе газ + твердое тело проводят в промышленном масштабе газоочистку, сушку, а также ряд химических процессов. Системы твердое вещество + твердое вещество в химической технологии полимеров применяются сравнительно редко. Для обработки твердых продуктов используют валковые аппараты, червячные смесители, пластификаторы и т. д.

Таким образом, выбор формы реактора зависит от фазового состояния реакционной массы и способа осуществления полимеризации.

При конструировании реакторов синтеза поликонденсационных полимеров, где выделяются низкомолекулярные вещества, необходимо учитывать зеркало испарения при отгонке летучих соединений. Необходимую поверхность зеркала испарения f можно создать, используя перемешивающее устройство. В этом плане наиболее предпочтительны горизонтальные реакторы.

По технологическому и аппаратурному оформлению суспензионная и эмульсионная полимеризации мономеров близки к процессам полимеризации в вязких растворах. Однако в первом случае в связи с необходимостью поддерживать стабильность гетерогенной системы, требуется более интенсивное перемешивание. Блочную полимеризацию мономеров, в которой реакционная среда имеет повышенную вязкость, а также не образуется летучих соединений и отложений на стенках реактора, рекомендуется проводить в реакторах идеального вытеснения со шнековым перемешивающим устройством, которая способствует перемещению вязкой массы в радиальном направлении, что улучшает процесс теплопередачи.

Основные процессы химической технологии полимеров осуществляются в массе, растворе, суспензии, эмульсии и т. д., и каждому из них присущи определенные конструкции полимеризаторов. Так, по конструктивным признакам все полимеризаторы можно объединить в следующие группы:

- емкостные реакторы с мешалкой (котлы);
- автоклавы;
- горизонтальные аппараты барабанного типа;
- трубчатка;
- колонные реакторы;

- реакторы пленочного типа;
- шнековые;
- полимеризационные формы.

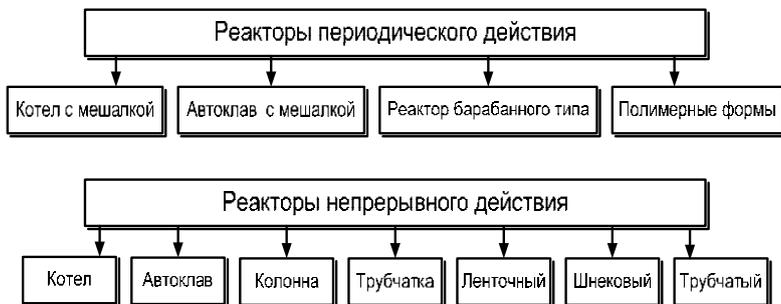


Рис. 2.1.5. Классификация реакторов-полимеризаторов

Перечисленные типы реакторов используются как для периодических, так и для непрерывных процессов получения полимеров (рис. 2.1.5).

Емкостные реакторы с мешалкой

Они являются наиболее обширной группой полимеризаторов, применяемых для получения полимеров. Реагенты могут поступать в реактор в жидком или газообразном виде, а также в виде суспензии или эмульсии.

Аналогичную роль выполняют автоклавы, которые работают при повышенных давлениях.

Котлы и автоклавы, как правило, выполняются в виде цилиндрических сосудов со съемными крышками.

Трубочка

Трубочка состоит из труб определенного диаметра, соединенных между собой с помощью металлических линз. Общая длина такого агрегата достигает 350 м и более. На внешней поверхности реактора имеется гладкая рубашка.

Шнековые реакторы

Шнековые реакторы – это аппараты, внутри которых установлены лопастная мешалка и транспортирующие реакцию массу шнеки. Последние транспортируют реакцию массу из одной секции в другую. В частности, такие реакторы применяют в синтезе полиамидов и других полимеров.

Колонные реакторы

Они представляют собой аппараты, состоящие из нескольких обечаск, соединенных между собой с помощью фланцев. Внутри некоторых колонн, например в колонне синтеза фенолоформальдегидных смол установлена мешалка, внутри других аппаратов устанавливают змеевики для теплообмена.

Ленточный реактор

Весьма своеобразным реактором в синтезе полиизобутилена является ленточный реактор, представляющий собой газонепроницаемый короб, внутри которого находится стальная лента, натянутая на два барабана.

Реактор пленочного типа

Такой реактор может быть выполнен в виде двух концентрических цилиндров. При этом внутренний цилиндр выполнен в виде винта, который при вращении равномерно перемешивает реакционную массу и перемещает ее вдоль оси реактора.

1.2.4. Аппаратурное оформление технологических процессов полимеризации

Для проведения процесса полимеризации мономеров в массе в промышленности используют следующие реакторы:

- реакторы смешения или каскад проточных реакторов смешения. К таким реакторам относятся разнообразные по конструкции вертикальные и горизонтальные емкостные аппараты, оборудованные различными перемешивающими устройствами (лопастными, турбинными, ленточными, шнековыми мешалками, рассчитанными на перемешивание реакционных сред различной вязкости). В мире около 90% полимеров и около 70% синтетических волокон получают именно в емкостных реакторах с мешалками;
- реакторы вытеснения. К этому типу реакторов относятся разнообразные трубчатые и колонноподобные аппараты, а также шнековые реакторы. В производстве пластических масс и синтетических каучуков в реакторах данного типа производят около 10% полимерной продукции, а в производстве синтетических волокон – до 30%;
- комбинированные установки. Включают последовательно соединение элементов реакторов первого и второго типов;
- полимеризационные формы. К этому типу можно отнести различные периодически действующие устройства, в которых во время процесса полимеризации мономеров не происходит перемешивания реагентов, и полимер получается непосредственно в виде готового изделия или полу-

фабриката (листа, трубы, пластин и т. д.). Около 7% полимеров изготавливаются по этому принципу.

Полимеризация в растворе

Проведение процесса в растворе – практически единственный промышленный способ получения таких важнейших полимеров, как бутил- и бутадиен-стирольные каучуки, полиэтилен высокой и средней плотности, полипропилен и др. Наиболее употребительные реакторы для ведения таких процессов – различного рода аппараты смешения. При относительно низких скоростях процесса реакцию ведут или в реакторе периодического действия, или непрерывно в каскаде последовательно соединенных реакторов смешения.

Высокие скорости полимеризации мономеров при ионном инициировании в газожидкостном (гетерофазном) варианте процесса позволяют проводить реакцию в одноступенчатом аппарате смешения.

Полимеризация мономеров в суспензии и эмульсии

Особенности полимеризации в дисперсной среде диктуют применение реакторов с эффективными перемешивающими устройствами и внешними теплообменными поверхностями. Процесс обычно ведут периодически в кубовых реакторах, объем которых может достигать десятков кубометров. Для проведения непрерывных процессов используют каскады последовательно расположенных реакторов смешения.

Таким образом, выбор и обоснование формы реактора синтеза полимеров представляют собой весьма трудную задачу. Многочисленные факторы, влияющие на форму аппарата, затрудняют задачу выбора его оптимальной конструкции. Столь сложная задача может быть решена лишь на основе детального изучения процесса синтеза промышленных полимеров с тем, чтобы на этой основе выбрать ту форму реактора, которая обеспечивает протекание реакции полимеризации в оптимальных условиях.

1.2.5. Присоединительные штуцера и устройства, необходимые для поддержания заданного технологического режима

Для присоединения трубопроводов, по которым поступает исходное сырье, и приборов КИП на реакторах устанавливают штуцера. Количество штуцеров должно соответствовать количеству трубопроводов, а их условные проходы должны быть не меньше условных проходов труб, при этом минимальный условный проход штуцера составляет 40 мм.

В общем случае на реакторе могут размещаться штуцеры для следующих назначений:

- входа и выхода продукта;

- входа и выхода тепло- или хладагента;
- установки воздушника;
- установки предохранительного клапана;
- опорожнения реактора;
- установки приборов КИПиА;
- установки мерных стекол;
- отбора проб;
- устройства лаза и люка и др.

На крышке РПД расположены штуцера для наполнения и воздушной колонки, объединяющей в себе линию сжатого воздуха и воздушник (соединение реактора с атмосферой), а также штуцера для трубы перекачивания, приборов КИПиА. В случае необходимости промывки реактора устанавливают также патрубок для подачи воды. Кроме того, желательно иметь хотя бы один резервный штуцер на случай возможного изменения технологической схемы. Для обслуживания реактора и загрузки твердых веществ устанавливают люк.

Диаметры штуцеров определяют расчетным путем по уравнению расхода в зависимости от максимальной производительности газа или жидкости, но в любом случае диаметры не должны быть очень малы. По соображениям унификации желательно устанавливать, по возможности, патрубки одинаковых диаметров.

В том случае, когда необходимо постоянное наблюдение за ходом процесса, на крышке устанавливают смотровые окна. Как правило, делают два окна: одно для наблюдения, а другое – для освещения реактора.

Все штуцера реактора соединяются с соответствующими трубопроводами, как правило, с помощью фланцев. При разработке эскиза реактора необходимо определить тип уплотнительной поверхности фланца.

Герметичность прокладочного фланцевого соединения обеспечивается за счет пластической деформации прокладки, происходящей при затягивании фланцев. Прокладка деформируется и заполняет все неровности на привалочной поверхности. Герметичность соединения возрастает с увеличением удельного давления, действующего на прокладку. Чем меньше ширина прокладки, тем больше удельное давление при одной и той же силе сжатия, поэтому прокладки для соединений высокого давления стараются делать возможно более узкими.

Разработка вспомогательных узлов и деталей

К таким узлам и деталям относятся:

- опоры;
- площадки для обслуживания реактора;

- лестницы;
- монтажные скобы;
- ограждения и др.

В НИИХИМАШ разработаны нормали опор для установки реакторов. Опоры выбираются в зависимости от максимальной нагрузки, создаваемой массой самого реактора, его содержимого и т. п.

1.2.6. Оформление задания на разработку технического проекта реактора

Оформление задания на разработку проекта реактора осуществляется в следующей последовательности. Вначале вычерчивается эскиз реактора (вид сбоку и план) и наносятся основные размеры: длина обечайки, диаметр, расстояние между штуцерами, минимальное расстояние от низа лап до фланца самого нижнего штуцера, высотная привязка штуцеров для установки КИП, греющего элемента, перемешивающего органа мешалки, размеры площадок укрепляемых на реакторе.

После вычерчивания эскиза составляются технические требования к реактору. В этих требованиях указывается номинальный объем реактора по ГОСТ, давление в нем и рубашке, рабочая температура среды в реакторе и температура стенки рубашки, поверхность теплообмена и размер ее основных деталей, тип перемешивающего устройства и число оборотов мешалки, вязкость перемешиваемой среды и ее состав, коррозионные свойства рабочей среды, рекомендации к выбору конструкционного материала реактора и отдельных его деталей приводится также таблица штуцеров.

В качестве примера на рис. 2.1.6 представлен чертеж общего вида реактора с перемешивающим устройством и рубашкой.

На чертеже должно быть такое количество видов реактора, разрезов, сечений, которое необходимо для понимания его устройства, взаимодействия его основных частей, и данные, необходимые для пуска реактора.

Общий вид реактора необходим для его изготовления. На главном виде наносятся межосевые размеры, т. е. размеры между осями патрубков и торцом обечайки реактора. На виде сверху также наносятся размеры между осями патрубков или углы разворота осей патрубков относительно главных осей (вертикальной и горизонтальной). На чертеже помещаются также техническая характеристика, таблица штуцеров.

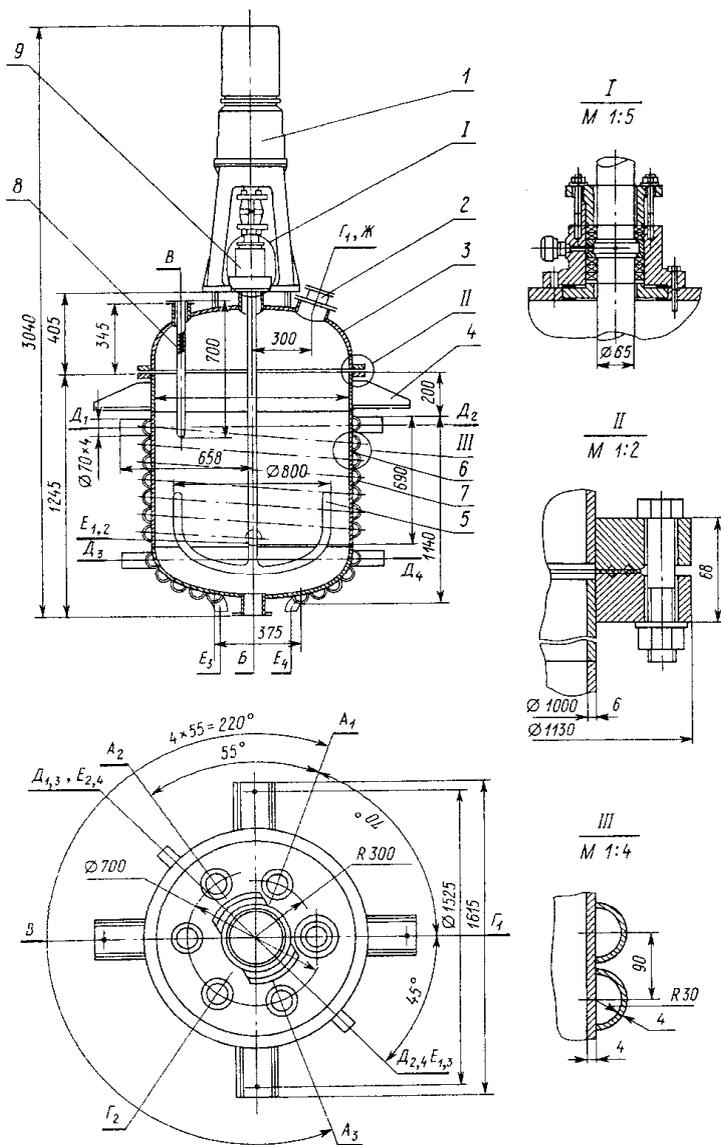


Рис. 2.1.6. Аппарат с механическим перемешивающим устройством и поверхностью теплообмена в виде полуторб (чертеж общего вида)

1.3. Моделирование реакторов синтеза полимеров

Математическое моделирование является научной основой расчета технологических процессов ряда производств. Оно, в частности, позволяет:

- моделировать существующие промышленные процессы с целью их оптимизации;
- сравнивать различные варианты осуществлений процессов (выбор типа реактора);
- сравнивать различные способы осуществлений процессов (выбор технологической схемы);
- вести оптимальное проектирование процесса;
- уточнять кинетические модели методом решения обратной задачи химической кинетики;
- анализировать работу промышленных реакторов с целью выявления причин нестабильной работы;
- создавать автоматизированные системы управления.

Следует заметить, что возможности моделирования на практике в настоящее время ограничены целым рядом причин. Во-первых, недостаточная проработанность механизмов многих кинетических моделей, неопределенность условий тепло- и массообмена и гидродинамической ситуации. Во-вторых, в большинстве случаев недостаточно разработаны методы расчета молекулярной структуры полимеров на базе кинетической информации о процессе.

При построении экспериментально-статистических математических моделей используют принцип локализации опытных данных. Согласно этому принципу можно получить точные модели для выбранного узкого интервала времени, что в наибольшей степени соответствует задачам предварительной алгоритмизации технологических процессов полимерной химии.

Методами математического моделирования можно проводить эксперименты на математической модели при полностью контролируемом объеме условий моделирования, которые исключают возможность воздействия на результаты моделирования случайных факторов. В сочетании с современными вычислительными средствами эти методы позволяют с относительно небольшими затратами исследовать всевозможные варианты аппаратного оформления процесса, изучить его основные свойства и выявить резервы усовершенствования. При этом в рамках используемой модели всегда гарантируется отыскание оптимальных решений.

При математическом моделировании процессов полимерной химии наиболее часто используют модели, полученные на основе теоретических и экспериментально-статистических исследований.

Первое направление – *теоретическое*, основанное на использовании физико-химических зависимостей, требует больших затрат труда, так как необходимо изучить и описать все элементарные стадии процесса. Лишь после этого, решая совместно найденные зависимости всех составляющих процесса, получают описание процесса в целом, в виде системы дифференциальных уравнений. Конечно, этот путь подразумевает самое активное использование вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения.

Второе направление изучения математических моделей – *экспериментально-статистическое* – заключается в сборе и статистической обработке опытных данных о технологических параметрах процессов полимерной химии на основе использования общей структуры модели, полученной из рассмотрения физико-химических основ технологического процесса. Основное преимущество этого направления – быстрота создания математических моделей, а к недостаткам можно отнести применимость созданной модели только для конкретного объекта.

Наконец, хорошие результаты дает сочетание теоретической и экспериментально-статистической математических моделей, например в том случае, когда основная зависимость выражается экспериментально-статистической математической моделью, а изменение отдельных параметров – дифференциальными уравнениями.

Совместное рассмотрение скорости реакции, конверсии и параметров структуры полимера позволяет подойти к решению вопроса о выборе типа реактора и оптимального режима синтеза. Обычный подход к оптимизации заключается в выборе значений параметров – температуры, давления, концентраций мономера и инициатора и технологическими соображениями. В этом случае перебрать все значения параметров невозможно. Однако существуют три подхода к решению этой задачи:

- поиск «неожиданного эффекта» путем произвольного комбинирования параметров;
- выбор значений параметров в некоторой области их изменения, определяемых с помощью различных критериев эффективности;
- использование специальных математических методов поиска экстремума в многофакторных задачах (метод Бокса – Уильямса и др.).

Методология оптимизации включает:

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

Критерий оптимизации – это главный признак, по которому судят о том, насколько хорошо функционирует данный процесс, насколько хорошо решена задача оптимизации. Он должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть единственным;
- выражаться числом;
- изменяться монотонно при улучшении качества функционирования системы.

Первое требование – самое тяжелое. Дело в том, что исследователя полимеризации интересует ряд выходов полимера и он хочет, чтобы на каждом из них процесс был наилучшим. При постановке задачи оптимизации необходимо требовать достижения экстремального значения лишь одной величины. Таким образом, одновременно процессу не должно приписываться два или более критериев оптимальности, так как практически во всех случаях экстремум одного критерия не соответствует экстремуму другого. В этой связи правильная постановка задачи должна формулироваться так: получить максимальную производительность при заданной себестоимости или получить минимальную себестоимость при заданной производительности. В первом случае критерий оптимальности – производительность, а во втором – себестоимость.

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

Третье требование означает, что оценивать объект можно по следующему 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 ограничением. Что является ограничением?

При математическом моделировании процессов синтеза полимеров принципиальное значение имеет выбор пределов изменения параметров процесса – температуру, давления, концентрации повышения температуры и давления, концентрации реагентов приводит к повышению скорости процессов.

Одной из важнейших экономических показателей производства полимеров является себестоимость продукции, которая складывается из различных затрат (сырье, амортизационные отчисления, энергетические затраты, заработная плата и другие денежные расходы). Задача оптимизации обычно сводится к нахождению минимума функции:

$$F_B \cdot \sum C_{B_{\text{пер}}} = \sum M_{\text{пер}} + \sum \mathcal{E}_{\text{пер}} + \sum A_{\text{пер}} + \sum Z_{\text{пер}},$$

где F_B – мощность производства по целевому продукту B ; M , \mathcal{E} , A , Z – переменные затраты на исходные материалы, энергию, амортизацию оборудования и заработную плату в единице времени соответственно.

Оптимизирующими факторами являются те из них, которые в процессе оптимизации относят к управляющим. Это те воздействия, которые применяют для оптимизации процесса. Остальные факторы при этом не регулируются, хотя значение учитывают при определении оптимальных условий. Это факторы фигурируют в задаче в качестве ограничений типа равенства. Если производство проектируется (оптимальное проектирование), то к числу оптимизирующих целесообразно отнести как можно больше факторов. На этой стадии регулировать факторы проще всего: регулирование (изменение значений) осуществляется не в действительности, а на математической модели. Поэтому здесь желательно найти оптимальное значение максимального числа факторов.

Однако задача оптимизации возникает и после пуска производства (опытное управление). При этом число оптимизирующих воздействий становится существенно меньше. Часть факторов исследователи уже не могут менять. Таковы, например, размеры реакторов. Но и нецелесообразно теперь регулировать все остальные факторы. Дело в том, что чем больше управляющих факторов, тем сложнее система управления, сложнее ее математическая модель.

При оптимизации полимеризационного процесса методологически выделяют два этапа. На первом из них рассматривают задачу кинетической оптимизации, заключающей в определении теоретически наилучших условий проведения реакции, исходя только из природы самого процесса, его кинетики. В этой задаче в качестве объекта управления рассматриваются реакции полимеризации, описываемые системой кинетических уравнений. Полученные в результате решений такой задачи оптимальные режимы проведения процесса следует рассматривать как идеальные эталонные режимы, к которым могут быть приближены реальные условия осуществления процесса по конкретной технологической схеме. Постановка задачи кинетической оптимизации обусловлена наличием в процессе полимеризации нескольких одновременно протекающих и конкурирующих реакций, вследствие чего выбор оптимального режима сводится к нетривиальному решению. Кинетические уравнения определяют динамическую модель процесса, в которой концентрации реагентов (обычно мономера и инициатора) рассматриваются в качестве фазовых координат (переменные состояния) управляемого объекта, а темпера-

тура – в качестве управляющего параметра. Критерий максимальной производительности обычно дополняется требованиями к заданному качеству получаемого полимера. Более строго требования к качеству полимера учитываются введением дополнительного уравнения, связывающего относительную молекулярную массу полимера с условиями его образования. В этом случае задача кинетической оптимизации сводится к вариационной задаче на условный экстремум. Решение задачи дает теоретически наилучший оптимальный температурный график проведения процесса в аппарате периодического действия или оптимальный температурный профиль в трубчатке или каскаде реакторов смешения непрерывного действия.

Следующим этапом является оптимизация технологического режима конкретного реактора или технологической схемы. Задача оптимизации сводится здесь обычно к определению оптимальных значений таких режимных параметров процесса, как температура в реакторе и концентрация инициатора во входном потоке. Модель реактора включает в себя прежнюю систему кинетических уравнений процесса, дополненную уравнениями тепло- и массообмена для конкретного типа реактора. Температура в реакторе рассматривается теперь как фазовая координата, а в качестве истинных управляющих воздействий принимаются такие переменные, как температура теплоносителя, температура входного потока, входная концентрация инициатора.

В качестве примера удобно привести систему дифференциальных уравнений теплового и материального балансов по мономеру (изопрен) и комплексному катализатору в аппарате смешения непрерывного действия.

$$\begin{aligned} \frac{dC_{M_i}}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (C_{M_{i-1}} - C_{M_i}) - r_i; \\ \frac{dC_{\Pi_i}}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (C_{\Pi_{i-1}} - C_{\Pi_i}) + r_i; \\ \frac{dT_i}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (T_{i-1} - T_i) + \frac{q}{c_p} \cdot r_i - \frac{\alpha_T \cdot F}{V \cdot \rho \cdot c_p} \cdot (T_i - T_x); \\ \frac{dn_i}{d\tau} &= \frac{G_p}{V \cdot \rho} \cdot (n_{i-1} - n_i), \quad i = 1 \dots n; \end{aligned}$$

где C_{M_i} , C_{Π_i} – массовые концентрации мономера и полимера, % масс.; V – эффективный объем реактора, м³; G_p – расход реакционной среды (мономер и растворитель), кг/ч; ρ – плотность реакционной смеси, кг/м³;

q – тепловой эффект реакции, кДж/кг; c_p – удельная теплоемкость реакционной смеси, кДж/(кг·К); α_T – коэффициент теплоотдачи, кВт/(м²·К); F – поверхность теплоотдачи, м²; T_X – температура хладагента, К; n – число реакторов в каскаде.

Система уравнений является математической моделью процесса полимеризации мономера и используется затем для расчета. При проверке адекватности математической модели оказалось, что эффективный объем реактора составляет только 70% от действительного. Объясняется это наличием застойных зон и налипанием полимера на стенки реактора и на мешалку.

Скорость полимеризации для i -го реактора каскада равна

$$r_i = \begin{cases} A \cdot n_i \cdot \sqrt{C_i - a} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, & \text{при } C_i \neq a \\ 0, & \text{при } C_i \approx a. \end{cases}$$

где $A = 4,9 \cdot 10^3 \text{ ч}^{-1}$ и $a = 0,005$ – коэффициенты; C_i – концентрация активных центров полимеризации.

Так как для промышленного процесса $C_i > a$, выражение для скорости полимеризации упрощается и принимает вид

$$r_i = A \cdot n_i \cdot \sqrt{C_i} \cdot e^{-\frac{23,1}{RT}};$$

$$A = 4,9 \cdot 10^3 \cdot e^{-9 \cdot \phi^6}.$$

где ϕ – концентрация полимера, доли.

1.4. Управление реактором

Основным и наиболее сложным в управлении элементом технологической схемы производства полимеров является реактор-полимеризатор. Управление таким реактором осуществляется путем изменения расходов реагентов (мономера и инициатора), температуры входной смеси, давления в реакторе, температуры охлаждающей реактор жидкости. В результате этих управляющих воздействий в реакторе устанавливается некоторая требуемая температура, достигается желаемая степень превращения мономера в полимер и изменяются свойства получаемого полимера. В большинстве случаев при полимеризации выделяется тепло. Экзотермический тепловой эффект реакции полимеризации играет роль положительной обратной связи: повышение температуры вызывает ускорение реакции и увеличение тепловыделения, приводящему, в свою очередь, к дальнейшему росту температуры в реакторе. Вследствие этого возникает опасность появления неустойчивых состояний реактора и развитие аварийных режимов. Например, исследование модели реактора полимеризации этилена под высоким давлением показало, что реактор при

одних и тех же в исходных условиях может иметь несколько стационарных состояний, различающихся температурой, степенью превращения мономера в полимер и производительностью. В силу этого обстоятельства в поведении реактора могут быть как устойчивые, так и неустойчивые состояния, и в поведении реактора возможны переходы от одного режима работы к другому, которые могут появляться, например, при пуске реактора и приводить к аварийной ситуации.

Основной целью управления является обеспечение максимальной производительности реактора при выпуске полимера с комплексом свойств. При построении системы управления реакторами синтеза полимеров должны быть реализованы следующие основные функции:

- стабилизация режимных параметров процесса;
- пуск и остановка реактора;
- аварийная защита реактора;
- контроль и управление производительностью реактора;
- контроль и управление качеством получаемого полимера;
- дистанционный контроль;
- управление вспомогательными параметрами реактора.

Перечисленные функции кратко рассмотрены ниже.

1.4.1. Стабилизация режимных параметров реактора

Наибольшую трудность при этом вызывает стабилизация температуры реактора, что обусловлено наличием экзотермического эффекта полимеризации и ухудшением условий теплообмена с возрастанием вязкости реакционной смеси по мере превращения мономера в полимер. Действие указанных эффектов, а также влияние других переменных (температуры теплоносителя, расхода мономера, давления, расхода инициатора) на температуру в реакторе описываются физико-химической моделью реактора, представляющую систему дифференциальных уравнений материального и теплового балансов. Путем линеаризации модели реактора в ней можно выделить ряд постоянных времени, характеризующих инерционность основных каналов управления реактором. Так, для реактора характерно различие каналов управления по их инерционности. Структурную схему реактора полимеризации как объекта управления можно изобразить в виде следующей схемы (рис. 2.1.7).

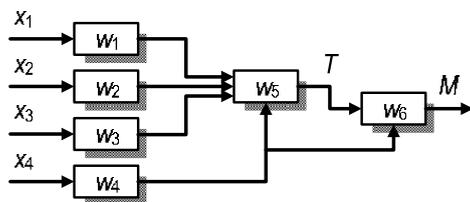


Рис. 2.1.7. Упрощенная структурная схема реактора полимеризации как объекта управления:

w_1 – канал регулирования давления; w_2 – температура теплоносителя в рубашке реактора; w_3 и w_4 – расходы входных потоков мономера и инициатора соответственно; w_5 – температура в самом реакторе; w_6 – степень превращения мономера в полимер.

Например, в системе управления реактором полимеризации стирола инерционность в канале регулирования расхода измеряется секундами, в контуре регулирования температуры теплоносителя – несколькими минутами, а в контуре регулирования температуры в самом реакторе – десятками минут, регулирование же степени превращения затягивается на несколько часов.

Системы регулирования расхода и давления практически оказываются безинерционными, поэтому такие переменные, как давление и расход можно использовать в общей системе стабилизации реактора как управляющие воздействия. Наиболее инерционные переменные – температуру в реакторе и степень превращения мономера в полимер – следует рассматривать как основные фазовые координаты управляемого объекта.

В общем случае процесс регулирования реактора протекает по следующей схеме (рис. 2.1.8).

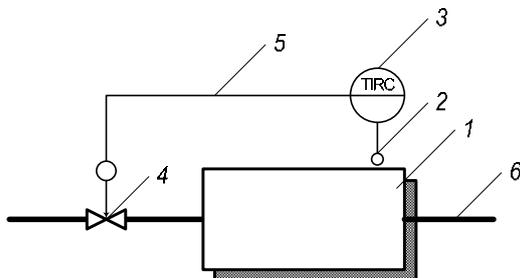


Рис. 2.1.8. Схема автоматического регулирования процесса:

1 – объект; 2 – датчик; 3 – вторичный прибор с регулятором; 4 – исполнительный механизм; 5 – линии связи; 6 – технологический трубопровод.

Изменение параметра объекта *1* воспринимается первичным датчиком *2* и преобразуется в электрическую, пневматическую или другую энергию.

Полученный импульс по электрическим проводам или пневматическим трубкам *5* передается регулятору *3*, вырабатывающему командный импульс на привод исполнительного механизма *4*, и сигнал на вторичный прибор.

Привод исполнительного механизма *4* перемещает запорное устройство регулирующего органа, определенным образом изменяя проходное сечение трубопровода *6*, а следовательно, и количество пропускаемой жидкости или газа.

Первичные датчики измерительных систем размещаются непосредственно на трубопроводах и аппаратах. Вторичные приборы автоматического регулирования устанавливаются в отдельном помещении – операторной – на специальных металлических щитах контроля и управления. Вторичные приборы могут быть показывающими или регистрирующими и дают возможность сменным операторам следить за состоянием всего производства или отдельных установок, изменять технологические параметры, а также производить пуск отдельных агрегатов непосредственно из операторной. Регулирующие органы – в основном клапаны с пневматическим мембранным приводом – устанавливаются на трубопроводах.

В качестве примера на рис. 2.1.9 представлена схема регулирования температуры и давления в автоклаве с перемешиванием, расход теплоносителя, циркулирующего через рубашку, регулируется с помощью регуляторов температуры. Таким же способом регулируется и давление.

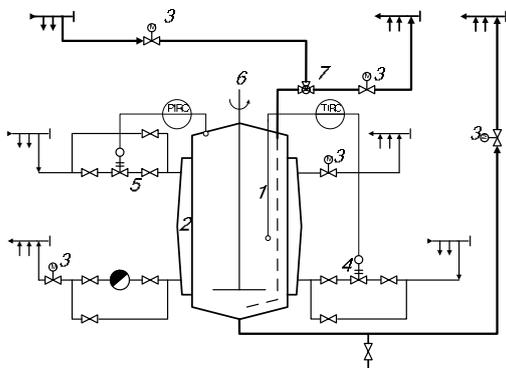


Рис. 2.1.9. Обвязка реактора периодического действия:

1 – реактор; *2* – рубашка; *3* – задвижки с электроприводом; *4* – клапан регулятора температуры; *5* – мешалка; *6* – смеситель.

На рис. 2.1.10 представлена схема регулирования смешения стирола с бутадиеном.

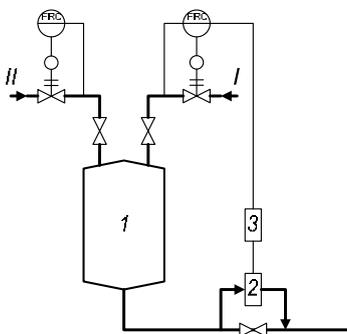


Рис. 2.1.10. Схема регулирования смешения стирола с бутадиеном:
1 – сосуд смешения; 2 – рефрактометр; 3 – приспособление для регулировки и регистрации; I и II – потоки стирола и бутадиена.

Смесь стирола с бутадиеном для получения сополимера получают, применяя автоматическое регулирование расхода одной из жидкостей в зависимости от расхода другой. Состав смеси контролируется рефрактометром, который в случае отклонения регулируемых параметров от заданных значений изменяет соответствующим образом расход жидкости.

1.4.2. Пуск и остановка реактора

Пуск реактора является одной из наиболее сложных и ответственных операций управления процессом. Именно при пуске возникает наибольшая опасность развития неустойчивых режимов его работы реактора. В этой связи для крупнотоннажных полимеризационных процессов, для которых потери при неудачных пусках оказываются особенно значительными, разработаны автоматизированные системы (АСУ) пуска реакторов.

Стратегия пуска реактора в значительной мере зависит от состояния процесса, которое изменяется в ходе самого пуска и не может быть оперативно охарактеризовано с помощью непосредственных измерений в реакторе (фазовое состояние реакционной смеси, вязкость среды и др.). При построении систем управления пуском в составе АСУ применяют упрощенную математическую модель процесса, которая служит для идентификации состояний реактора и расчета с использованием результатов идентификации управляющих воздействий во время пуска. Иден-

тификация состояний реактора проводится с помощью модели по результатам текущих измерений параметров процесса в реакторе. На рис. 2.1.11 показана блок-схема алгоритма пуска реактора.

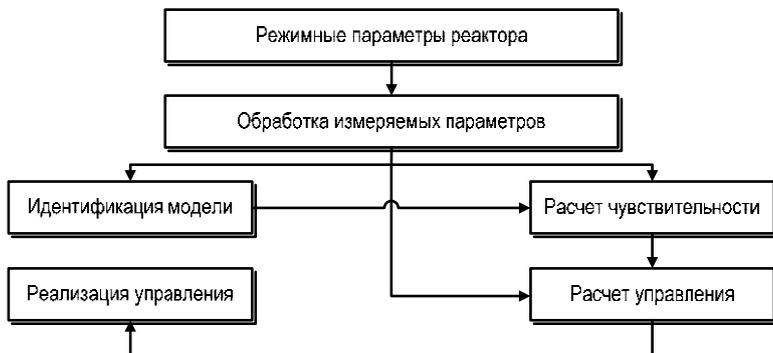


Рис. 2.1.11. Блок-схема алгоритма пуска реактора

Алгоритм включает периодическое определение состояния действующего реактора на основании измерений, режимных параметров с использованием математической модели:

- расчет по идентификации математической модели изменения основных режимных параметров при вариации управлений;
- определение максимально допустимого изменения для каждого из управляющих параметров с учетом его конечного значения и ограничений на технологические параметры;
- реализация изменений управляющих параметров.

1.4.3. Логическое управление и аварийная защита

Опасность появления неустойчивых состояний в реакторе приводит к необходимости иметь в составе АСУ этими аппаратами развитые программы аварийной защиты. В таких программах аварийной защиты предусматривается в первую очередь использование малоинерционных нетепловых воздействий (изменение давления, расход мономера и т. д.). Различают аварийные и предварительные программы, в зависимости от характера нарушения процесса в реакторе. В первом случае производство останавливают полностью, а во втором ограничиваются переводом в более мягкий режим работы. Для этого служат специальные системы логического управления, которые осуществляют в определенной последовательности переключение ряда управляющих органов и переход по специ-

альной временной программе или по достижении какими-либо переменными процесса заданных предельных значений от предыдущей операции управления к последующей. В составе АСУ имеется вычислительная машина, позволяющая, в частности, использовать для прогноза аварийных ситуаций математическую модель реактора.

Реакторы полимеризации в ряде случаев неустойчивы из-за высокой экзотермичности реакции полимеризации. Поэтому выход за пределы устойчивости может вызвать значительный самопроизвольный разогрев реакционной смеси, протекание бурных побочных реакций, вплоть до взрыва. В то же время желание технологов достигнуть макси-

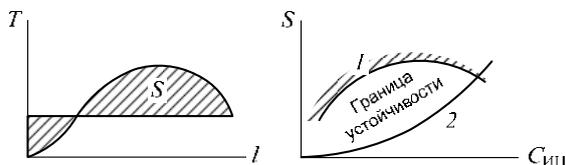


Рис. 2.1.12. Графический анализ устойчивости реактора

имальной производительности побуждает вести процесс на предельном тепловом режиме. В этой связи необходимо знать границы области устойчивых стационарных режимов работы реактора. Это требует выяснения условий устойчивости полимеризационного процесса, позволяющих оценить близость того или иного состояния реактора к границе его устойчивости непосредственно по режимным параметрам процесса. Для решения этой задачи была использована математическая модель динамики реактора. Такая модель представляет собой систему дифференциальных уравнений материального и теплового балансов. В результате исследования устойчивости этой системы был выведен критерий, который дает связь между запасом устойчивости процесса и площадью под температурной кривой по длине реактора и значением управляющего параметра. Эта площадь зависит как от внешних (концентрация инициатора, давление, температура теплоносителя), так и от внутренних (например, толщины пленки на стенках реактора) факторов и может быть вычислена по результатам измерения температурного профиля по длине реактора. В качестве примера на рис. 2.1.12 приведен температурный профиль, а также граница устойчивости (кривая 1) в плоскости с координатами «концентрация инициатора (управление) – площадь под температурной кривой», рассчитанная по выведенному критерию. Кривая 2 характеризует ход реакции в плоскости с теми же координатами.

Область, лежащая выше кривой I , соответствует неустойчивым режимам работы реактора, а область, лежащая ниже кривой I – устойчивым режимам.

1.4.4. Контроль производительности реактора полимеризации

Реактор должен обеспечивать максимальную производительность процесса. Однако обеспечение требуемого качества получаемого продукта и максимальной производительности реактора представляет собой очень трудную задачу. Так, количество полученного полимера обычно определяют путем его взвешивания по окончании реакции полимеризации. Однако это приводит к очень большому запаздыванию информации о производительности реактора, и естественно, что результаты таких изменений не могут быть использованы для оперативного управления процессом. Другим возможным путем определения текущей производительности реактора мог бы быть метод балансирования материальных потоков. Однако для крупнотоннажных производств этот способ также связан со значительным транспортным запаздыванием в получении результатов измерений из-за наличия больших промежуточных емкостей.

1.5. Заключение

Разработка аппаратного оформления процесса производства полимеров является частью работ по созданию их технологии. В разработке принимают участие технологи и механики. При выборе конструкции реактора следует учитывать ряд факторов. Главным условием этого выбора является наиболее простое техническое решение, обеспечивающее нужное качество полимера при заданной производительности при минимальных экономических показателях. Однако поиск наиболее простого технического решения при всей очевидности постановки вопроса сопряжен со значительными трудностями. Современные государственные стандарты требуют, чтобы все используемые реакторы технически отвечали высшим стандартам качества и были конкурентоспособными на внешнем рынке.

На стадии разработки конструкции реактора в распоряжении проектировщиков-технологов имеется несколько вариантов. Для их отбора используют некоторые критерии. При этом реактор должен быть простым. Любые усложнения конструкции следует вводить только в самом крайнем случае, сколь бы заманчивыми они не выглядели. И, наконец, существует непростой вопрос о выборе конструкционного материала. С технологической точки зрения этот вопрос простой: материалы должны быть стойкими в обрабатываемых средах. Это условие должно

обеспечивать заданную (обычно 10...12 лет) долговечность аппаратурного оформления технологической схемы. Кроме того, эти материалы должны гарантировать качество готового полимера. Это становится особенно важным, поскольку полимеры должны обладать специальными свойствами и даже малые примеси тяжелых металлов могут оказывать вредное влияние на них, катализируя термоокислительную деструкцию или другие реакции, вызывающие изменение заданных свойств в процессе эксплуатации готовых полимерных изделий. Очевидно, что условие чистоты продукта, предъявляемое к конструкционным материалам, является несколько не менее жестким, чем стойкость в химически агрессивных средах.

Таким образом, необходима тщательная квалифицированно выполненная работа технологов и механиков по проектированию реакторов для полимеризационных процессов.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях возникает необходимость в использовании нестандартного оборудования? Перечислите это оборудование.
2. Типы реакторов полимеризации.
3. Какой характеристикой моделируется реактор периодического действия?
4. Какая актуальная проблема возникает при проектировании РПД ?
5. В чем состоит отличие РПД от реактора смешения непрерывного действия?
6. Что является особенностью реактора смешения непрерывного действия?
7. Приведите примеры использования РПД и РИСНД в синтезе полимеров.
8. Объясните, почему РИВНД оказывается предпочтительнее других типов реакторов?
9. Какие факторы влияют на распределение молекулярных масс в реакторах?
10. Какую работу приходится выполнять технологам и механикам в процессе эскизной проработки реактора?
11. Перечислите основные данные для проектирования реактора.
12. Почему определяющим фактором при выборе материала для изготовления реактора является его коррозионная стойкость?
13. Какие факторы определяют конструкцию реактора?
14. Какие штуцера следует предусмотреть при проектировании реактора?
15. Какие материалы нужны для оформления задания на разработку проекта реактора?

Глава 2. Метод изготовления реакторов полимеризации

Технологические свойства конструкционного материала определяют способ изготовления из него частей аппаратов.

Чугунные реакторы отливаются, стальные реакторы также могут отливаться, но чаще изготавливаются из заранее прокатанных листов, труб, фасонного проката путем их резки, гибки, штамповки и сваривания заготовок и т. д.

Естественно, что изготовленные разными способами аппараты будут конструктивно отличаться друг от друга, даже если они предназначены для проведения одного и того же процесса. Кроме того, аппараты, изготовленные из одного и того же конструкционного материала, но разными способами, также будут отличаться друг от друга. На рис. 2.2.1 даны примеры аппаратов, изготовленных разными способами.

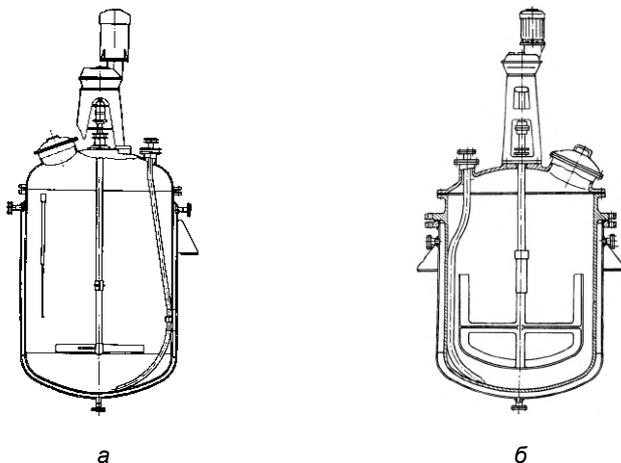


Рис. 2.2.1. Влияние способа изготовления на конструкцию аппарата

Днище в клепаных конструкциях приходилось делать вогнутым для того, чтобы иметь возможность поддерживать головки заклепки во время клепки. В современных сварных конструкциях отпала причина применения вогнутых днищ, и днища устанавливаются выпуклостью наружу. Кроме того, сварка позволила соединить обечайку с днищем встык. Таким образом, конструкция аппаратов и их узлов зависит от способа изготовления. Следовательно, конструктор обязан знать основные

методы изготовления аппаратов и учитывать все современные возможности и ограничения в этом направлении.

2.1. Конструирование сварной аппаратуры

В процессе конструирования сварных аппаратов конструктор должен:

- назначить способ сварки,
- выбрать тип сварного шва,
- указать подготовку кромки,
- разработать такую конструкцию сварного шва, которая обеспечит хорошее качество сварки и сохранение прочностных и коррозионных свойств металла конструкции.

1. Способ сварки. Он выбирается в зависимости от материала свариваемых частей, их геометрических размеров, т. е. толщины и диаметра, и от оснащённости завода.

Основными видами сварки являются электродуговая автоматическая сварка под слоем флюса, полуавтоматическая и ручная дуговая сварка. Следует заметить, что флюс – это обмазка на основе мела и плавней (стекло при 600°C). Это предотвращает окисление металла и сгорание во время сварки.

2. Тип сварного шва. Он зависит от расположения листов, применяемого вида сварки и допустимости шва. Применяются соединения встык, втавр и внахлест (рис. 2.2.2).

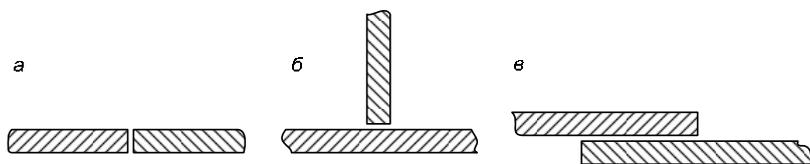


Рис. 2.2.2. Типы сварных соединений
а – встык; *б* – втавр; *в* – внахлест.

Наилучшим и важнейшим видом сварного шва соединения являются стыковой шов.

3. Обработка кромок. На рис. 2.2.3 показана подготовка кромок для ручной дуговой сварки и автоматической сварки в зависимости от толщины листа.

Обработка кромок листов перед сваркой зависит от метода сварки и толщины свариваемых листов.

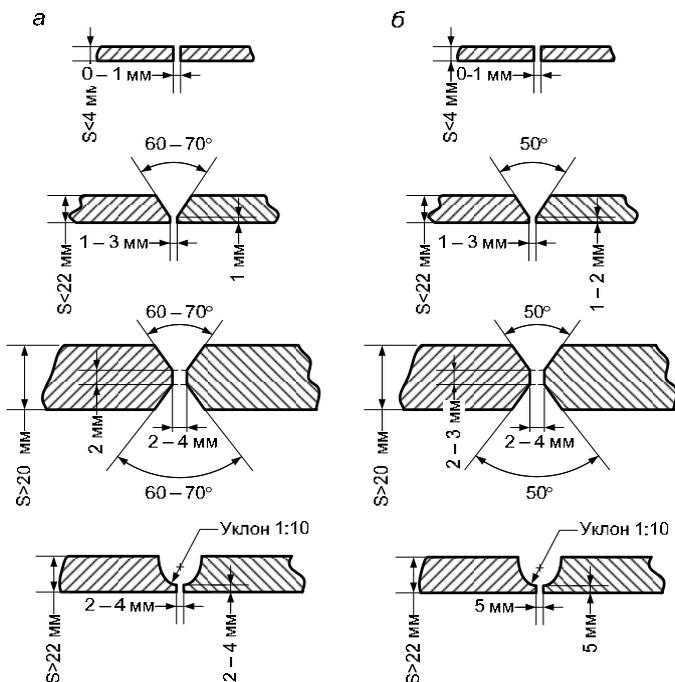


Рис. 2.2.3. Подготовка кромок для ручной и автоматической сварки под слоем флюса:

a – ручная сварка; *б* – автоматическая сварка.

Разделка кромок под углом необходима в тех случаях, когда желательно увеличить степень участия металла электрода в формировании шва. При сварке нержавеющей стали с углеродистой разделка кромок обязательна для того, чтобы избежать растрескивания шва.

Двухсторонняя разделка кромок служит для того, чтобы в шве доминировал материал электрода, а также при сварке листов толщиной S более 50 мм.

4. Конструкция сварного соединения должна обеспечивать получение качественных швов. Нужно избегать потолочных швов.

Автоматическая сварка возможна только при нижнем и горизонтальном расположении свариваемых участков швов. Автоматической сваркой осуществляются продольные и кольцевые швы аппаратов.

Минимальный диаметр обечайек для сварки внутренних швов – 600 мм, а наружных – 100 мм.

Листы, соединяемые стыковой сваркой, должны быть по возможности одинаковой толщины. Если их толщина отличается больше чем на 20...25%, то необходимо обработкой сравнять края соединяемых деталей. Уклон скоса делается 1:5 (рис. 2.2.4).

Соединение должно обеспечивать свободную усадку материалов швов. Для этого предусматриваются зазоры между свариваемыми деталями. Место шва должно быть доступно для сварки.

Весьма существенным является то, что не следует перегревать швы и подвергать материал повторному расплавлению.

Всегда нужно стараться рассредоточить швы и разнести их по-дальше друг от друга так, чтобы расстояние между ними α было не менее пятикратной ширины шва и не менее 50 мм (рис. 2.2.5).

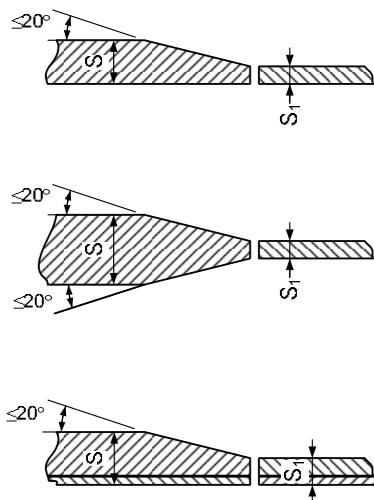


Рис. 2.2.4. Конструкции элементов для стыковых сварных соединений разной толщины

Продольные швы не должны прерываться отверстиями и штуцерами. В химических реакторах важно иметь возможность регулярно контролировать и осматривать швы. Лапы и опоры не должны перекрывать сварные швы.

Остаточные напряжения и деформации в сварных конструкциях должны быть сведены к минимуму. Значительного снижения напряжения можно достигнуть введением гибких элементов в сварные соединения, примером которых могут служить сварное соединение штуцера с обечайкой – встык на отбортовке.

Не рекомендуется штуцеры и другие детали приваривать у самого края реактора. Напряжения в этом случае не смогут равномерно распределиться по сечению материала и могут вызвать растрескивание шва и коробление края.

Хороший способ соединения тонкостенной обечайки с массивной бобышкой или фланцем показаны на рис. 2.2.6. Радиус канавок берут равным $(0,6 \dots 1,0) \cdot S$, где S – толщина стенки аппарата.

Приварку днищ или крышек лучше осуществлять в стык (рис. 2.2.7). Сварка внахлест получается неудовлетворительной в двух отношениях:

- в месте нахлеста получается толщина, равная сумме толщин листов, что равносильно скоплению металла, всегда опасного с точки зрения пережога более тонкого листа;
- в таких соединениях полоса металла, находящаяся между швами, после сварки будет находиться в напряженном состоянии, а всякое напряжение в легированных сталях ухудшает их стойкость в результате перестройки кристаллической решетки, происходящей из-за деформации.

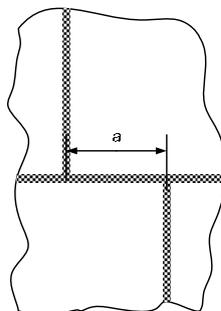


Рис. 2.2.5. Расположение сварных швов на обечайке аппарата

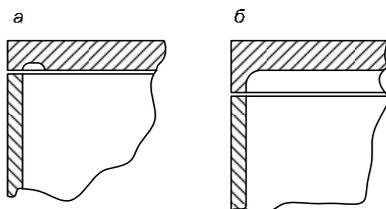


Рис. 2.2.6. Варианты соединения массивных деталей с обечайкой:
а – с проточкой (канавкой); *б* – с шейкой.

С точки зрения сохранения состава сталей очень важно не перекалывать много раз одно и то же место. Сварные швы аппаратуры из хромоникелевой стали нужно стараться отодвигать друг от друга.

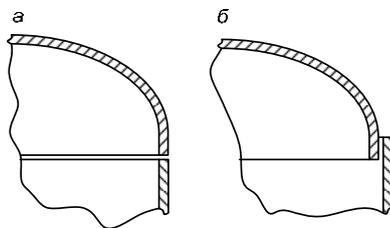


Рис. 2.2.7. Приварка крышки к обечайке аппарата:
а – правильно; *б* – неправильно.

Влияние второй причины на качество реакторов делается очевидным после сравнения некоторых физических свойств углеродистых сталей со спецсталью. Коэффициент термического расширения легированных сталей типа Х18Н9Т примерно в 1,5 раза больше, чем у углеродистых сталей, в то время как коэффициент теплопроводности легированных сталей (12...16 Вт/(м·К)) в 3...4 раза меньше теплопроводности углеродистой стали (40...50 Вт/(м·К)). Следствием этого является прогрев меньшей ширины листа вдоль шва во время сварки, что совместно с большим коэффициентом термического расширения может привести к появлению таких больших напряжений, что они могут разрушить аппарат, не говоря уже об ухудшении коррозионной стойкости стали. Основным способом понижения остаточных напряжений – введение гибких элементов, играющих роль компенсаторов, за счет своей деформации снижающих напряжение в областях, расположенных около швов.

Если приходится сваривать чистые детали, то место сварки необходимо относить возможно дальше от отработанной поверхности, чтобы не испортить ее во время сварки.

Не следует несколько частей соединять одним швом.

Сварку обозначают, как показано на рис. 2.2.8: Р – ручная, П – полуавтоматическая, А – автоматическая, Г – газовая.

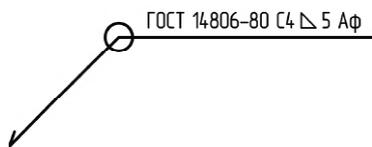


Рис. 2.2.8. Односторонний стыковой шов без скоса кромок, катетом 5 мм, выполненному по замкнутому контуру автоматической сваркой под слоем флюса

2.2. Реакторы из высоколегированной стали

Конструктивное отличие сварных реакторов, изготовленных из высоколегированных сталей, сравнительно с изготовленными из обычных углеродистых сталей вызывается тремя причинами:

- необходимостью сохранения состава стали и соответствующей структуры в швах после изготовления реактора;
- различием в физических свойствах углеродистых и легированных сталей;
- дороговизной высоколегированных сталей.

Длительный перегрев легированных сталей, даже содержащих титан или ниобий, приводит к выгоранию летучих компонентов и потере сталью химической стойкости.

Сварные соединения следует конструировать так, чтобы соединяемые части нагревались до точки плавления одновременно. Это условие автоматически выполняется при сварке частей одинаковой толщины и встык. При сварке деталей разной толщины более толстую деталь утончают около места сварки, доводя ее до толщины более тонкой детали. Несколько конструктивных решений поясняет этот простой принцип.

Обычный способ приварки обечайки к трубной доске, распространенный при изготовлении аппаратов из углеродистой стали (рис. 2.2.9а), для реакторов из спецсталей нежелателен. Уменьшение толщины доски в месте соединения достигается протачиванием полукруглых канавок (рис. 2.2.9б).

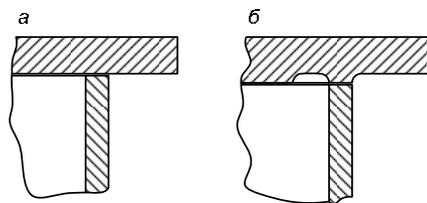


Рис. 2.2.9. Конструкции соединения трубных решеток с корпусом:
а – из углеродистой стали; б – из легированной стали.

Дороговизна легированных сталей требует от конструктора максимальной бережливости. Делать из хромоникелевой стали необходимо только те детали и части аппаратов, которые соприкасаются с агрессивными средами. Все детали, вынесенные за пределы рабочего пространства, как, например, фланцы, лапы и т. п. необходимо делать из обычной углеродистой стали. На рис. 2.2.10 показаны примеры решения принципа бережливости специальных сталей.

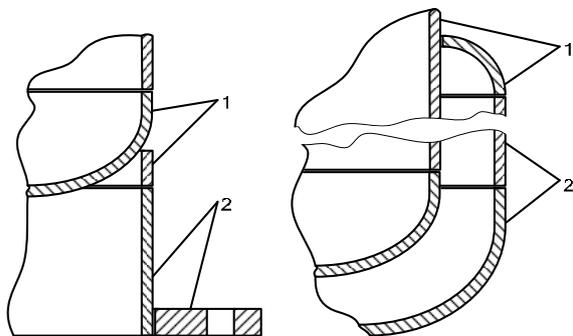


Рис. 2.2.10. Применение промежуточных деталей при сварке легированных и углеродистых сталей:

1 – легированная сталь; 2 – углеродистая сталь.

Можно ли сваривать между собой детали из специальных и углеродистых сталей? Ответ будет утвердительный. Сварка легированных сталей со сталями обычными возможна, потому что температуры плавления тех и других не намного отличаются друг от друга. Различие в химическом составе и физических свойствах также не является препятствием к сказанному. Во время сварки металлы расплавляются, происходит их перемешивание и диффузия легирующих добавок, которые проникают в углеродистую сталь и вызывают изменение состава и свойств металла в зоне шва. Шов получается механически прочным, однако его коррозионные характеристики назвать высокими нельзя, так как концентрация легирующих элементов в шве в результате диффузии будет ниже, чем в основном листе, не говоря о нарушении соответствующей структуры металла в зоне сварки.

Можно ли приваривать к одной стороне листа из легированной стали деталь из углеродистой, не испортив коррозионную стойкость стали на другой стороне листа? Опасность уменьшения концентрации легирующих в зоне сварки (ограничена пунктиром на рис. 2.2.11) остается, конечно, и в этом случае, и только при большой толщине листа из легированной стали можно не бояться разъедания мест листа, находящихся против шва. Нарушение коррозионной стойкости в подобных соединениях может резко произойти в результате остаточных сварочных напряжений.

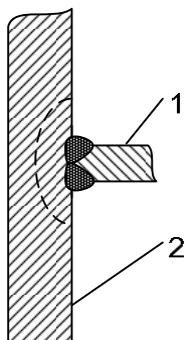


Рис. 2.2.11. Приварка детали из углеродистой стали (1) к легированной стали (2)

При малых толщинах листов (3...5 мм) коррозионная стойкость участков стали, находящихся против сварных соединений с деталями из углеродистой стали, будет обязательно нарушена.

Чтобы не портить основной металл, достаточно шов между специальной сталью и углеродистой отдалить от места возможной коррозии на величину большую, чем глубина диффузии. Практически это осуществляется помещением между частями из легированной и углеродистой стали еще одной разделительной детали, сделанной из легированной стали. Таким образом, шов между углеродистой и легированной сталью будет далеко за пределами поверхности, омываемой агрессивной средой, и стойкость аппарата не нарушится. Несколько примеров решения задачи показаны на рис. 2.2.10.

После сварки изделий из легированных сталей швы тщательно зачищаются, сами изделия хорошо шлифуются и протравливаются. Чистота поверхности в большой степени увеличивает стойкость металла против разъедания. Шлифованные и травленные поверхности от 3 до 5 раз более коррозионностойки, чем черные.

Заметим, что повышенная прочность специальных сталей по сравнению с обычными при высоких температурах затрудняет ее прокат. Поэтому сортамент тянутых и катаных изделий из хромоникелевых сталей менее широк, чем изделий, изготовленных из углеродистых сталей. Заводы выпускают из этих сталей листы, прутки, бесшовные трубы диаметром до 216 мм. Не изготавливаются уголки, швеллеры, тавры и т. д.

2.3. Конструирование эмалированных аппаратов

Эмалированное покрытие включает кварцевый песок, полевои шпат, соду и другие вещества. После нанесения смеси изделие обжигают при температуре 700...900°C. Качество эмалевого покрытия зависит от многих причин и в большей степени определяется правильным выбором металла для изготовления аппарата и рациональным его конструированием.

Чугун, идущий на изготовление эмалированных аппаратов, должен быть прочным, плотным, обладать малой склонностью к росту зерен и коэффициентом температурного расширения близким к коэффициенту расширения эмали.

Сталь для изготовления аппаратуры должна иметь малое содержание углерода – не более 0,12% и быть максимально чистой. Рекомендуется сталь Ст.08 или сталь состава: С – 0,005...0,08%; Мп – 0,35...0,4%; Р – 0,01...0,02%; S – 0,03...0,04%; Si – следы.

Для получения качественного покрытия аппаратам должны быть приданы особые формы, необходимость которых вызывается следующими условиями:

- необходимостью обеспечить подготовку аппарата под эмалирование;
- необходимостью сохранить равномерную толщину покрытия во время обжига;
- обеспечить одновременный и равномерный прогрев и обжиг эмали;
- исключить возможность появления пузырей при обжиге и не допустить появления опасных для цельности эмалевого покрытия деформаций, вызванных остаточными термическими и другими напряжениями.

Простота и плавность очертаний реакторов, подлежащих эмалированию, отсутствие острых краев, углов и впадин очень важны для получения покрытия хорошего качества (рис. 2.2.12). При недостаточном скруглении эмаль стечет с углов или растрескается.

Все части аппаратов перед эмалированием тщательно подготавливаются: швы зашлифовываются, острые углы и выступы закругляются. Очень неблагоприятны для эмалирования большие детали, ограниченные плоскими листами. Они при обжиге склоны к короблению, на них могут образовываться вмятины, где также может скапливаться эмаль и потом отскочить при остывании.

Качественный и равномерный обжиг эмали и сохранение покрытия во время остывания обеспечиваются только при совершенно одинаковых скоростях нагрева и охлаждения всех частей аппаратов. Это условие хорошо выполняется для равностенных аппаратов. Поэтому при проектировании особое внимание должно быть уделено тому, чтобы не допустить в эмалированной аппаратуре наличия массивных деталей и других местных скоплений металла. Наибольшие трудности в этом направлении возникают при разработке фланцевых соединений, мест присоединения лап, опор и других. Приварка лап к аппарату делается без усиливающих листов и прерывистым швом.

Главная причина появления пузырей в эмали – это выделение газов из швов при обжиге. Особенно опасен в этом отношении корень шва, в котором всегда скапливается шлак и возможен непровар.

На рис. 2.2.13 показана конструкция, к которой при обжиге появились пузыри в эмали как раз против корня шва.

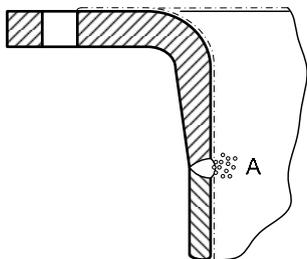


Рис. 2.2.13. Нарушение эмалевого покрытия в месте сварного шва

Как видно из рисунка, эмаль в месте А была испорчена газовыми пузырями. Они образовались в результате проникновения воздуха из щели между трубой и фланцем сквозь микротрещины и поры шва. Замена нижнего шва прерывистым обеспечила свободный выход воздуха из щели наружу и полностью устранила брак.

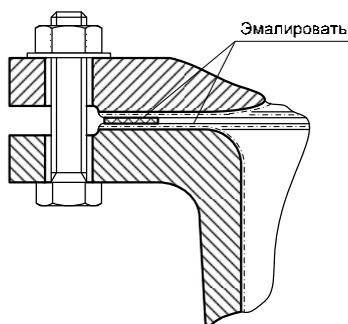


Рис. 2.2.12. Фланцевое соединение для крышки эмалированного аппарата

После обжига эмалированного аппарата возможно изменение его формы за счет коробления, которое потом исправлено быть не может.

Возможность коробления нужно учитывать при проектировании аппаратов с мешалками и предусматривать достаточные зазоры между мешалкой и стенками, а также валом и грундбуксой сальника. Для уменьшения брака все мелкие части и узлы аппарата следует делать объемными.

2.4. Литые и кованные реакторы

Из стальных отливок изготавливают аппараты, работающие в тяжелых условиях, например автоклавы, а также трубопроводную арматуру, фасонные детали трубопроводов и т. д. Стальные литые аппараты из стали марок 20Л, 25Л, 20МХЛ, Х28Л, Х18Н10ТЛ. Ковка существенно улучшает механические свойства стали, поэтому аппаратуру, работающую при высоких давлениях, изготавливают литой, а затем подвергают ковке. Фланцы отковываются заодно с корпусом.

Серый чугун обладает хорошими литейными свойствами и легко обрабатывается. Из чугуна изготавливают емкостные аппараты с мешалками, которые находят применение во многих технологических процессах (сульфирование, нитрование и другие). Чугун широко применяют для изготовления сальников, приводов, мешалок, трубопроводной арматуры и т. д.

Литые изделия не должны иметь острых углов, кромок и резких переходов толщин, так как в этих местах при охлаждении появляются трещины. Не рекомендуется отливать чугунные аппараты со стенками более 50...60 мм, так как при этом прочность чугуна падает. Правилами Госгортехнадзора допускается изготовление из чугуна аппаратов, рассчитанных на давление не более 0,8 МПа, если температура стенки аппарата не превышает 250°C.

2.5. Заключение

Основное требование, которому должны удовлетворять реакционные устройства — обеспечение наиболее высоких технологических показателей производства. Наряду с технологическим совершенством реакционная аппаратура производств полимеров должна быть механически прочной. Поэтому конструкция реакционных устройств существенно зависит от параметров процесса (давление и температура), коррозионных свойств среды, наличия осадков и отложений, свойств конструкционных материалов, применяемых для изготовления таких устройств. И, конечно же, метода их изготовления. Как уже указывалось аппараты, изготовленные разными способами, будут конструктивно отличаться друг от друга, даже если они предназначены для проведения одного и того же процесса. Кроме того, аппараты, изготовленные из одного и того же конструкционного материала, но разными способами, также будут отличаться друг от друга. Следовательно, конструктор обязан знать основные методы изготовления аппаратов и учитывать все современные возможности и ограничения этих методов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды сварки используются для изготовления сварной аппаратуры?
2. Перечислите типы сварных соединений.
3. Почему приварку днищ или крышек лучше осуществлять встык?
4. Назовите причины конструктивных отличий сварных реакторов, изготовленных из высоколегированных сталей, от реакторов, изготовленных из обычных углеродистых сталей.
5. Можно ли приварить к одной стороне листа из легированной стали деталь из углеродистой стали, не снизив коррозионную стойкость легированной стали на другой стороне листа? Поясните ответ схемой.
6. Какие подготовительные операции необходимо выполнить перед нанесением эмали на аппарат?
7. Перечислите конструктивные особенности аппаратов, изготовленных методом литья.

Полимеризаторы, как правило, состоят из повторяющихся элементов: корпусов, фланцев, рубашек, штуцеров и т. д. различное их сочетание даст возможность проектировщику сконструировать любые типы реакторов различной их формы. При этом следует применять нормализованные элементы, что в свою очередь позволяет сократить сроки изготовления реакторов синтеза полимеров, а также сократить объемы конструкторской работы. По этой же причине всю аппаратуру необходимо проектировать с таким расчетом, чтобы изготовление элементов ее можно было вести на стандартном оборудовании.

3.1. Днища, обечайки и крышки

Для цилиндрических аппаратов применяются полушаровые, эллиптические, сферические отбортованные, конические и плоские днища и крышки.

Полушаровые днища. Сфера является идеальной формой оболочки, так как в ней не возникают изгибные усилия. Однако полушаровые крышки (рис. 2.3.1) сложны в изготовлении и неудобны для размещения люков и штуцеров.

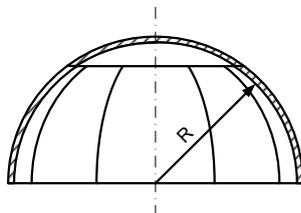


Рис. 2.3.1. Полушаровое днище

Полушаровые днища и крышки применяют в основном для сосудов и аппаратов большого диаметра. Полушаровые днища сваривают из отдельных штампованных лепестков.

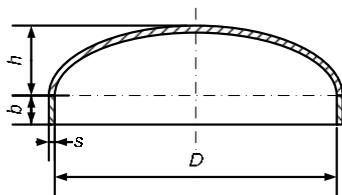


Рис. 2.3.2. Эллиптическое днище

Эллиптические днища. Для реакторов, работающих под давлением, широко применяют эллиптические днища, имеющие форму эллипсоида вращения (рис. 2.3.2).

Чтобы отнести сварной шов от закругленной части днища и не загружать его изгибающими напряжениями, днище снабжается цилиндрическим бортом $b = 25\text{--}50$ мм. По

ГОСТ 9617-76 днища эти выпускаются с диаметром до 4000 мм. Отношение $h/D = 0,25$.

Коробовые (сферические отбортованные) днища имеют шаровую поверхность, края которой отбортованы. Они значительно менее совершенны, чем эллиптические, так как в линии перехода между сферической и отбортованной частью возникают значительные изгибающие напряжения.

Конические днища (рис. 2.3.3) устанавливают в тех случаях, когда требуется полностью освободить аппарат от твердых продуктов, вязких жидкостей.

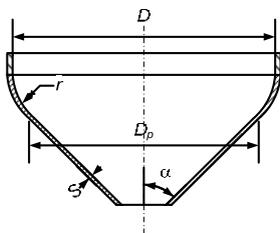


Рис. 2.3.3. Коническое днище с отбортовкой

Для реакторов, работающих под давлением, обязательно делают днища с отбортовкой. По нормам НИИХИММАШа днища выпускаются с углом между осью и образующей конуса, равным 30 и 45 соответственно. Соединение конических днищ с цилиндрическими обечайками производится только в стык. Типовые конструкции соединения конических частей с цилиндрическими показаны на рис. 2.3.4.

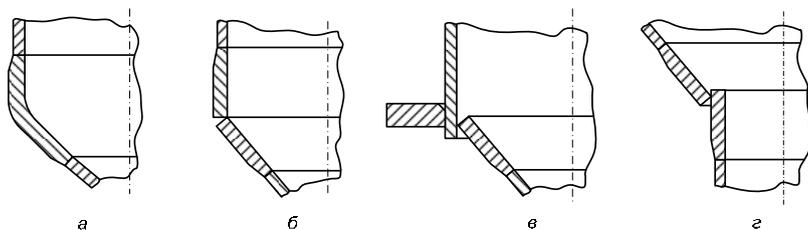


Рис. 2.3.4. Конструкции соединения конических и цилиндрических частей стальных аппаратов:

a – с отбортованной вставкой; *б* – без отбортовки; *в* – с укрепляющим кольцом; *г* – без отбортовки и укрепляющего кольца.

Плоские днища. Такие днища предназначены для вертикальных и горизонтальных аппаратов диаметром от 273 до 4000 мм под налив. Они

бывают двух типов: неотбортованные (рис. 2.3.5а) и отбортованные (рис. 2.3.5б). Иногда вместо днищ с отбортовкой используют плоские днища на бурте (рис. 2.3.5а).

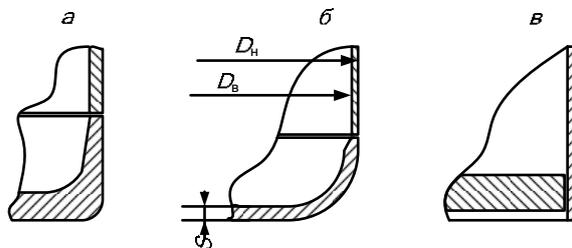


Рис. 2.3.5. Плоские днища:

а – на бурте; б – с отбортовкой; в – без отбортовки.

Для аппаратов, изготовленных из листового проката, за базовый размер принимается внутренний диаметр аппарата. При использовании в качестве корпуса аппарата труб за базовый размер принимается наружный диаметр трубы.

3.2. Фланцевые соединения

Фланцевые соединения служат для соединения отдельных частей аппарата, для присоединения к реактору трубопроводов, датчиков КИП и других устройств. Они являются наиболее распространенными разъёмными соединениями аппаратов и трубопроводов.

Основными типами фланцев являются: цельные, свободные и резьбовые.

По конструкции и способу соединения со штуцером или корпусом реактора различают следующие типы фланцев (рис. 2.3.6): плоские приварные, приварные с шейкой, отлитые заодно с аппаратом, свободные (накидные) на отбортовке или на бурте и фланцы на резьбе.

Наиболее просты по конструкции плоские приварные фланцы. Их широко применяют на стальных аппаратах и трубопроводах при давлениях до 2,5 МПа. Более высокой жесткостью и прочностью обладают фланцы с шейкой – утолщением у основания фланца. Они применяются для давлений до 20 МПа.

Фланцы с шейкой имеют несколько конструктивных разновидностей. Наиболее распространены фланцы кованные и приварные встык, широко применяемые на сварных аппаратах. На чугунных и стальных литых реакторах делают фланцы с шейкой, отлитые заодно с корпусом аппарата.

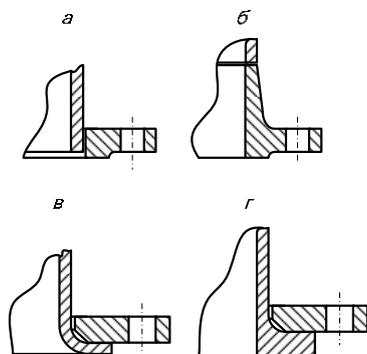


Рис. 2.3.6. Основные типы фланцев:

a – плоский приварной фланец; *б* – фланец с шейкой, приваренной встык;
в – фланец свободный с отбортовкой; *г* – фланец свободный на бурте.

Стальные свободные фланцы на отбортовке применяют на аппаратах из мягких цветных металлов (алюминий, медь), а также из некоторых пластмасс, поддающихся отбортовке. Их применяют также при необходимости максимально экономить дефицитные конструкционные материалы, например, титан или высоколегированную сталь.

Фланцы на отбортовке применяют для условного давления до 0,6 МПа. Фланцы на резьбе (рис. 2.3.7*a*) применяют на трубопроводах и аппаратах высокого давления, когда применение сварки нежелательно. Такую конструкцию можно применять также при необходимости снятия фланца для разборки узла аппарата.

При конструировании стараются по возможности уменьшить ширину фланца, чтобы снизить изгибающие моменты у его основания и сделать его более жестким.

Для соединения трубопроводов и аппаратов из стекла, керамики и других хрупких материалов применяют свободные разборные фланцы. Они выполняются в двух разновидностях: разъемные из двух частей и с разъемным кольцом.

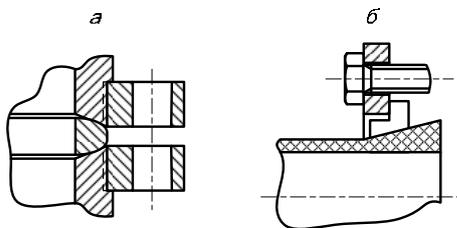


Рис. 2.3.7. Фланец на резьбе (*a*) и фланец с разъемным кольцом (*б*)

Фланцы из двух частей изготавливают из ковкого чугуна. Обе половины стягиваются болтами. На рис. 2.3.7б показана конструкция с разъемным кольцом.

Наиболее ответственной частью фланцевого соединения является узел уплотнения. Герметичность прокладочного фланцевого соединения обеспечивается за счет пластической деформации прокладки, происходящей при затягивании фланцев. Прокладка деформируется и заполняет все неровности на привалочной поверхности. Герметичность соединения возрастает с увеличением удельного давления, действующего на прокладку. Чем меньше ширина прокладки, тем больше удельное давление при одной и той же силе сжатия, поэтому прокладки для соединений высокого давления стараются делать возможно более узкими.

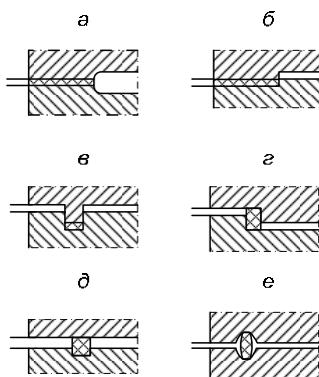


Рис. 2.3.8. Типы привалочных поверхностей фланцев:
a – соединение с плоским фланцем; *б* – соединение «выступ-впадина»;
в – соединение «шип-паз»; *г* – соединение «в замок»; *д* – соединение с прокладкой в пазу; *е* – соединение с овальной металлической прокладкой.

Фланцы с плоской уплотнительной поверхностью (рис. 2.3.8*a*) являются конструктивно наиболее простыми, однако они не всегда обеспечивают необходимую герметичность соединения. Некоторое применение находят фланцы «выступ-впадина» (рис. 2.3.8*б*). Это соединение не имеет перед фланцами с плоской уплотнительной поверхностью существенных преимуществ и применяется в основном, когда необходимо обеспечить соосность соединения. Более надежным является соединение «шип-паз» (рис. 2.3.8 *в*), которое используют при повышенных давлениях, работе с ядовитыми веществами и глубоком вакууме, т. е. в самых ответственных соединениях. В соединении «шип-паз» прокладка укла-

двывается в кольцевую канавку и уплотняется сверху кольцевым выступом другого фланца. Она не имеет возможности деформироваться и выдерживает значительные удельные давления.

Соединение «в замок» (рис. 2.3.8з) можно рассматривать как вариант соединения «шип-паз». Его применяют обычно при высоких давлениях. Преимуществом этого соединения является большее удобство для смены прокладки. Извлекать прокладку из канавки соединения «шип-паз» довольно трудно, поэтому не рекомендуется использовать это соединение в полимеризаторах.

Для неядовитых, малоагрессивных сред при давлениях не более 0,1 МПа используют соединения с прокладкой в пазу (рис. 2.3.8д). Это уплотнение применяют в основном в узлах, подвергающихся частой разборке, например в люках. Паз фиксирует прокладку и не дает ей выпасть.

Из соединений с жесткими металлическими прокладками наиболее широко распространены линзовые с прокладкой из качественной углеродистой или легированной стали (рис. 2.3.7а). Соприкосновение шаровой поверхности линзы с коническими поверхностями уплотняемых деталей происходит по кольцевой линии. Под действием осевых сил в месте касания возникает узкий поясok деформации материала, который обеспечивает уплотнение. Уплотнения с упругой деформацией обеспечивают многократную сборку и разборку. Линзы и соприкасающиеся с ней поверхности тщательно обрабатывают и шлифуют. Такие соединения применяют для оборудования с диаметрами до 300 мм и давлением до 80 МПа. Они широко используются в технике высоких давлений.

Соединение с овальными металлическими прокладками (рис. 2.3.8е) применяют при давлениях до 16 МПа.

3.3. Прокладки и крепежные детали

Выбор прокладочного материала зависит от температуры, давления и агрессивности уплотняемой среды. Он должен быть достаточно прочным и эластичным, чтобы при затягивании болтов надежно уплотнить соединение и сохранять плотность в процессе эксплуатации.

Наиболее распространенными прокладочными материалами являются: картон, резина, паронит, асбест, фторопласт, полихлорвинил, а также мягкие металлы – медь, алюминий, железо.

Картон применяют для воды и других нейтральных сред при низкой температуре и давлении не более 0,4 МПа.

Для горячей воды, пара и многих химических веществ применяют *паронит*. Паронит – это композиция из асбеста, каучука и различных наполнителей. Выпускается в виде листов. Применяется при температуре до 450°С, и давлении 6,0...8,0 МПа в самых различных средах.

Резина применяется для кислых сред, не разрушающих ее.

Для высоких давлений применяют *металлические прокладки*. В табл. 2.4.1 приведены условия работ прокладок.

Широкое применение находят прокладки, комбинированные из нескольких материалов. Одним из распространенных типов являются прокладки с металлической или фторопластовой оболочкой и неметаллической основой.

Таблица 2.3.1

Условия работы прокладочных материалов

Материал прокладки	Рабочая среда	Предельная температура, °С	Предельное рабочее давление, МПа
Резина	Вода, воздух, кислоты	60	0,6
Паронит	Вода, пар, кислоты, щелочи	450	5
Картон технический	Вода, масло	40	0,4
Картон асбестовый	Пар, горячие газы	450	0,15
Асбестометаллическое армированное волокно	Горячие газы	150	1
Полихлорвинил	Кислоты	60	0,4
Фибра	Бензин, керосин, кислоты	80	1
Медь	Вода, воздух	250	22
Свинец	Кислоты	100	0,2
Алюминий	Пар, масло	300	6,0
Фторопласт-4	Кислоты, щелочи	200	10
Сталь	Любая	450	Любое

Крепежные детали фланцевых соединений. Соединение фланцев осуществляется с помощью болтов и шпилек. При давлении в реакторе свыше 1,6 МПа болты применять не следует, так как у их головки возникают местные напряжения. В соединениях, подверженных действию высоких температур, используют шпильки с проточкой в средней части до внутреннего диаметра шпильки с проточкой резьбы для повышения эластичности шпилек и уменьшения опасности разрыва при тепловом расширении фланца.

Для узлов, работающих при высоком давлении, шпильки и гайки изготовляют из качественных углеродистых и легированных сталей марок 25Х, 30Х, 35Х.

Фланцы нормализованы, поэтому задача конструктора заключается обычно в выборе фланцевого соединения по соответствующим стандартам и нормам в зависимости от величины условного давления или

прохода (или диаметра). Расчет и конструирование производят в тех случаях, когда по каким-либо причинам приходится применять нестандартные фланцевые соединения или материал фланцев не соответствует указанному в стандартах и нормалях, а также, если необходимо, дополнительно проверить надежность стандартного фланцевого соединения.

Расчет фланцев заключается в определении осевой нагрузки, действующей на соединение, числа и диаметр болтов (шпилек) и толщины фланца. Расчету фланцевого соединения обычно предшествует конструктивная проработка, при которой предварительно определяют основные размеры фланцев. Расчет следует производить по методике, изложенной в нормале ОН-01-17-66 «Нормы расчета и конструирования фланцевых соединений».

Для того чтобы не делать фланцы на каждое давление и каждый диаметр трубы или обечайки, весь непрерывный ряд диаметров и давлений разбивают на ряд условных давлений и условных диаметров. С увеличением температуры среды условное давление берут больше рабочего, так как снижается механическая прочность с ростом температуры. При расчете принимают ближайшее большее давление, каждый размер условного прохода соответствует ряду близких диаметров труб и обечаек. Все типы фланцев одного условного прохода и условного давления имеют одинаковые присоединительные размеры, чем обеспечивается взаимозаменяемость фланцев и трубопроводной арматуры.

Для обеспечения необходимой герметичности фланцевые соединения, работающие под вакуумом, рассчитывают на давление не менее 0,25 МПа. Фланцы аппаратов с ядовитыми, огне- и взрывоопасными веществами рассчитывают не менее чем на 1,0...1,6 МПа, если даже давление в реакторе или трубопроводе низкое.

Фланцы низкого давления выбирают на условное давление не менее 1,0 МПа, так как арматуру, присоединяемую к штуцерам, не выпускают на условное давление менее 1,0 МПа.

3.4. Штуцера

Для присоединения трубопроводов и контрольно-измерительных приборов служат штуцера и бобышки.

Штуцер состоит из отрезка трубы (патрубка) и фланца. Приварка штуцера к аппарату может быть осуществлена по одному из вариантов, показанных на рис. 2.3.9.

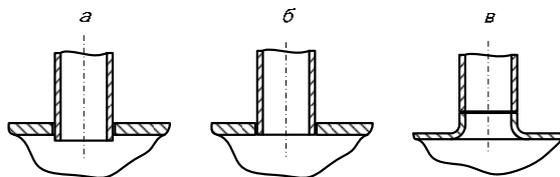


Рис. 2.3.9. Варианты приварки штуцеров

Наиболее распространен вариант *a*, он же является стандартным. Крепление штуцера к корпусу аппарата может быть как односторонним, так и двусторонним.

Приварка по варианту *б* применяется в тех случаях, когда внутри аппарата не должно быть никаких выступающих частей. Наиболее конструктивно совершенной является приварка в стык к отбортованному краю отверстия (вариант *в*), однако этот способ сложен и применяется сравнительно редко, в основном на эмалированной аппаратуре.

Штуцера литых аппаратов отливаются заодно с корпусом.

Иногда в штуцера вставляют патрубки наполнения (рис. 2.3.10), чтобы предотвратить стекание жидкости по стенкам аппарата. При подаче в реактор легковоспламеняющихся жидкостей патрубки наполнения опускаются до дна полимеризатора, чтобы избежать накопления статического электричества.

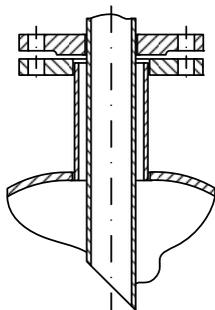


Рис. 2.3.10. Штуцер с патрубком наполнения

В аппаратах из двухслойной стали штуцера диаметром до 80 мм изготавливают из двухслойной стали, а при диаметре более 80 мм – из кислотостойкой стали.

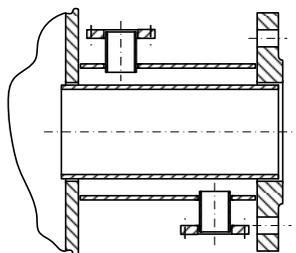


Рис. 2.3.11. Штуцер с обогревом

Штуцера, работающие с застывающими жидкостями, снабжаются рубашками для обогрева (рис. 2.3.11).

Штуцера, предназначенные для слива жидкости, должны обеспечивать полное ее удаление ее из реактора. На рис. 2.3.12 показаны варианты приварки сливных патрубков к днищу.

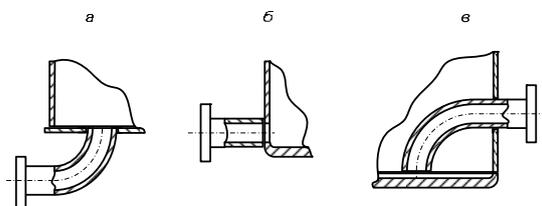


Рис. 2.3.12. Приварка сливных штуцеров:
а – приварка патрубка к днищу аппарата; *б* – приварка патрубка вровень с днищем; *в* – изогнутый патрубок.

Таблица 2.3.2

Рекомендуемые диаметры штуцеров для реакторов различной емкости

Емкость реактора, м ³	Диаметр штуцера, мм
до 3	70
3...6	80
6...10	100

Сечение штуцера рассчитывают, исходя из возможно короткого срока выгрузки и загрузки полимеризаторов. Стандартные диаметры штуцеров приведены в табл. 2.3.2. Конструируя днища, крышки и штуцера, приходится выполнять следующие требования:

- если в крышке имеется несколько отверстий, то расстояние между краями 2-х соседних отверстий, измеряемое по проекции, должно быть не менее диаметра отверстия;
- расстояние от края отверстия до края днища, измеряемое по проекции, не должно быть менее $0,1 \cdot (D_{\text{внутр}} + S)$ (S – толщина стенки);
- расстояние между отверстием, расположенным около отбортовки центрального отверстия и началом закругления отбортовки или сварным швом должно быть не менее толщины стенки.

3.5. Бобышки

Бобышки представляют собой фланцы, приваренные непосредственно к полимеризатору, или утолщения на его корпусе. Их широко применяют при установке сальниковых коробок, контрольно-измерительных приборов и в других случаях, когда устройство штуцеров по каким-либо причинам нежелательно.

Трубопроводы к бобышкам присоединяются с помощью шпилек, что является существенным недостатком, так как при поломке шпилек удаление их представляет значительные трудности.

Бобышки из углеродистой стали изготавливают по одному из двух типов, показанных на рис. 2.4.13. При малых диаметрах они выполняются из кислотостойкой стали, а при больших диаметрах корпус бобышки делается из углеродистой стали и защищают накладками из нержавеющей стали.

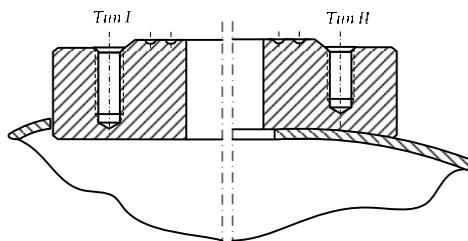


Рис. 2.4.13. Стальные приварные бобышки

3.6. Смотровые окна

При необходимости наблюдения за работой герметичных полимеризаторов на штуцерах и бобышках устанавливают смотровые окна. Более распространена установка окон на бобышках (рис. 2.3.14). Обычно на реакторе располагают два окна и на одном из них помещают светильник. Диаметр окон обычно от 50 до 150 мм.

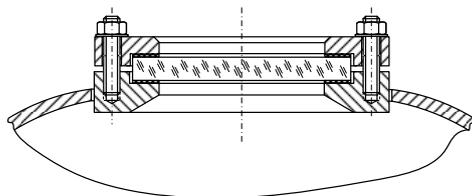


Рис. 2.3.14. Смотровое окно

Основной деталью смотрового окна является стекло. Обычно применяют толстые иллюминаторные стекла, рассчитанные на давление 0,6 МПа и температуру не более 150°С.

3.7. Люки и лазы

Они служат для осмотра аппарата, монтажа и демонтажа внутренних устройств, загрузки сырья и очистки. Круглые лазы должны иметь диаметр не менее 400 мм, а овальные – не менее 300...400.

Конструкции лазов и люков зависят от условий работы и давления в аппарате. Если лазом пользуются редко, то крышку его делают в виде заглушки (рис. 2.3.15а) на болтах. При необходимости частого открывания крышку делают на откидных болтах, которые отвертываются значительно быстрее, чем обыкновенные (рис. 2.3.15б).

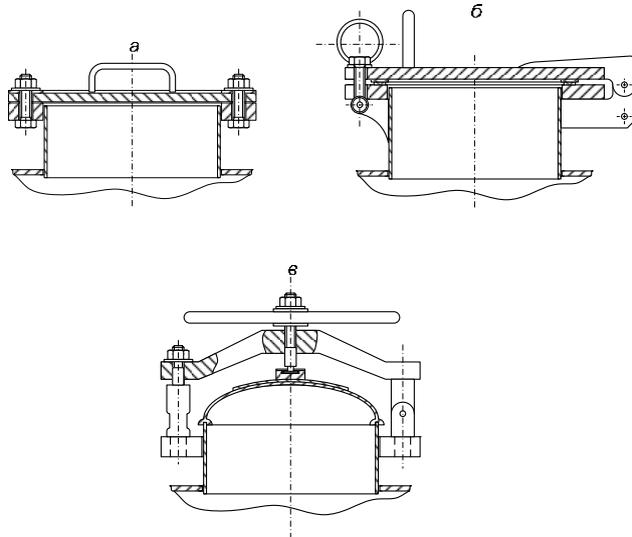


Рис. 2.3.15. Люки и лазы:

а – люк с глухими болтами; б – люк с откидными болтами; в – люк со скобой.

Люки и лазы, которые необходимо постоянно открывать, выполняют с поворотной скобой, на конец которой накидывается петля, а уплотнение крышки осуществляется с помощью нажимного винта, закрепленного в центре скобы (рис. 2.3.15е). Их применяют на давления до 0,6 МПа и диаметр до 400 мм.

Расчет люка сводится к определению осевого усилия, действующего на крышку, и расчета на прочность элементов, несущих давление.

3.8. Лапы и опоры реакторов

Опоры служат для установки полимеризаторов на фундаменты и несущие конструкции. Выбор типа опор зависит от конструкции реактора, нагрузки и условий установки.

При устройстве вертикальных аппаратов на полу помещения или на фундаментах применяют нижние (опорные) лапы (рис. 2.3.16а). При подвеске его между перекрытиями делают боковые лапы (рис. 2.3.16б). Наряду с нормализованными опорными лапами иногда применяют лапы из отрезков труб, а небольшие легкие аппараты устанавливают на высокие стойки из труб или уголков (рис. 2.3.16в).

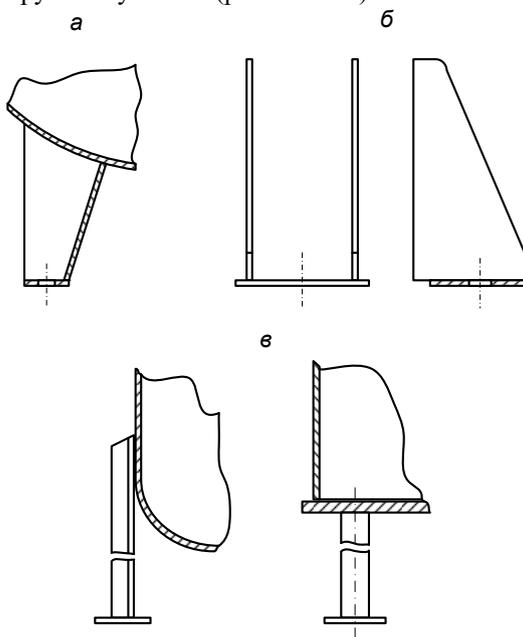


Рис. 2.3.16. Опоры аппаратов:

а – опорная лапа; б – боковая лапа; в – стойки из труб и уголков.

При установке аппарата на нижние опоры делают три или четыре нижние лапы. При подвеске между перекрытиями – обычно четыре боковые лапы, хотя возможна установка легких аппаратов на две. Лапы имеют отверстия для фундаментальных болтов.

У стальных аппаратов лапы привариваются к корпусу, у литых – отливаются заодно с корпусом.

Расчет лап сводится к определению площади опорной подошвы или удельного давления лапы на опорную конструкцию, а также к расчету на прочность элементов лапы и проверке прочности стенки реактора в месте ее установки.

Основной исходной величиной для расчета является нагрузка на лапу:

$$Q = \frac{G_{\max}}{n},$$

где n – число лап, G_{\max} – максимальный вес аппарата, включающий в себя вес самого реактора, термоизоляции, трубопроводов и различных конструкций, а также максимально возможный вес продуктов, загруженных в него.

Площадь подошвы лапы определяют, исходя из максимально допустимого удельного давления на опорную конструкцию:

$$F = \frac{Q}{q_{\text{доп}}},$$

где $q_{\text{уд}}$ – удельное давление, МПа. Для кирпичной кладки $q_{\text{уд}} = 1,6$ МПа, для бетонного фундамента 2,0...2,5 МПа.

Лапы стальных сварных аппаратов нормализованы. Выбор их по нормали производится по величине нагрузки. Расчет и конструирование лап по формулам, изложенным выше, производятся лишь для случая, когда применяется нестандартная лапа.

3.9. Устройства для строповки аппаратов

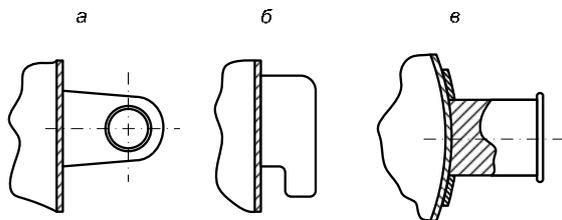


Рис. 2.3.17. Приспособления для монтажа аппаратов:
a – монтажное ушко; *б* – монтажный крюк; *в* – монтажный штуцер.

Подъем и перемещение реакторов и других аппаратов при монтаже и ремонте производится с помощью строповки их канатами или цепями.

Для удобства строповки вертикальных аппаратов на них должны быть предусмотрены специальные устройства – крюки, ушки, монтажные штуцера (рис. 2.3.17). Наиболее распространены среди них крюки и ушки. На горизонтальных аппаратах крюки и петли обычно не устанавливают.

3.10. Трубы передавливания

Трубы для передавливания служат для эвакуации жидкостей из аппаратов сжатым воздухом или инертным газом. Эти трубы устанавливают в тех случаях, когда реакционную массу из одного реактора приходится транспортировать в другие полимеризаторы, расположенные рядом или выше (рис. 2.3.18).

Конец трубы загибают так, чтобы при установке ее в аппарате этот конец примерно совпал с центром днища в нижней точке аппарата.

3.11. Гильзы термометров

Гильзы для термометров вставляют в реактор через штуцеры и прикрепляют к ним при помощи болтов (рис. 2.3.18). Гильзы выполнены в виде закрытых с одного конца трубок из чугуна или стали. При установке в них термометров в эти трубки заливают машинное масло для создания лучших условий теплообмена.

3.12. Аварийное устройство

Рядом с выгрузным клапаном в днище реактора устанавливают в ряде случаев аварийное устройство (рис. 2.3.19).

Как видно из рис. 2.3.19, в корпусе 1 реактора установлено специальное термозакаленное стекло 2 диаметром 180 мм, которое зажато патрубком 3 аварийного слива. С одной стороны стекло соприкасается с массой, находящейся в реакторе, а с другой – с охлаждающей водой. Вода охлаждает два электрических детонатора 4. В нижней части патрубка установлена защитная мембрана 5 из стекла толщиной 3 мм. При возникновении аварийной ситуации электродетонаторы разрушают стекло и освобождают аварийные сбросы.

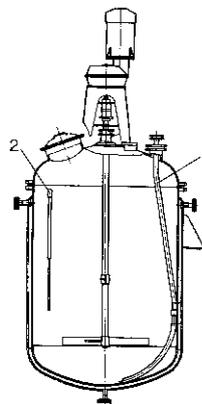


Рис. 2.3.18. Реактор с трубой передавливания (1) и гильзой для термометра (2)

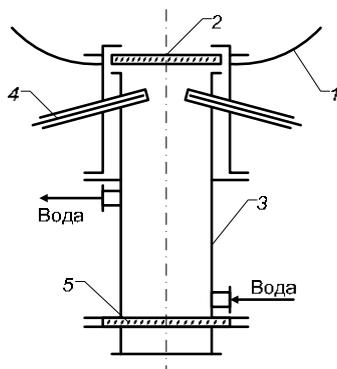


Рис. 2.3.19. Схема аварийного устройства:

1 – корпус реактора; 2 – термозакаленное стекло; 3 – патрубок; 4 – два электрических детонатора; 5 – защитная мембрана.

3.13. Запорный клапан

В днище некоторых полимеризаторов, например в реакторе для суспензионной полимеризации стирола, устанавливают грибовидный запорный выгрузной клапан, схема работы которого показана на рис. 2.3.20.

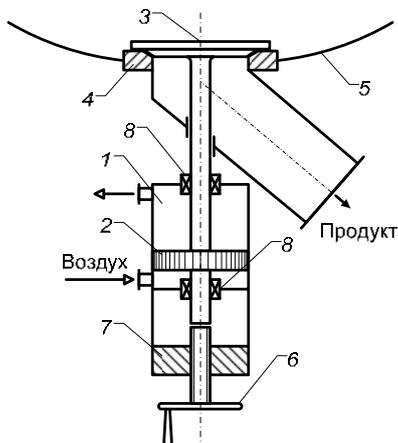


Рис. 2.3.20. Схема устройства запорного клапана:

1 – пневмоцилиндр; 2 – поршень пневмоцилиндра; 3 – грибовидный клапан; 4 – седло; 5 – днище реактора; 6 – маховичок; 7 – винтовая пара; 8 – сальниковые уплотнения.

Из рис. 2.3.20 видно, что пневматический привод дублирован ручным приводом. Закрытие и открытие клапана 3 происходит сжатым воздухом, который подают в ту или иную полость пневмоцилиндра 1. Поршень 2 связан с грибовым клапаном 3, который плотно прижат к седлу 4, установленном в днище 5 реактора. Закрытый клапан находится под давлением массы в полимеризаторе (0,45 МПа). Клапан открывают для выгрузки массы, и в этом случае давление в реакторе должно быть снижено до атмосферного. При отсутствии сжатого воздуха в системе пневматического привода или по какой-либо другой причине грибовый клапан можно открыть ручным приводом, состоящим из маховичка 6 и винтовой пары 7.

При нормальной работе пневматического привода ручной привод устанавливают в нейтральное положение. Пневмоцилиндр имеет два сальниковых уплотнения 8.

3.14. Пробоотборники

Схема пробоотборника для отбора проб под давлением представлена на рис. 2.3.21.

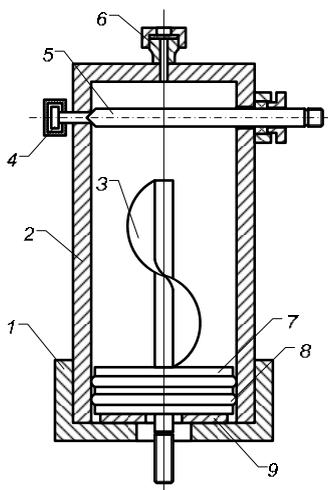


Рис. 2.3.21. Схема пробоотборника для отбора реакционной массы под давлением производства СКЭПТ:

1 – накидная гайка; 2 – корпус пробоотборника; 3 – шток с перемешивающими лопастями; 4 – штуцер; 5 – запорный вентиль; 6 – штуцер с резиновой мембраной; 7 – поршень; 8 – уплотнительное кольцо; 9 – упорная шайба.

Как видно из рис. 2.3.21, в герметичной емкости 2 имеется штуцер 4 для присоединения пробоотборника к реактору, а также запорный вентиль 5 и штуцер 6 с резиновой мембраной. Эта мембрана прокалывается

иглой шприца для взятия пробы на анализ. Пробоотборник снабжен поршнем 7 с уплотнительными кольцами 8. Через поршень проходит шток с перемешивающими лопастями 3. Сам шток уплотнен в поршне резиновыми кольцами (на рисунке не показаны). На конце штока имеется резьба для присоединения ручки вращения мешалки. Поршень имеет ограничение хода в виде накидной гайки 1 с упорным кольцом 9.

Габаритные размеры пробоотборника: диаметр корпуса 55 мм, длина корпуса 150 мм, свободный объем 185 см³.

После заполнения пробоотборника жидкостью он присоединяется к реактору штуцером 4. Накидная гайка 1 устанавливается в положение, соответствующее величине отбираемой пробы. После этого открывается вентиль на реакторе и пробоотборнике. Когда закончится перемещение поршня под давлением отбираемой пробы до соприкосновения с накидной гайкой, вентиль закрывается и производится перемешивание пробы с растворителем при помощи рукоятки, которая присоединяется к свободному концу штока. Затем пробоотборник отсоединяется от реактора и взвешивается. Отбор содержимого пробоотборника производится шприцем через мембрану штуцера.

Другая конструкция пробоотборника представлена на рис. 2.3.22. Для отбора проб из реактора в нем в средней части устанавливают пробоотборное устройство.

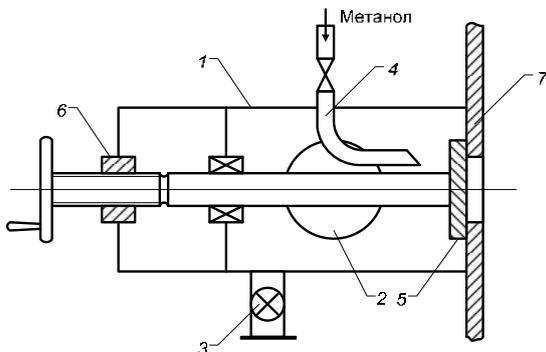


Рис. 2.3.22. Схема устройства пробоотборника:

1 – корпус; 2 – смотровое окно; 3 – спускной кран; 4 – трубка; 5 – шибер; 6 – винтовая пара; 7 – корпус реактора.

Пробоотборник снабжен смотровыми окнами 2 и спускным краном 3. Для очистки внутренней полости пробоотборника по трубке 4 подают растворитель. Шибер 5 приводится в движение винтовой парой 6. При закрытом сливном кране открывают шибер и отбирают пробу. Затем закрывают шибер и открывают спускной кран.

3.15. Заключение

Реакционная аппаратура используемая в технологических процессах производства полимеров, как правило состоит из стандартных элементов – корпусов, крышек, днищ, фланцевых соединений и т. д. Все эти элементы выполняют вполне определенную роль, а различное их сочетание дает возможность конструировать различные виды технологического оборудования.

Основными несущими частями реактора являются корпус и крышка. Именно эти узлы используются для закрепления на них других элементов реакционной аппаратуры – рубашек, сливных устройств, мешалок с приводами, необходимых штуцеров и т. д.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие факторы влияют на выбор днищ?
2. Приведите эскизы основных видов фланцевых соединений.
3. Какие уплотнительные элементы используются во фланцевых соединениях?
4. Назначение штуцеров и варианты их приварки к корпусу и крышке реактора.
5. Какие устройства используют для строповки аппаратов при их монтаже и демонтаже?
6. Приведите эскизы опор реакционных устройств.
7. Назначение и устройство труб передавливания и гильз для датчиков приборов КИПиА.
8. Приведите эскизы основных видов люков.
9. Назначение бобышек, их виды и способы приварки к крышке аппарата.

Подавляющее большинство полимеризационных процессов происходят с выделением тепла, поэтому реакторы снабжены элементами теплообмена. Теплообменными поверхностями обычно являются:

- наружные поверхности аппаратов, снабженные рубашками;
- если наружные поверхности реакторов недостаточны, то при невысокой вязкости получаемых продуктов внутри аппаратов устанавливают дополнительные поверхности – змеевики и стаканы.

С точки зрения удобства обслуживания и очистки реактора, а также простоты его конструкции предпочтительнее наружные теплообменные элементы (рубашки и приварные элементы – трубы). Однако их поверхность теплообмена ограничена наружной поверхностью аппарата. Кроме того, коэффициент теплоотдачи к наружным теплообменным элементам примерно в 2 раза ниже, чем к внутреннему змеевику.

Конструкция теплообменных рубашек для полимеризаторов зависит от параметров обогревающей или охлаждающей среды. При давлениях обогревающей или охлаждающей среды 0,8...0,9 МПа применяются гладкие рубашки, при давлениях до 2,7 МПа – змеевиковые рубашки, изготовленные из прокатных профилей: труб, уголков и т. п., а также рубашки с вмятинами и другие, например каркасные.

Рассмотрим конструкции теплообменных устройств, применяемых для охлаждения или обогрева полимеризаторов.

4.1. Рубашки

Их, как правило, приваривают к корпусу реактора или делают съемными, когда приварка их невозможна (например, для аппаратов изготовленных из чугуна), а также когда необходим постоянный контроль за поверхностью теплообмена. Различают гладкие рубашки змеевиковые с вмятинами.

4.1.1. Гладкие рубашки

Такая рубашка по своей конструкции повторяет по форме обогреваемый реактор (рис. 2.4.1).

Рубашки выполняются стальными из листовой стали и стандартных выпуклых днищ, т. е. так же, как стальные котлы.

Обычно рубашку приваривают на 80...150 мм ниже соединения крышки с корпусом, но в некоторых случаях, когда коэффициент заполнения аппарата невелик, а обогрев (охлаждение) верхней части незаполненной его части нежелателен, рубашку делают небольшой по высоте.

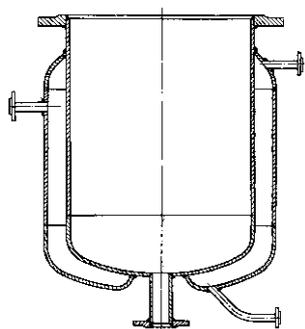


Рис. 2.4.1. Гладкая рубашка

В пространство между конусом реактора и рубашкой подается теплоноситель. Пар подают в нее через верхний штуцер, а конденсат отводят через нижний. Жидкие теплоагенты обычно вводят через нижний штуцер, а выводят через верхний.

Диаметр рубашки обычно принимают на 50...100 мм больше диаметра реактора. Таким образом, зазор между корпусом аппарата и рубашкой колеблется в пределах от 25 до 100 мм. Зазоры между стенками стараются сделать минимальными, чтобы увеличить скорость теплоагента.

Большие зазоры характерны для парообразных теплоносителей.

Крепление гладких рубашек к корпусу реакторов может быть разъемным и неразъемным.

Разъемное крепление применяют для аппаратов, работающих в тяжелых условиях, когда необходимо периодически контролировать поверхность нагрева, очищать ее. Конструкция разъемного крепления рубашки к корпусу литого полимеризатора представлена на рис. 2.4.2.

Недостатком такой конструкции является наличие дополнительного фланцевого соединения, что ведет к дополнительному расходу материалов и увеличению веса реактора (рис. 2.4.3).

К котлу приваривается фланец 3, к которому на болтах крепится рубашка. Этот второй фланец 3 приваривается на 5...10 см ниже уровня жидкости в аппарате.

Следует заметить, что фланец для крепления рубашки на чугунных аппаратах отливается заодно с корпусом. Этот способ крепления позволяет легко осуществить монтаж и демонтаж рубашки.

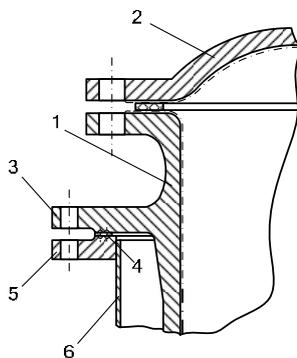


Рис. 2.4.2. Конструкция разъемного крепления рубашки к корпусу литого аппарата:

- 1 – корпус реактора; 2 – крышка;
- 3 – фланец; 4 – прокладки; 5 – фланец рубашки; 6 – обечайка рубашки.

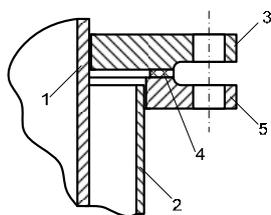


Рис. 2.4.3. Конструкция съемного крепления рубашки к корпусу сварного аппарата:

1 – корпус аппарата; 2 – обечайка рубашки; 3 – фланец; 4 – прокладка; 5 – фланец рубашки.

менения дорогостоящей оснастки. Недостатком этой конструкции является высокая концентрация напряжений в месте приварки кольца к корпусу и рубашке, а также повышенный расход металла и увеличение веса реактора. Поэтому более удобны плавные закругленные переходы, называемые воротниками, которые являются компенсаторами термических удлинений (рис. 2.4.4а). Кстати, этот компенсатор необходим и тогда, когда корпус изготовлен из стали X18H9T, а рубашка – из Ст. 3.

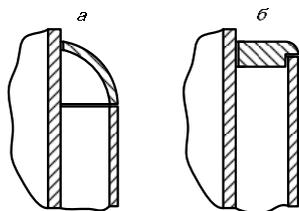


Рис. 2.4.4. Способы приварки рубашки к корпусу аппарата: а – с помощью отбортовки; б – с помощью приварного кольца.

При небольшом различии линейных удлинений рубашки и корпуса возможна приварка штуцера одновременно к корпусу и рубашке, как показано на рис. 2.4.5а.

Если требуется, чтобы рубашка полностью покрывала боковую поверхность реактора, то рубашку крепят прямо к фланцу аппарата.

Более простым и надежным является неразъемное соединение крышки реактора с обечайкой рубашки, что достигается сваркой. Приварку осуществляют с помощью отбортовки (рис. 2.4.4а) или приварного кольца (рис. 2.4.4б).

Крепление рубашек к кольцу экономически выгодно в условиях мелкосерийного и индивидуального производства, так как не требует применения

дорогостоящей оснастки. Для изготовления воротников (отбортовки) требуется специальная оснастка, что экономически выгодно при серийном их производстве.

При больших давлениях в рубашке, особенно при отсутствии крепления рубашки к днищу аппарата, когда уравниваются силы давления, стремящиеся вытолкнуть корпус аппарата из рубашки, это соединение не применимо.

Наличие рубашки усложняет крепление нижнего спускного штуцера.

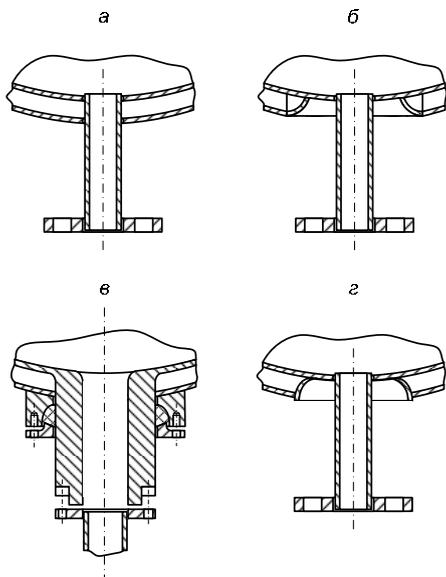


Рис. 2.4.5. Нижние спуски аппаратов с рубашками:
а – приварка нижнего штуцера к корпусу и рубашке аппарата; *б* – приварка нижнего штуцера к корпусу аппарата; *в* – сальниковое уплотнение нижнего штуцера чугунного аппарата; *г* – рубашка с линзовым компенсатором.

Наиболее удобна конструкция, показанная на рис. 2.4.5*б*, так как всегда можно проверить состояние шва приварки штуцера к корпусу. Для чугунных реакторов наиболее приемлема конструкция, показанная на рис. 2.4.5*в*.

Для удаления инертных газов, создающих подушку, которая исключает часть теплообменной поверхности из процесса теплообмена, в верхней части рубашки предусматривается продувочный штуцер.

Гладкая рубашка изготавливается из углеродистой стали. Однако следует учитывать, что приварка углеродистой стали к корпусу из нержавеющей стали небольшой толщины (3...6 мм) может ухудшить антикоррозионные свойства металла корпуса. Поэтому, когда среда обладает значительной агрессивностью или требуется высокая чистота продукта, приварка рубашки из Ст.3 к корпусу аппарата из X18H9T, например без промежуточной детали из нержавеющей стали (рис. 2.4.5*г*), недопустима.

4.1.2. Змеевиковая рубашка

В тех случаях, когда не требуется большой поверхности теплообмена или когда теплоноситель находится под большим давлением, применяют приварные теплообменные элементы в виде труб (рис. 2.4.6а) или полутруб (рис. 2.4.6б). Возможно также применение приварных элементов из проката – швеллеров (рис. 2.4.6в) или уголков (рис. 2.4.6г), но при низком давлении теплоагентов.

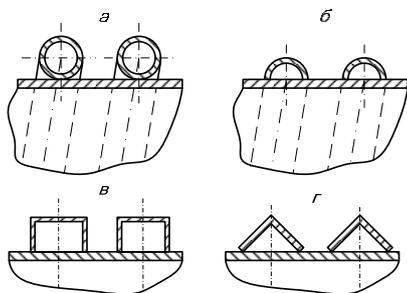


Рис. 2.4.6. Приварные теплообменные элементы:
а – трубы; б – полутрубы; в – швеллеры;
г – уголки.

Змеевиковая рубашка представляет собой спираль из прокатного профиля, приваренную к корпусу реактора. Приваривать виток к витку не следует, так как это ведет лишь к перерасходу металла, усложняет изготовление аппарата, повышает гидравлическое сопротивление теплообменного устройства.

Участок внутренней поверхности корпуса между витками рубашки можно рассматривать как ребра, от шага змеевика зависит длина ребер. Реакторы с такой рубашкой легче,

чем аппараты с гладкими рубашками, так как толщина корпуса и рубашки в первом случае меньше, чем во втором.

Приварные элементы располагаются на поверхности аппарата по-разному – в виде спирали, навитой на цилиндрический корпус аппарата, или зигзагообразно по образующей цилиндра.

Минимальное расстояние между приварными элементами определяют из условий доступа к сварным швам.

На тактике обычно нет необходимости устанавливать теплообменные элементы очень близко друг к другу, так как благодаря хорошей теплопроводности металла участок стенки, прилегающей к приварному элементу, также участвует в теплообмене, причем чем больше толщина стенки, тем значительнее тепловой поток, расходящийся по стенке в стороны от приварного элемента.

Преимуществом змеевиковых рубашек по сравнению с гладкими является также более высокая скорость теплоносителя, что позволяет интенсифицировать теплообмен со стороны теплоносителя к стенке ру-

башки, когда коэффициенты теплоотдачи либо одинаковы, либо отличаются незначительно.

Недостатком змеевиковой рубашки является большой объем сварочных работ. Кроме того, приварка такой рубашки из углеродистой стали к корпусу из нержавеющей стали толщиной меньше 5 мм, резко снижает антикоррозионные свойства металла корпуса полимеризатора.

4.1.3. Рубашки с вмятинами

При значительном диаметре аппарата и повышенном давлении в рубашке толщина стенки аппарата, нагруженного наружным давлением, получается значительной. Чтобы уменьшить толщину стенки, применяют рубашки с вмятинами (рис. 2.4.7).

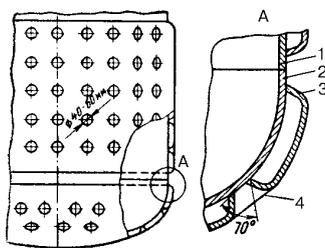


Рис. 2.4.7. Рубашка с вмятинами:
1 – обечайка; 2 – днище.

Для этого на их поверхности делают круглые отверстия, края которых отгибают и приваривают к корпусу аппарата. Корпус реактора оказывается жестко связанным с корпусом рубашки. Расстояние между корпусом рубашки и стенкой корпуса реактора должно быть не более 20...30 мм, чтобы облегчить отбортовку краев отверстий. Шаг между вмятинами выбирается в пределах 100...300 мм, в зависимости от давления в рубашке.

Рубашку с вмятинами применяют при давлении теплоносителя 3...4 МПа.

При расчете аппарата на прочность стенку его можно рассматривать как состоящую из отдельных пластин, укрепленных анкерными связями. Это позволяет уменьшить толщину стенки полимеризатора и рубашки.

Интенсификация теплообмена в такой рубашке невелика по сравнению со змеевиковой рубашкой. Однако объем сварочных работ при изготовлении такой рубашки по сравнению со змеевиковой значительно меньше.

Если толщина стенки реактора, выполненная из нержавеющей стали, меньше 5 мм, то после приварки рубашки с вмятинами могут ухудшаться антикоррозионные свойства металла стенки полимеризатора.

Недостатком такой конструкции рубашки является также большой объем работ по отбортовке отверстий, выполняемых вручную. Достоин-

ство – возможность значительно снизить толщину стенки как корпуса реактора, так и рубашки.

4.1.4. Каркасная рубашка

Такая рубашка приваривается к кольцам жесткости, выполненных из уголков или полос (рис. 2.4.8).

Расстояние между кольцами жесткости выбирается таким образом, чтобы обечайка корпуса в пролете между ними работала в условиях простого сжатия. Это позволяет изготовить корпус реактора минимальной толщины, как и в случае змеевиковой рубашки. При расстоянии между кольцами жесткости менее 300...400 мм можно применять более длинные обечайки рубашки.

В каркасных рубашках интенсифицируется теплообмен со стороны теплоносителей, но этот эффект ниже, чем в змеевиковых рубашках. Объем сварочных работ значительно меньше, чем при изготовлении змеевиковой рубашки.

Каркасные рубашки можно выполнять со спиральным током теплоносителя или перетоком теплоносителя из канала в канал (рис. 2.4.8).

При продольном расположении ребер жесткости каркасные рубашки выполняются в виде отдельных цилиндрических пластин.

4.2. Змеевики и стаканы

Эти теплообменные устройства устанавливаются внутри полимеризаторов при недостаточной внешней поверхности теплообмена и невысокой вязкости реакционной массы (рис. 2.4.9).

Змеевики обычно изготавливают из стальных, алюминиевых или свинцовых труб. Витки змеевиков крепятся к специальным стойкам хомутиками (рис. 2.4.10).

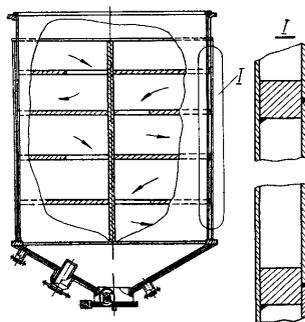


Рис. 2.4.8. Каркасная рубашка

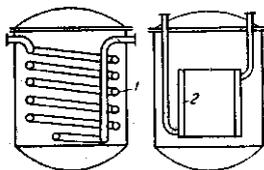


Рис. 2.4.9. Внутренние поверхности теплообмена реакторов:

1 – змеевик; 2 – внутренний стакан.

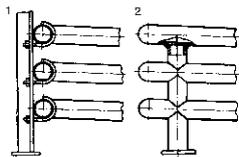


Рис. 2.4.10. Способы крепления змеевика в аппарате:

1 – крепление к стойке с помощью хомутов; 2 – соединение витков с помощью отрезков труб.

Длинные змеевики применять невыгодно, так как в нижних витках при паровом обогреве может скапливаться конденсат, в результате чего значительная часть поверхности змеевика не участвует в процессе теплообмена.

Из длинных змеевиков также затруднительно удалить инертные газы. Обычно змеевики делают на несколько секций, включаемых параллельно, но это усложняет их конструкцию.

Стаканы изготавливаются из листовой стали и могут применяться при более высокой вязкости, чем змеевики. Однако удельная поверхность теплообмена стакана ниже, чем змеевика.

4.3. Методы обогрева полимеризаторов

Обогрев реакторов жидкими и парообразными теплоносителями может быть местным, циркуляционным и смешанным.

При *местном обогреве* источник тепла находится непосредственно в рубашке. Обычно он представляет собой пакет электрообогревательных элементов. При этом методе обогрева можно применять лишь гладкие рубашки. При *циркуляционном обогреве* теплоноситель подогревается в котле и циркуляционным насосом подается в рубашку, откуда обратно поступает в котел. Недостаток – наличие циркуляционной системы и трубопроводов, что обуславливает повышенное выделение тепла в окружающую среду. Обогрев полимеризаторов электрическим током можно разделить как на обогрев при помощи электропатронов, в которых

Трубы змеевиков выводят через крышку или стенку и крепятся к штуцерам аппаратов (рис. 2.5.11).

При этом труба змеевика 1 с помощью фланца 3 крепится болтами к фланцу 4 штуцера 5. Верхний фланец 2 служит для соединения змеевика с фланцем трубопровода, подводящего или отводящего теплоноситель или хладагент.

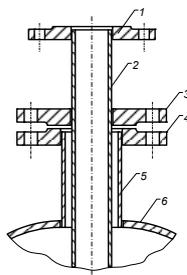


Рис. 2.4.11. Вывод змеевика через крышку аппарата:

1 – труба змеевика; 2 – верхний фланец змеевика; 3 – нижний фланец змеевика; 4 – фланец штуцера; 5 – штуцер; 6 – крышка аппарата.

разогреваются спирали за счет сопротивления последних, так и индукционный обогрев.

Индукционный обогрев применяется для больших аппаратов. Снаружи или внутри аппарата устанавливается индуктор, который генерирует индукционные токи в стенке аппарата, вследствие чего стенка аппарата равномерно разогревается.

Способ обогрева и охлаждения аппарата зависит в первую очередь от температуры процесса, а также от свойств выбранных теплоносителей или хладагентов. Наиболее распространенными теплоносителями являются водяной пар, электрический ток, топочные газы и другие.

Водяной пар

Преимуществами его являются легкость и точность регулирования температуры, компактность установок, высокий коэффициент теплоотдачи и высокий коэффициент полезного действия. Недостатки – невозможность достижения высоких температур порядка 200...250°С и необходимость применения греющих элементов, рассчитанных на давление.

Электрообогрев

Электрообогрев является наиболее удобным способом нагревания. Он дает возможность достигать высоких температур, легко и точно их регулировать. Установки с использованием электрообогрева работают с КПД до 95%.

Топочные газы

Топочные газы применяют в качестве высокотемпературных теплоносителей. Практически температура, достигаемая при использовании топочных газов, составляет 700...1000°С. Их получают сжиганием в печах природного или генераторного газа. Нагревание топочными газами отличается существенными недостатками: трудность точного регулирования температуры, низкий КПД и низкий коэффициент теплоотдачи, громоздкость обогреваемых установок.

Дифенильная смесь

Дифенильная смесь, представляющая собой 26,5% дифенила и 73,5% дифенилового эфира, используется в тех случаях, когда требуется нагрев до 250...380°С. Достоинствами этого теплоносителя являются простота и точность регулирования температуры, возможность передачи на большие расстояния.

Перегретая вода

Этот теплоноситель применяют для нагревания до температур порядка 350°C. В этих условиях вода находится в состоянии, близком к критическому (температура 375°C и давление 22,5 МПа).

В качестве хладагентов используют воду и холодные рассолы. Охлажденная вода имеет температуру 10...20°C, что дает возможность охлаждения до 15...25°C.

Применение холодных рассолов позволяет производить охлаждение до более низких температур, порядка -10°C.

Для отвода тепла при высоких температурах (150...500°C) используют воздух или расплавы солей, например, нитрит-нитратную смесь, состоящую из 7% NaNO₃, 40% NaNO₂ и 53% KNO₃.

Требования к теплоносителям:

- достижение высоких температур при низких давлениях;
- большая химическая стойкость;
- отсутствие коррозионного воздействия;
- высокий коэффициент теплоотдачи;
- большая теплота испарения;
- низкая температура плавления;
- взрыво- и огнебезопасность;
- отсутствие токсичных свойств;
- дешевизна и доступность.

4.4. Заключение

Необходимость проектирования поверхностей теплообмена диктуется тем, что в реакциях синтеза полимеров выделяется большое количество тепла, которое необходимо отводить из реакционной зоны.

Для этой цели используют наружные и внутренние поверхности теплообмена. Конструкции теплообменных устройств реакционной аппаратуры зависят от параметров сред, используемых для обогрева и охлаждения реакционной массы.

При конструировании рубашек необходимо считаться с температурными напряжениями, возникающими в стенках рубашки. В случае необходимости на рубашку устанавливают температурный компенсатор.

Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях рекомендуется применять гладкие рубашки и рубашки со вмятинами (змеевиковые)?
2. Приведите эскиз гладкой рубашки и ее характеристики.
3. Как определить поверхность теплообмена?
4. Приведите эскизы змеевиков и стаканов и их крепление к корпусу реактора.
5. Каковы методы обогрева реакторов?
6. Приведите эскиз змеевиковой рубашки и ее характеристики.
7. Приведите эскиз каркасной рубашки.
8. Каковы методы интенсификации теплообмена в реакторе?
9. Приведите эскиз рубашки с вмятинами.

В технологии высокомолекулярных соединений перемешивание применяют для улучшения тепло- и массообмена, получения равномерных смесей нескольких жидкостей, жидкости и твердого тела, жидкости и газа. Хотя основной задачей перемешивания в большинстве случаев является равномерное распределение вещества или температуры в перемешиваемом объеме, иногда задача перемешивания заключается в создании высоких скоростей среды около теплообменных поверхностей с целью интенсификации теплообмена.

5.1. Способы перемешивания

Известны несколько видов перемешивания:

- механическое;
- циркуляционное;
- барботажное.

Барботажное перемешивание осуществляется путем барботажа инертного газа или газообразных веществ через жидкость.

Циркуляционное перемешивание происходит за счет больших скоростей движения реакционной массы (насосом). Это перемешивание целесообразно применять в том случае, когда имеется необходимость отвода тепла через развитую поверхность теплообмена, т. е. через выносной теплообменник.

Механическое перемешивание в жидкой среде, а также пастообразных и вязких материалов осуществляется с помощью мешалок, которые по конструктивной форме в зависимости от устройства лопастей разделяются на лопастные, листовые, якорные, рамные, турбинные, пропеллерные и специальные.

Все они состоят из трех основных частей: вала, на котором закреплена мешалка (рис. 2.5.1), мешалки, являющейся рабочим элементом, и привода, с помощью которого вал приводится в движение за счет механической энергии.

В зависимости от числа оборотов мешалки условно делят на тихоходные и быстроходные. К тихоходным относят лопастные, рамные,

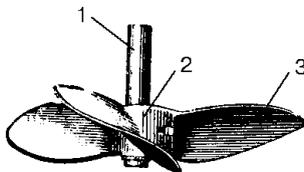


Рис. 2.5.1. Основные части мешалок:
1 – вал мешалки; 2 – втулка; 3 – лопасть мешалки.

якорные и листовые, имеющие число оборотов не более 80...100 об/мин. К быстроходным – турбинные и пропеллерные.

При выборе типа мешалки и ее параметров учитывают требования процесса, свойства жидкости, такие как вязкость, наличие осадков и т. д., форму аппарата и другие факторы.

К сожалению, отсутствуют единые критерии для выбора мешалки. Обычно при этом руководствуются производственным опытом или лабораторными исследованиями. В некоторой степени можно предложить следующие рекомендации.

5.2. Лопастные мешалки

Лопастные мешалки (рис. 2.5.2) применяются при перемешивании жидких неоднородных систем вязкостью до 15 Па·с и удельным весом до 2000 кг/м³.

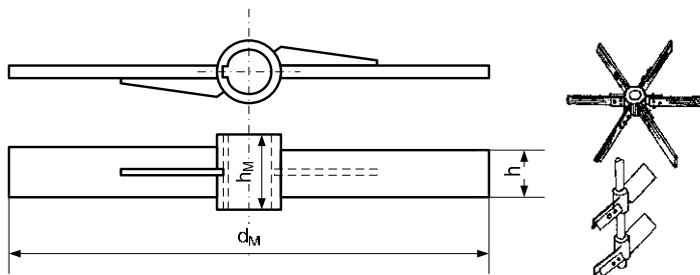


Рис. 2.5.2. Лопастные мешалки

Основные соотношения размеров для аппаратов с плоским дном $d_M = 0,7 \cdot D$; $h \cong 0,1 \cdot d_M$; $h_M = 0,14 \cdot d_M$.

Рекомендуемые предельные значения окружных скоростей конца лопасти мешалки в зависимости от вязкости среды по данным НИИХИМ-МАШ приведены в табл. 2.5.1.

Таблица 2.5.1

Рекомендуемые значения окружных скоростей лопастных мешалок

Вязкость, Па·с	Окружная скорость, м/с
0,001...40	3,0...2,0
40...80	2,5...1,5
80...150	1,5...1,0

При высоте сосуда, превышающей диаметр, или при перемешивании вязкой жидкости по высоте вала устанавливают несколько пар лопастей (рис. 2.5.2).

При перемешивании очень вязких жидкостей на стенках сосуда устанавливают радиально расположенные перегородки, над которыми проходят лопасти мешалки. При этом поток дробится и повышается эффективность работы мешалки. Максимальный эффект турбулизации потока достигается при применении четырех перегородок высотой $(0,11 \dots 0,13) \cdot D$ где D – диаметр аппарата. Перегородки препятствуют образованию центральной воронки, а также увлечению жидкости вращающимися лопастями, что может привести к прекращению эффекта перемешивания.

Установка слишком длинных лопастей нерациональна, так как с возрастанием линейных размеров лопасти быстро растет потребляемая мощность. Нормализованные диаметры мешалок – 700...2100 мм.

Недостатки таких мешалок – малая интенсивность перемешивания и отсутствие значительных вертикальных потоков, вследствие чего их не рекомендуется применять для взмучивания тяжелых осадков и работы с расслаивающимися жидкостями.

Достоинства лопастных мешалок: они просты по конструкции, обеспечивают удовлетворительное перемешивание при работе с вязкими жидкостями, могут применяться в аппаратах значительного объема.

5.3. Рамные мешалки

Они представляют собой комбинацию лопастных мешалок с вертикальными и наклонными лопастями. Внешний вид таких мешалок показан на рис. 2.5.3.

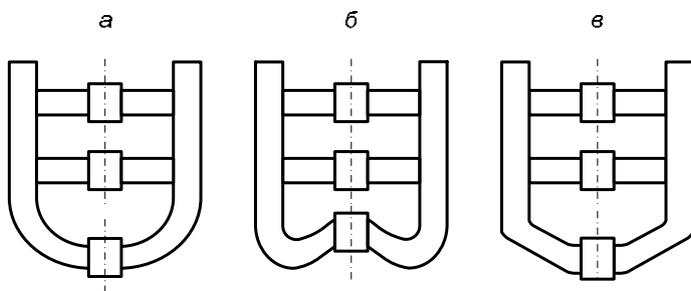


Рис. 2.5.3. Рамные мешалки:

а – для эллиптического днища; *б* – с подъемом нижней ступицы; *в* – для конического днища.

Эти мешалки применяются в тех же случаях, что и лопастные мешалки, а также при перемешивании значительных объемов вязких материалов.

Нормализованные диаметры рамных мешалок – до 2520 мм.

Эти мешалки используют в реакторах большой емкости (до 100 м³).

5.4. Якорные мешалки

Они по своей форме соответствуют сосуду, в котором они работают. Расстояние между лопастью и стенкой реактора обычно выбирают в пределах 25...140 мм. На рис. 2.5.4 представлены конструкции якорных мешалок.

Якорные мешалки предназначены для перемешивания жидкостей вязкостью 300 Па·с и выше, особенно при нагревании среды через стенку реактора.

Вследствие небольшого зазора между лопастью и стенкой сосуда возникает сильное турбулентное движение, препятствующее выпадению на стенках осадка и перегреву среды.

НИИХИММАШ рекомендует те же скорости для якорных мешалок, что и для лопастных.

Следует отметить, что при перемешивании очень вязких жидкостей якорные мешалки снабжаются дополнительными вертикальными лопастями – пальцами (рис. 2.5.4а).

5.5. Листовые мешалки

Их применяют сравнительно редко, в основном для маловязких жидкостей, интенсификации теплообмена, взвешивания твердого вещества. Конструкция мешалки приведена на рис. 2.5.5.

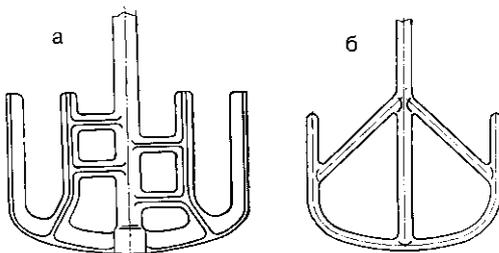


Рис. 2.5.4. Якорные мешалки:
а – литая; б – эмалированная из труб.

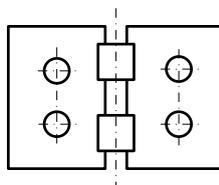


Рис. 2.5.5. Листовая мешалка

5.6. Пропеллерные мешалки

Они представляют собой обычный гребной винт с числом лопастей от двух до четырех (рис. 2.5.6).

При работе пропеллерной мешалки осуществляется интенсивная циркуляция жидкости с сильным вихревым образованием. Их рекомендуют использовать для перемешивания сред вязкостью до 2 Па·с и удельным весом до 2000 кг/м³. Окружную скорость мешалки рекомендуется выбирать в пределах 1,6...4,8 м/с.

Чтобы избежать образования воронки, вал мешалки смещают по отношению к оси аппарата на величину до $0,25 \cdot d_M$ либо устанавливают его с наклоном 10...20° к оси сосуда.

Для трудносмешиваемых вязких жидкостей применяют мешалки, состоящие из двух пропеллеров, установленных на одном валу. Оба пропеллера толкают жидкость в одну сторону или навстречу друг другу. Нормализованные диаметры мешалок 300...700 мм.

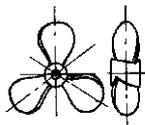


Рис. 2.5.6. Пропеллерные мешалки

5.7. Турбинные мешалки

Они относятся к быстроходным мешалкам и бывают двух типов – открытыми и закрытыми (рис. 2.5.7).

Турбинные мешалки работают по принципу центробежного насоса, т. е. всасывают жидкость в середину и за счет центробежной силы отбрасывают ее к периферии.

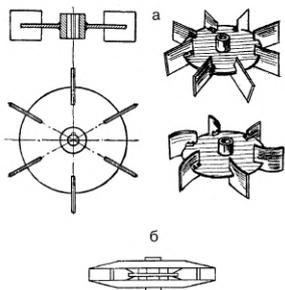


Рис. 2.5.7. Турбинные мешалки:

a – открытого типа;

б – закрытого типа.

Турбинные мешалки обеспечивают весьма интенсивное перемешивание. Их рекомендуют применять для перемешивания жидкостей вязкостью до 25 Па·с и удельным весом до 2000 кг/м³.

Закрытые турбинные мешалки мало отличаются по конструкции от колеса центробежного насоса и подразделяются в свою очередь на мешалки одностороннего и двустороннего всасывания (рис. 2.6.7б).

Открытая мешалка (рис. 2.5.7а) представляет собой диск с радиально расположенными лопатками. Они более просты по конструкции и поэтому чаще применяются в технике.

Турбинные мешалки обеспечивают весьма интенсивное перемешивание. Их рекомендуют применять для перемешивания жидкостей вязкостью до 25 Па·с и удельным весом до 2000 кг/м³.

Окружная скорость концов лопаток 3...9 м/с, причем скорость мешалок с диаметром до 300 мм – больше, чем с диаметром свыше 300 мм (см. табл. 2.5.2).

Таблица 2.5.2

Рекомендуемые окружные скорости турбинных мешалок

Вязкость, Па·с	Окружная скорость, м/с
0,001...5	7...4,2
5...15	4,2...3,4
15...25	3,4...2,3

Этот тип мешалки не подходит для реакторов большой емкости.

В полимеризаторах с турбинными мешалками обязательна установка отражательных перегородок. При отсутствии такой перегородки образуется глубокая воронка, иногда доходящая до основания мешалки, и перемешивание резко ухудшается (обычно устанавливают четыре перегородки).

5.8. Мешалки специальных типов

Наряду с перечисленными мешалками массового применения изредка применяются мешалки специфических конструкций. К ним относятся мешалки для перемешивания высоковязких полимерных сред, а также импеллерные мешалки, которые применяют для обеспечения хорошего контакта газа с жидкостью при одновременном интенсивном перемешивании.

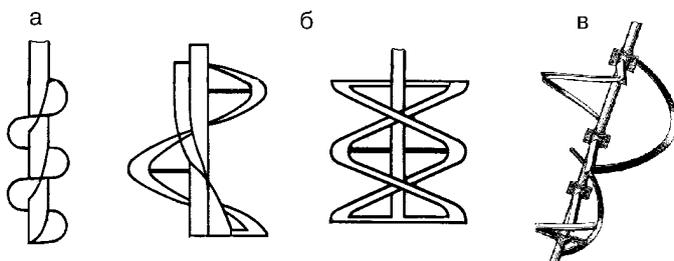


Рис. 2.5.8. Мешалки для перемешивания высоковязких сред:

a – шнековая; *б* – ленточная; *в* – спиральная.

Шнековые, ленточные и спиральные мешалки (рис. 2.5.8) используют для перемешивания псевдопластичных жидкостей большой вязкости до 300 Па·с.

Для хорошего перемешивания газов с жидкостями применяют импеллерные мешалки (рис. 2.5.9). Вал импеллерной мешалки помещен внутри трубы 1, по которой подается воздух под небольшим избыточным давлением (в некоторых конструкциях воздух всасывается при вращении мешалки).

На мешалке имеется ряд лопастей 3, а на конце трубы установлен статор с лопастями 2. Наличие двух рядов лопастей, подвижного и неподвижного, обеспечивает хорошее перемешивание жидкости и газа.

5.9. Конструирование и изготовление мешалок

Мешалки изготовляют из различных металлических и неметаллических материалов, обладающих достаточной механической прочностью.

Наиболее распространены сварные перемешивающие устройства, выполненные из легированной стали. Мешалки сложной конфигурации отливают из чугуна.

В простейших конструкциях лопасти приваривают, непосредственно к валу. Однако, как правило, рабочие элементы крепятся на валу с помощью разъемных соединений.

Обычно к ступице приваривают лопасти. Ступица крепится на валу с помощью шпонки и стопорных устройств, препятствующих осевому смещению.

В случае установки мешалки в середине вала ее закрепляют стопорным винтом, как показано на рис. 2.5.10а, а при установке на конце вала – концевой гайкой или с помощью полуколец (рис. 2.5.10б и в).

При конструировании мешалок необходимо учитывать условия их монтажа. Мешалки небольших аппаратов диаметром 1200 мм и менее обычно собирают совместно с крышкой и вместе с ней устанавливают в реактор.

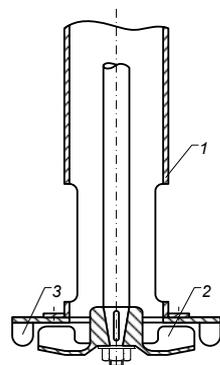


Рис. 2.5.9. Импеллерная мешалка:
1 – центральная труба;
2 – лопасти статора; 3 – лопасти мешалки (ротора).

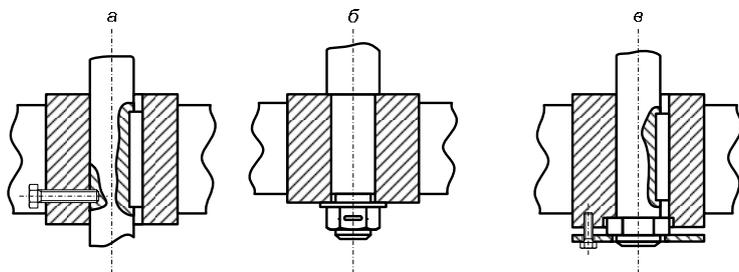


Рис. 2.5.10. Способы крепления мешалок на валу:

а – с помощью стопорного винта; *б* – с помощью концевой гайки; *в* – с помощью полуколец.

Мешалки для крупногабаритных аппаратов целесообразно делать разборными из частей таких размеров, которые можно пронести через лаз аппарата. Это дает возможность разбирать мешалку при ремонтных и монтажных работах, не снимая крышку и привод. В цельносварных аппаратах мешалка обязательно должна быть разборной.

Необходимо иметь в виду, что резьбовые соединения внутри химических реакторов работают в очень тяжелых условиях. Резьба легко загрязняется и корродирует даже при действии слабых коррозирующих сред. Поэтому во многих случаях части мешалок изготавливают из нержавеющей стали.

Открытые турбинные мешалки выполняют сварными (рис. 2.5.7*а*). Лопасти приваривают к диску, который, в свою очередь, сварен со ступицей.

Применение полимерных материалов для мешалок ограничено их низкой механической прочностью. Более распространены стальные мешалки, защищенные антикоррозионными покрытиями, или комбинированные – из стального вала и неметаллических лопастей.

5.10. Приводы мешалок

Быстроходные мешалки при значительном числе оборотов (400...500 об/мин) и выше соединяются с электродвигателем через клиноременную передачу, а в некоторых случаях они могут быть установлены и на одном валу с электродвигателем. Однако обычно привод осуществляется от электродвигателя через редуктор.

Приводы мешалок могут снабжаться коническим, червячным, цилиндрическим или планетарным редуктором (рис. 2.5.11). Приводы с коническим и червячным редукторами имеют горизонтальный быстроходный вал, соединенный с электродвигателем через муфту или клиноременную передачу.

Конические и особенно червячные приводы до недавнего времени широко применялись для аппаратов с мешалками. В настоящее время выпускают планетарные приводы (рис. 2.6.11 α). Они компактны, надежны в работе, имеют высокий КПД и применяются в значительном диапазоне чисел оборотов и мощностей приводов.

Недостатком такого привода является отсутствие возможности изменять число оборотов мешалки во время работы. Изменение числа оборотов мешалки необходимо во многих случаях: при изменении консистенции перемешиваемой массы, при обработке нового, еще не изученного процесса, а также когда режим перемешивания должен меняться во времени.

Приводы мешалок, работающих во взрывоопасных цехах, снабжают взрывобезопасными электродвигателями. В помещениях, содержащих особо взрывоопасные вещества, установка электродвигателей иногда вообще исключается. Двигатель приходится выносить в соседнее взрывобезопасное помещение, а передача осуществляется с помощью горизонтального вала, проходящего через стену, разделяющую помещения. Вал в стене уплотняют сальником.

Приводы мешалок устанавливают на стойку, которую в свою очередь крепят к аппарату, для чего к его крышке приваривают толстые пластины. Стойки делают чугунными или стальными сварными (рис. 2.5.12).

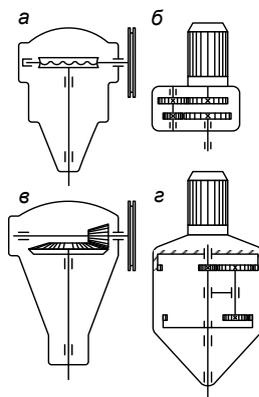


Рис.2.5.11. Кинематические схемы приводов мешалок:
а – червячный редуктор;
б – цилиндрический редуктор;
в – конический редуктор;
z – планетарная передача.

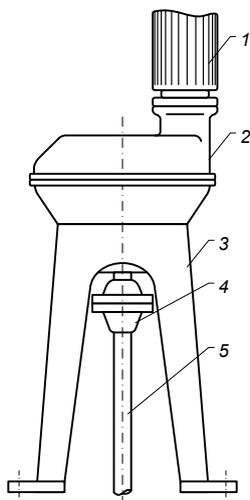


Рис. 2.5.12. Стойка с электродвигателем:

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – стойка; 4 – муфта; 5 – вал.

Для улучшения работы вала мешалки устанавливают концевой подшипник (подпятник) или промежуточные подшипники в верхней части вала мешалки. Промежуточные подшипники устанавливают внутри стойки, вследствие чего высота ее значительно увеличивается (рис. 2.5.13).

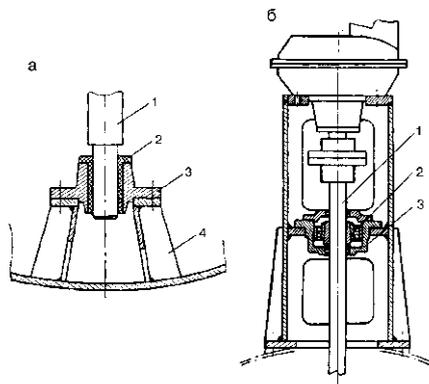


Рис. 2.5.13. Конструктивные схемы установки валов мешалок:

а – с концевым подшипником; *б* – с одним промежуточным подшипником;

1 – вал мешалки; 2 – подшипник; 3 – втулка; 4 – стойка.

С точки зрения распределения нагрузок наиболее рациональны приводы с концевыми подшипниками, однако во многих случаях из-за коррозионного или абразивного действия среды их нельзя использовать. Нельзя их использовать и в полимерной среде.

Крутильные колебания вызывают разнос подшипников и воздействуют на сальник. Концевой подшипник устраняет крутильные колебания, улучшая работу сальника и подшипников. Его применение необходимо при большой длине вала или высокой частоте его вращения.

Следует заметить, что перемешивание можно производить также путем барботажного сжатого воздуха или пара через реакционную среду. Преимуществом этого метода является простота и отсутствие электропривода, а недостатком – малая эффективность перемешивания.

Осуществляют перемешивание и путем циркуляции жидкости с помощью центробежных насосов. Для циркуляции применяют как погружные насосы, так и установленные отдельно от аппарата. Интенсивность перемешивания в данном случае оценивается кратностью циркуляции, т. е. отношением производительности насоса к объему реактора.

5.11. Расчет мешалок

Расчет мешалок заключается в определении потребляемой мощности, выборе двигателя, прочностном расчете мешалки и вала.

Мощность, потребляемая мешалкой, равна

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5 \text{ Вт,}$$

где K_N – критерий мощности, величина которого выбирается по соответствующим таблицам и номограммам в зависимости от типа мешалки и числа Рейнольдса; ρ – плотность жидкости, кг/м³; n – число оборотов мешалки, об/с; d_M – диаметр мешалки, м.

Мощность двигателя в кВт определяют из соотношения

$$N_{\text{дв}} = \frac{N + N_C}{\eta},$$

где N – мощность, потребляемая мешалкой, кВт; N_C – потери мощности на трение в сальнике, кВт; η – КПД привода.

По величине $N_{\text{дв}}$ подбирают привод. Мощность N_C , расходуемая на трение в сальнике для уплотнений с мягкой набивкой:

$$N_C = 1,48 \cdot f \cdot n \cdot d_M^2 \cdot l \cdot P$$

где f – коэффициент трения вала по мягкой набивке, равный 0,2; d_M – диаметр вала, м; n – число оборотов мешалки, об/с; l – длина набивки, м; P – рабочее давление в аппарате, Па.

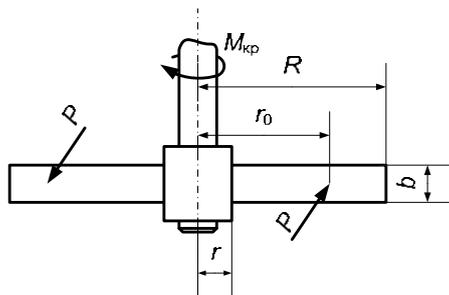


Рис. 2.5.14. Схема нагрузок на двухлопастную мешалку

Лопастей мешалки рассчитывают на изгиб (рис. 2.5.14). Для лопастей прямоугольной формы равнодействующая сил сопротивления приложена в точке, расстояние которой от оси вала составляет

$$r_0 = \frac{3}{4} \cdot \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3},$$

где R – радиус лопасти, м; r – радиус ступицы, м.

Величина равнодействующей силы равна

$$P = \frac{M_{кр}}{r_0 \cdot z},$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на валу, z – число лопастей на валу.

Для наклонной лопасти (рис. 2.5.15) сила, действующая перпендикулярно плоскости лопасти равна

$$P_1 = \frac{P}{\cos \alpha},$$

где α – угол наклона лопасти.

Момент сопротивления лопасти определяют из условия прочности

$$W = \frac{M_{изг}}{[\sigma]}.$$

Для лопасти прямоугольного сечения момент сопротивления равен

$$W = \frac{b \cdot s^2}{6}.$$

Отсюда толщина лопасти равна $s = \sqrt{\frac{6 \cdot W}{b}}.$

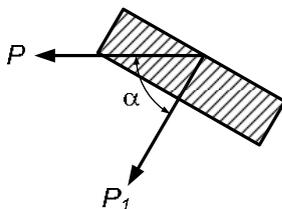


Рис. 2.5.15. Усилия, действующие на наклонную лопасть

Имеется нормаль НИИХИММАШ на расчет прочности мешалок.

5.12. Заключение

Основная задача перемешивания заключается в равномерном распределении вещества или температуры в перемешиваемом объеме. Иногда перемешивание служит для эмульгирования одной жидкости в другой или диспергирования твердой фазы, а иногда для создания больших скоростей среды около теплообменных поверхностей с целью интенсификации теплообмена.

Применение перемешивающих устройств способствует ускорению технологического процесса, гомогенизации реакционной массы, улучшению качества получаемого продукта и стабильности его физико-химических свойств.

При получении полимеров наиболее часто используют механические перемешивающие устройства якорного, рамного, лопастного и турбинного типа. Выбор перемешивающего устройства для того или иного производства полимеров зависит от вязкости реакционной массы.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте виды перемешивания.
2. Из каких деталей состоит мешалка?
3. Приведите способы крепления мешалок на валу.
4. Каковы характеристики и области применения лопастных мешалок?
5. Приведите основные типы мешалок для перемешивания высоковязких сред.
6. Каковы характеристики и области применения турбинных мешалок?
7. Какова конструкция якорных мешалок?
8. Каковы конструктивные схемы установки валов мешалок?
9. Какова конструкция рамных мешалок?
10. Какие параметры определяют при расчете мешалок?
11. Приведите кинематические схемы приводов мешалок.

Глава 6. Уплотнения вращающихся валов

Для проведения полимеризации, для тепло- и массообмена реакционной среды в аппаратах устанавливают перемешивающие устройства – мешалки. Валы мешалок выводят из реакторов через приспособления, называемые *узлами уплотнения*.

Узлы уплотнения должны обеспечивать возможность свободного вращения вала мешалки и не пропускать наружу газы и пары, находящиеся в аппарате под давлением или не пропускать воздух в реактор, работающий под вакуумом.

Для уплотнения вращающихся валов применяют сальниковые и торцовые уплотнения, бессальниковые приводы. Рассмотрим кратко устройство этих уплотнений.

6.1. Сальниковые уплотнения

В технике используют весьма разнообразные сальники, однако сальники обычных реакционных аппаратов по устройству однотипны. Они состоят из сальниковой коробки, нажимной втулки, грундбоксы и уплотнительного материала. На рис. 2.6.1 показано типовое сальниковое уплотнение.

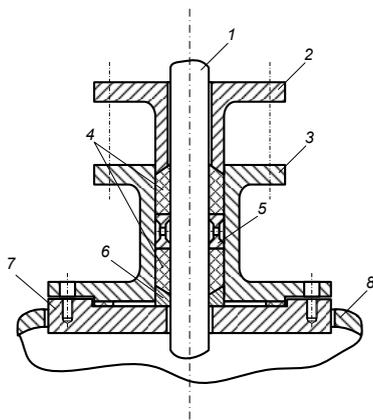


Рис. 2.6.1. Сальниковое уплотнение:

- 1 – вал мешалки; 2 – нажимная втулка; 3 – сальниковая коробка;
- 4 – уплотнительный материал; 5 – кольцо металлическое; 6 – грундбоксы;
- 7 – бобышка; 8 – крышка реактора.

Следует заметить, что чистота обработки вала под сальниковое уплотнение должна быть высокой.

Назначение грундбуксы – направлять вал мешалки, т. е. препятствовать его вибрации и колебаниям при вращении, а также поддерживать уплотнительный материал. Грундбуксу изготавливают из мягкого металла, чтобы вал, соприкасающийся с ней, меньше снашивался.

Сальниковая коробка отливается из чугуна и прикрепляется шпильками к стальной крышке реактора. Если крышка аппарата выполнена из чугуна, то сальниковая коробка отливается вместе с крышкой. В сальниковую коробку вставляют бронзовую грундбуксу и прочно ее закрепляют при помощи стопорного винта (на рис. 2.6.1 не показан).

Зазор между валом мешалки и сальниковой коробкой заполняется уплотняющей набивкой, в качестве которой применяют льняную пленку, асбестовый шнур или хлопчатобумажные шнуры круглого или квадратного сечения, пропитанные маслом, воском, синтетическими материалами или графитом. При больших числах оборотов мешалки, высоких давлениях и температурах используют сальники с твердой набивкой, выполненной из разрезанных колец цветного металла, твердых пластмасс или прессованного графита, фторопласта-4.

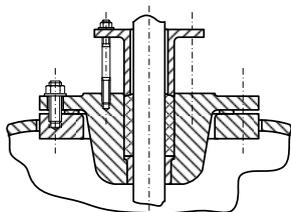


Рис. 2.6.2. Сальниковое уплотнение, погруженное внутрь аппарата

Нажимная втулка крепится к сальниковой коробке посредством нескольких шпилек (обычно две или четыре). При наличии двух шпилек фланцы нажимной втулки имеют форму эллипса, а при четырех шпильках – форму окружности.

Сальники обычно устанавливают на бобышках. Сальниковая коробка может находиться вне аппарата или быть утоплена внутрь, как показано на рис. 2.6.2.

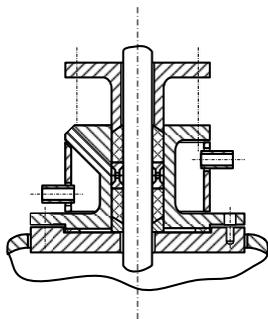


Рис. 2.6.3. Сальниковое уплотнение с охлаждением

Хотя сальник, утопленный в реактор, и позволяет несколько уменьшить высоту привода, эту конструкцию нельзя признать удачной, так как обслуживание сальника затруднено. Особенно нежелательно применять такой сальник при высокой температуре в реакторе.

При высокой температуре среды или значительном выделении тепла за счет трения сальник охлаждается с помощью водяной рубашки (рис. 2.6.3).

Сальниками также снабжаются автоклавы. Они относятся к наиболее ответственным и капризным деталям автоклавов. Обычно для автоклавов применяются два типа сальников: одинарные (рис. 2.6.4), предназначенные для работы под давлением 1,0...1,5 МПа и мало отличающиеся от сальниковых уплотнений обычных реакционных аппаратов, рассмотренных нами ранее, и двойные сальники, эксплуатация которых возможна при более высоких давлениях. При использовании двойных сальников достигается более надежное уплотнение.

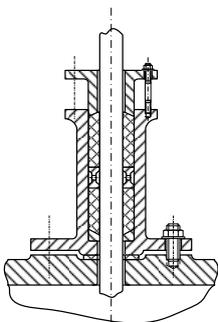


Рис. 2.6.4. Одинарное сальниковое уплотнение для автоклавов

По принципу работы устройства двойные сальники могут рассматриваться как два последовательно соединенных, простых сальника. На рис. 2.6.5 показана конструкция двойного сальника. Газы или пары, прошедшие через набивку нижнего сальника, задерживаются набивкой верхнего сальника. Поэтому такое уплотнение более надежно, чем одинарный сальник.

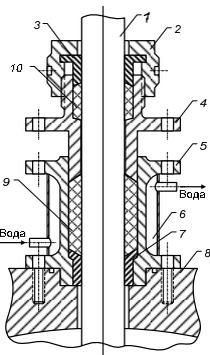


Рис. 2.6.5. Двойное сальниковое уплотнение:

1 – вал мешалки; 2 – гайка; 3 – верхний сальник; 4 – нижний сальник; 5 – сальниковая коробка; 6 – рубашка для охлаждения; 7 – грундбукса; 8 – крышка автоклава; 9 – набивка нижнего сальника; 10 – набивка верхнего сальника.

6.2. Торцовые уплотнения

Торцовые уплотнения состоят из двух колец – подвижного и неподвижного, которые прижимаются друг к другу по торцевой поверхности с помощью пружины. Они получают все более широкое распространение вследствие следующих причин:

- при нормальной работе торцовые уплотнения не требуют обслуживания в отличие от сальников, в которых периодически необходимо менять набивку;
- правильно подобранные торцовые уплотнения отличаются большой износостойкостью и, следовательно, долговечностью;
- они удовлетворительно работают при перекосах и биениях вала, тогда как сальниковая набивка иногда выходит из строя уже при биении вала 0,05 мм;
- они обладают высокой герметичностью, и потери мощности составляют десятые доли потерь в сальниках.

На рис. 2.6.6 приведена конструкция торцового уплотнения.

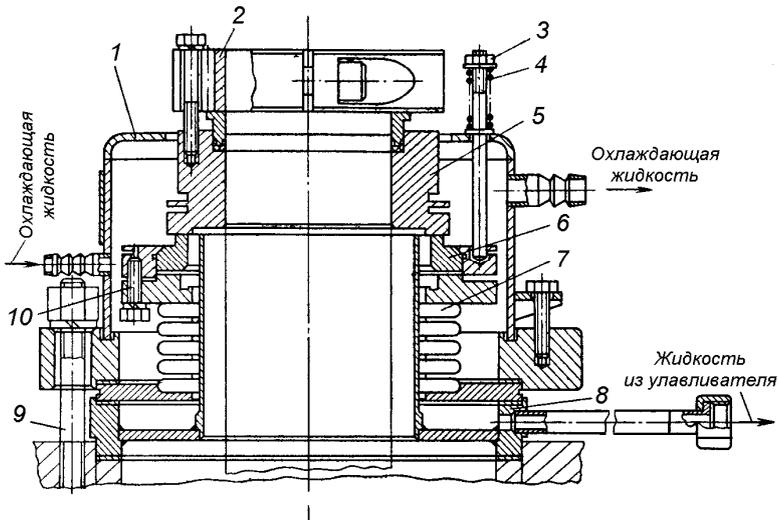


Рис. 2.6.6. Одинарное торцовое уплотнение

Универсальное торцовое уплотнение состоит из подвижного кольца 5, закрепленного на валу с помощью водила 2 и неподвижного кольца 6, плотно прижимаемого торцевой поверхностью к подвижному кольцу пружинами 4 и гайками 3. Неподвижное кольцо 6 соединено болтами 10 с узлом сильфона 7. Корпус 8 закрыт сверху крышкой 1 и прикреплен фланцами и болтами 9 к крышке аппарата.

Сильфон представляет собой тонкостенную латунную трубку с гофрированной поверхностью.

Смазку трущихся колец и охлаждение производят проточной водой, циркулирующей в полости крышки. Вода, попавшая через уплотнительную поверхность, собирается в нижней части корпуса, называемой уловителем, и выводится через штуцер.

Самый ответственный элемент торцового уплотнения – пара трения. Надежность работы уплотнения зависит в основном от материала и качества обработки трущихся колец. Обычно одно кольцо изготавливают из более твердого материала. Наиболее широко применяют следующие материалы в различных комбинациях: кислотостойкую сталь, бронзу, керамику, графит, фторопласт и твердую резину.

Материалы на основе графита имеют высокую кислотостойкость и не требуют специальной смазки. Керамические кольца, применяемые в парах трения, имеют исключительную химическую стойкость, высокую твердость и износоустойчивость. Недостатки керамических колец – пористость и склонность к растрескиванию. Трущиеся поверхности должны быть отшлифованы и тщательно притерты друг к другу.

Двойные торцовые уплотнения сложнее по конструкции, но обеспечивают более высокую герметичность (рис. 2.6.7). Уплотнение имеет две пары уплотнительных колец. Вращающиеся кольца 1 установлены на валу 12. Вращение кольцам 1 передается от вала с помощью винтов 11. неподвижные кольца 2 установлены в основании 4 (внизу) или крышку 9 (вверху) и зажаты фланцами 3. Кольца прижимаются пружинами 7. Двойные торцовые уплотнения имеют охлаждающую рубашку 6.

В пространство уплотнения вводится уплотняющая жидкость под давлением, несколько превышающим рабочее давление в аппарате. Уплотняющая жидкость подается с помощью специального насоса 7 (рис. 2.6.8) или за счет давления в пневмогидроаккумуляторе 4 (рис. 2.6.9), для чего над уплотнением на высоте не менее 2...3 м устанавливают бачок 5 с уплотняющей жидкостью емкостью 10...20 л, верхняя часть которого соединена с пространством аппарата.

Гидростатическое давление столба жидкости, поджимаемой азотом, обеспечивает противодействие уплотнительной жидкости в уплотнении. В качестве уплотнительной жидкости применяют воду, смазочное масло, глицерин, этиленгликоль, а также другие жидкости, попадание которых в рабочую среду не вызывает порчу продукта. Перед подачей уплотняющей жидкости в торцовое уплотнение 1 она проходит фильтр 3 и теплообменник 2.

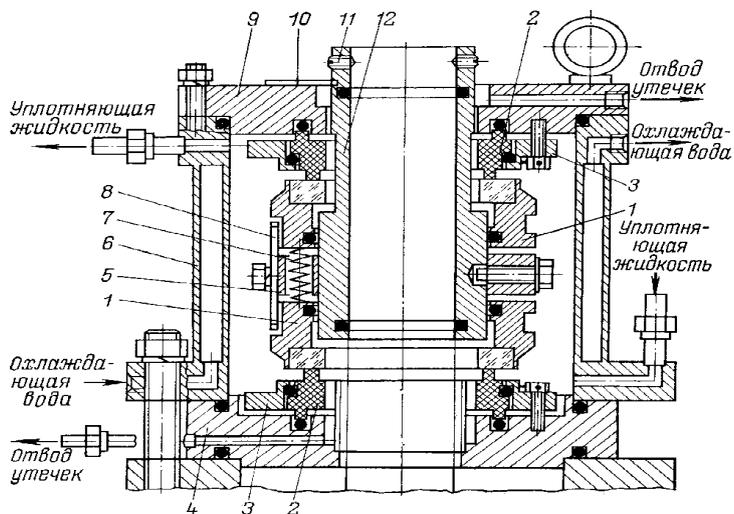


Рис. 2.6.7. Торцовое уплотнение типа ТД:

1 – вращающиеся кольца; 2 – неподвижные кольца; 3 – фланцы; 4 – основание; 5 – кольцо; 6 – рубашка; 7 – пружина; 8 – планки; 9 – крышка; 10 – фиксатор; 11 – винты; 12 – втулка.

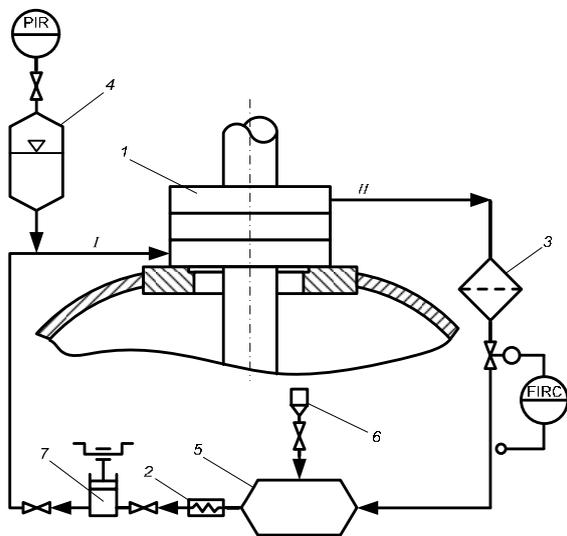


Рис. 2.6.8. Схема принудительной циркуляции жидкости в торцовом уплотнении: 1 – торцовое уплотнение; 2 – теплообменник; 3 – фильтр; 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бачок; 6 – воронка; 7 – насос; I и II – вход и выход уплотняющей жидкости.

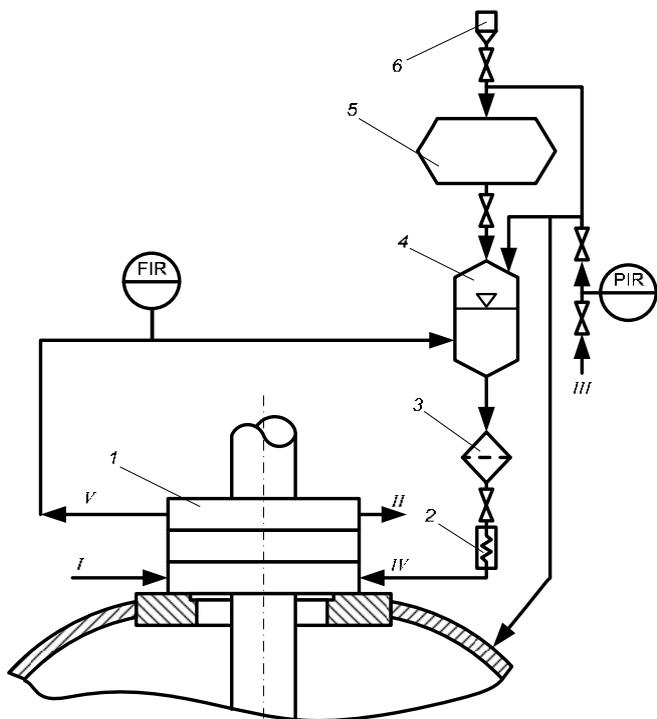


Рис. 2.6.9. Схема естественной циркуляции жидкости в торцовом уплотнении: 1 – торцовое уплотнение; 2 – теплообменник; 3 – фильтр; 4 – пневмогидроаккумулятор; 5 – бачок; 6 – воронка; I и II – вход и выход охлаждающей жидкости; III – азот; IV и V – вход и выход уплотняющей жидкости.

6.3. Бессальниковые приводы

При высоких давлениях и температурах тщательное уплотнение сальника становится затруднительным, поэтому стали использовать так называемый бессальниковый привод мешалки. В аппаратах с бессальниковым приводом энергия передается на вал мешалки посредством вращающегося магнитного поля, развиваемого статором асинхронного электродвигателя.

Бессальниковый привод мешалки состоит из следующих основных частей: асинхронного электродвигателя, статор 1 которого отделен от ротора 2 неподвижной экранирующей гильзой 3 вала 4 мешалки 10, на конце которого смонтирован ротор, герметичного корпуса 5 и переходного стакана 6 (рис. 2.6.10).

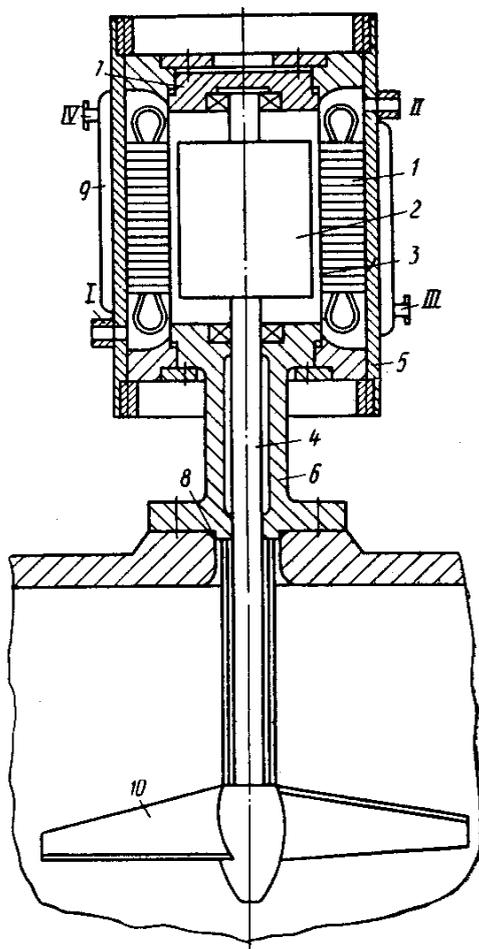


Рис. 2.6.10. Бессальниковый привод мешалки

Вращающееся магнитное поле, создаваемое статором *I*, заставляет вращаться ротор *2*, а вместе с ним и вал *4* мешалки. Экранирующая гильза *3* изготовлена из металла с высокой магнитной проницаемостью (медь) толщиной 0,5...1 мм. Она запрессована в статоре. Тонкостенная гильза может выдержать высокие давления благодаря тому, что она опирается на статор. Сверху экранирующая гильза закрыта крышкой *7*. Гер-

метичный корпус 5, в котором смонтирован статор с экранирующей гильзой, присоединяется к переходному стакану 6, который закреплен на корпусе реактора.

Таким образом, внутренние полости реактора, переходного стакана и экранирующей гильзы составляют единую полость, которая надежно герметизируется с помощью алюминиевых прокладок 8.

Если рабочая среда в реакторе оказывает корродирующее действие на ротор, то во внутреннюю полость экранирующей гильзы подводят инертный газ. Давление его должно превышать давление рабочей среды внутри реактора. Статор охлаждается трансформаторным маслом, прокачиваемым через корпус 5. Это масло охлаждает также и экранирующую гильзу, а через нее и ротор. Масло поступает в корпус через нижний штуцер I, а выходит через штуцер II. Масло можно частично охлаждать водой, поступающей в рубашку 9 через штуцер III и выходящей из нее через штуцер IV. При больших тепловыделениях электродвигателя окончательное охлаждение масла производится в отдельном теплообменнике.

6.4. Заключение

Назначение уплотнений – не допускать пропуск среды в месте ввода в аппарат движущихся частей.

Несмотря на то, что узел уплотнения занимает сравнительно небольшую часть реактора, от него зависит зачастую качество работы всей установки. Это относится к производствам с ядовитыми и взрывоопасными веществами и к аппаратам, работающим под вакуумом.

Наиболее часто для уплотнения вращающихся валов используют сальниковые и торцовые уплотнения. Находят также применение герметичные приводы различных конструкций.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните устройство сальникового уплотнения вала мешалки.
2. Принцип работы бессальникового привода.
3. Каково устройство торцового уплотнения?
4. Приведите схемы циркулирования жидкости в торцевом уплотнении.
5. Каковы основные конструктивные типы сальниковых уплотнений?
6. Приведите устройство двойного торцового уплотнения.
7. В каких случаях применяют двойные сальниковые уплотнения вращающихся валов?

Глава 7. Конструктивные типы полимеризаторов

Полимеризатор, как реактор, в котором протекает основной процесс химической технологии – образование высокомолекулярного продукта в результате сложного взаимодействия исходных мономеров, должен работать эффективно, т. е. обеспечивать требуемую глубину и избирательность химического превращения. Следовательно, полимеризатор должен удовлетворять целому ряду различных требований:

- иметь необходимый реакционный объем;
- обеспечивать определенный гидродинамический режим движения реагентов;
- создавать требуемую поверхность контакта взаимодействующих фаз;
- поддерживать необходимый теплообмен в процессе;
- поддерживать необходимый уровень активности катализаторов и т. д.

В промышленных условиях важнейшее значение приобретают не только скорость химического превращения мономеров, но и производительность аппаратуры, поэтому выбор типа и конструкции оборудования является одним из самых главных и ответственных этапов в реализации химико-технологического процесса.

7.1. Классификация полимеризаторов

Конструктивная классификация полимеризаторов объединяет всю реакционную аппаратуру в следующие группы:

- реакторы емкостного типа (котлы);
- автоклавы;
- колонные реакторы;
- горизонтальные полимеризаторы;
- ленточные реакторы;
- реакторы типа теплообменников;
- трубчатка.

Конструктивный тип реактора зависит от условий проведения процесса и свойств участвующих в нем веществ (мономеров).

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 т. д.

Из всех перечисленных выше факторов агрегатное состояние вещества оказывает самое большое влияние на принцип действия реактора и в целом должно определять конструктивный тип реакторного устройства. Кроме того, в зависимости от этого фактора находится выбор некоторых основных и вспомогательных деталей аппарата, таких как, например, перемешивающее устройство, поверхность теплообмена и т. д. Наконец, как было показано выше, метод изготовления тоже будет влиять на конструкцию реакционного устройства, внося свои коррективы в набор и оформление основных и вспомогательных деталей полимеризатора.

7.2. Аппаратурное оформление процессов получения полимеров

7.2.1. Реакционные котлы

Самым распространенным типом реакторных устройств для синтеза полимеров является реакционный котел (рис. 2.7.1). Реакторы подобного типа используются для получения форполимера стирола, полиэфирных смол, новолачных смол по периодическому способу, полипропилена и полиэтилена при низком давлении и других полимеров.

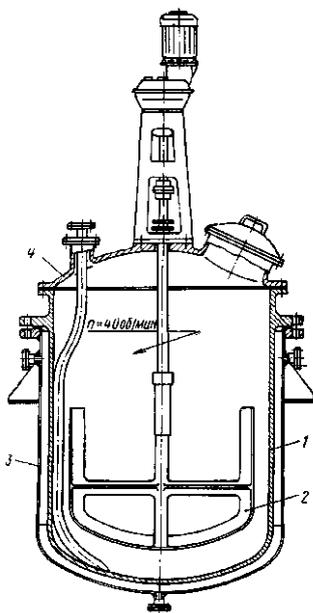


Рис. 2.7.1. Реакционный котел:

1 – корпус; 2 – мешалка; 3 – рубашка; 4 – крышка.

Корпус 1 и крышка 4 аппарата обычно выполнены из легированной стали. Компоненты реакции могут смешиваться перед поступлением в реактор или непосредственно в аппарате (так называемое смешивание в объеме). Для этого котлы снабжаются перемешивающими устройствами. Мешалка 2 якорного типа или иной конструкции выполнена также из легированной стали. Привод мешалки осуществляется от электродвигателя через редуктор. Для уплотнения вала мешалки служит сальниковое или торцовое уплотнение.

Обогрев или охлаждение реагирующей массы в реакционном котле осуществляется с помощью приваренной к корпусу односекционной внешней рубашки 3 или змеевика, помещаемого внутрь аппарата.

Входные патрубки реакционных котлов снабжают сифонами, которые предотвращают разбрызгивание загружаемой в аппарат жидкости и уменьшают накопление статического электричества.

Нижний конец сифона обязательно должен быть срезан под углом 45° к горизонтальной плоскости, так как это уменьшает разбрызгивание. Сифон может служить и для перекачивания прореагировавшей смеси.

Реакционные котлы периодического действия загружаются через специальный люк, который целесообразно снабдить быстродействующим гидравлическим или электрическим запорным устройством.

Для разгрузки аппарата периодического действия, особенно в условиях повышенной вязкости реакционной массы, рекомендуется использовать сливные устройства клапанного типа (рис. 2.7.2), которым не страшно попадание полимера в зазор между корпусом и пробкой клапана.

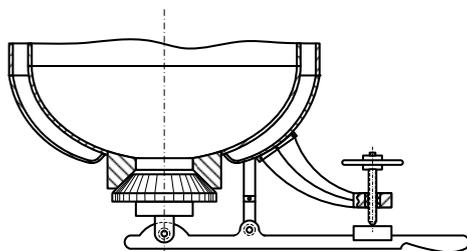


Рис. 2.7.2. Клапанное сливное устройство реакционных котлов

На рис. 2.7.3 изображен форполимеризатор стирола, представляющий собой типичный реакционный котел емкостью 3 м^3 с мешалкой 4 и двухсекционной рубашкой 3. Корпус аппарата состоит из двух царг 1 и 2 диаметром 1,3...1,4 м, сферического отбортованного днища и плоской крышки 5. Рубашка верхней царги – приварная, а нижней царги – съемная. Мощная рамная мешалка 4 (50...60 об/мин) приводится во вращение

электродвигателем 6 через редуктор 7, размещенный на плоской крышке аппарата 5. Корпус аппарата изготовлен из двухслойной стали.

На рис. 2.7.4 показан полимеризатор емкостью 12 м³, применяемый в производстве эмульсионного каучука СКС-30А.

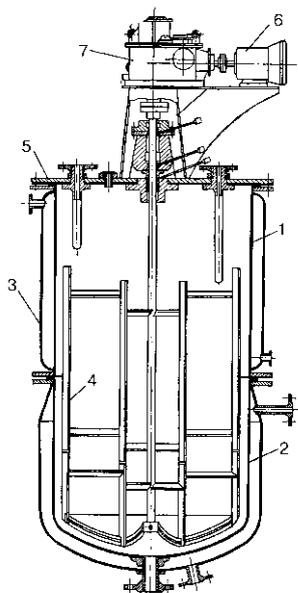


Рис. 2.7.3. Форполимеризатор стирола

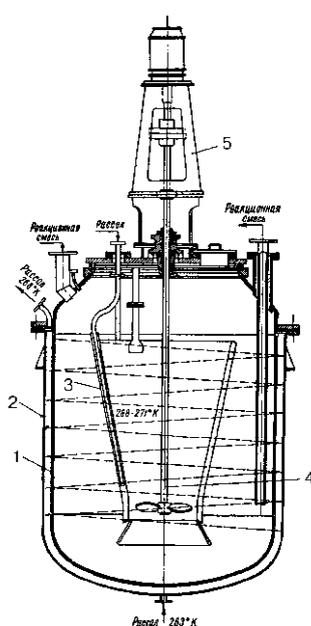


Рис. 2.7.4. Полимеризатор для производства стирольного каучука

Корпус полимеризатора 1 выполнен из нержавеющей стали Х18Н9Т, снабжен рубашкой 2 со спиральным ходом хладагента и внутренним стаканом 3 или змеевиком. Суммарная поверхность охлаждения составляет около 40 м².

Пропеллерная мешалка 4 помещена во внутренний двустенный стакан 3, выполняющий роль диффузора для улучшения циркуляции эмульсии в аппарате. Мешалка приводится в действие электродвигателем через редуктор 5.

На рис. 2.7.5 изображен реактор для производства фенолоформальдегидных смол по периодическому способу. Варочный аппарат представ-

ляет собой котел, изготовленный из легированной стали. Корпус аппарата 1 снабжен паровой рубашкой 4 со вмятинами. Для перемешивания реакционной массы на валу крепится якорная мешалка 5. Для предотвращения налипания и последующего пригорания полимера на стенках аппарата, на лопастях якорной мешалки устанавливают специальные скребки из пружинной стали, которые снимают с внутренних стенок реактора слой налипающего полимера. Мешалка приводится в действие приводом 7, скорость вращения мешалки равна 30...50 об/мин.

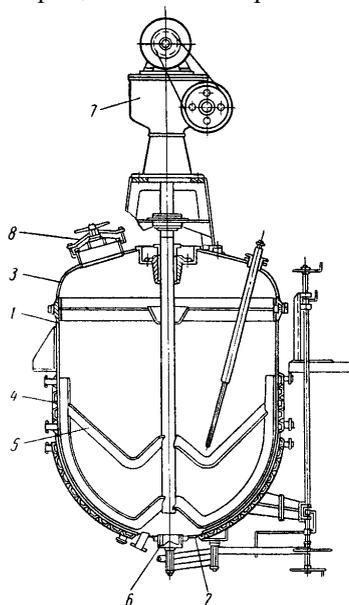


Рис. 2.7.5. Реактор для производства новолачных смол

Аппарат снабжен сливным устройством 6, установленным в днище 2 и люком для очистки котла 8, расположенным на крышке аппарата 3.

На рис. 2.7.6 показан реактор емкостью 25 м³ для получения полипропилена. Корпус реактора 1 снабжен теплообменной рубашкой 2, выполненной из полутруб, и перемешивающим устройством якорно-лопастного типа (частота вращения 30 об/мин).

Верхняя лопастная часть перемешивающего устройства 3 предназначена для смешения жидкой пропан-пропиленовой фракции с твердым катализатором. Нижняя рамная мешалка 4 служит для перемешивания осаждающейся суспензии полимера.

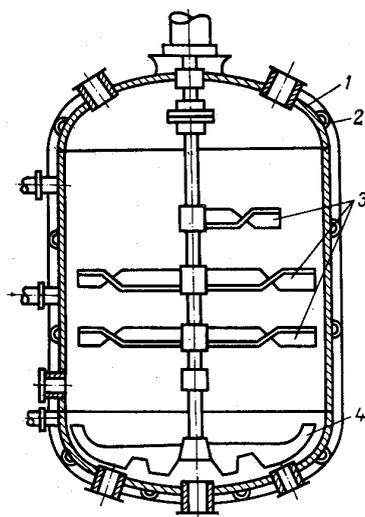


Рис. 2.7.6. Реактор для синтеза полипропилена

На рис. 2.7.7 изображен реактор для полимеризации этилена с пропиленом в присутствии гетерогенного катализатора Циглера – Натта. Процесс получения статсополимера проводят в растворе гептана при температуре 50°C и давлении $0,6 \dots 0,9$ МПа.

Реактор объемом 43 м^3 представляет собой вертикальный цилиндрический емкостной аппарат смешанного типа с мешалкой 13 и рубашкой 8, который успешно сочетает в себе достоинства как РИС, так и РИВ.

Так как главными особенностями данного процесса являются: гетерофазность и большой реакционный объем, то существует опасность возникновения градиента температур по сечению аппарата, что снижает стереоспецифичность и, следовательно, качество продукта. В связи с этим в реакторе установлена многоярусная быстроходная турбинная мешалка 13. Для предотвращения оседания образующегося сополимера нижняя турбина мешалки снабжена скребками. Реактор снабжен электродвигателем с редуктором 1, и дополнительной поверхностью теплообмена в виде встроенных в аппарат пучков труб 9, которые играют также роль волнорезов (устраняют появление воронок около стенок аппарата).

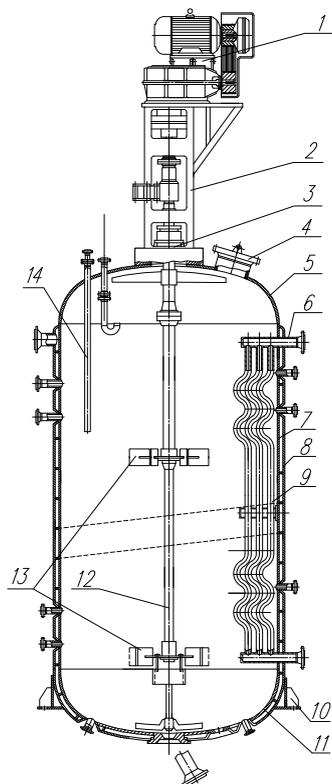


Рис. 2.7.7. Реактор для синтеза сополимера этилена с пропиленом:
 1 – мотор-редуктор; 2 – стойка; 3 – торцевое уплотнение; 4 – люк; 5 – крышка;
 6 – штуцер; 7 – обечайка; 8 – рубашка; 9 – волнорез; 10 – опора; 11 – днище;
 12 – вал; 13 – мешалка; 14 – гильза.

Наличие в реакционной среде токсичных, пожаровзрывоопасных веществ приводит к необходимости уплотнения всех соединений в реакторе. В связи с этим используется аппарат с приварной крышкой 5, а вращающийся вал 12 уплотнен торцевым уплотнением 3. Для исключения радиального биения вала используются двухрядные радиально-упорные роликовые подшипники, закрепленные в стойке 2.

Поддержание температурного режима осуществляется подачей теплоносителя в рубашку аппарата. При сравнительно невысоких параметрах процесса ($50 \pm 2^\circ\text{C}$) в качестве теплоносителя используют подогретую острым паром воду, что позволяет применить несъемную ру-

башку 8 с гладкими стенками и перегородками. Для контроля температурного режима реактор имеет термогильзу 14 для размещения датчика температуры.

Реактор снабжен нижними опорами 10 для установки на фундамент.

На рис. 2.7.8 приведен поликонденсатор для получения лавсана. Реактор снабжен якорной мешалкой 1. Привод мешалки состоит из двухскоростного электродвигателя 16 и редуктора 15, расположенных на стойке 14, установленной на крышке аппарата 12. Крышка крепится болтами к корпусу аппарата 11. На ней расположены штуцеры для подачи расплавленного дигликольтерефталата 13.

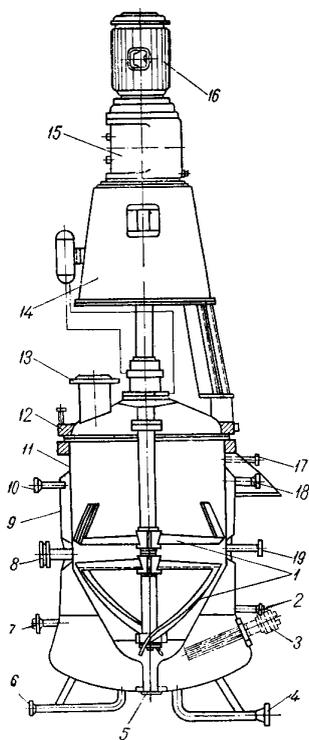


Рис. 2.7.8. Поликонденсатор для получения лавсана

Корпус аппарата снабжен рубашкой 9 с электропатронами 3 для подогрева дифенильной смеси. В рубашке имеются штуцера для подачи 4 и

слива 6 дифенильной смеси и продувки рубашки 18. На корпусе аппарата расположены штуцера для КИП 2, 7, 8, 10, 17, 19.

Разгрузка реактора осуществляется через нижний штуцер 5 сжатым азотом, подаваемым в аппарат.

Мешалка для интенсификации теплообмена в начале процесса вращается со скоростью 40 об/мин, а в конце – 20 об/мин. Процесс длится 5...6 ч.

7.2.2. Автоклавы

На рис. 2.7.9 показан реактор-автоклав для синтеза полиэтилена с мешалкой. Он работает под давлением 150 МПа и является типичным примером комбинированного реакционного аппарата, в котором сочетаются процессы вытеснения и смешения.

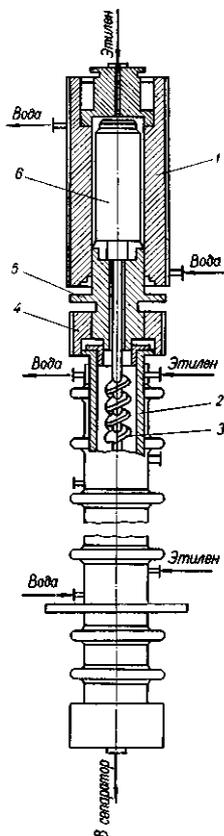


Рис. 2.7.9. Реактор-автоклав для полимеризации этилена

Автоклав представляет собой реактор, состоящий из двух секций: 1 и 2. Нижняя (рабочая) секция аппарата образует реакционный объем, в котором расположена мешалка винтового типа 3, интенсивно перемешивающая реакционную среду. Верхняя секция корпуса присоединяется к нижней при помощи пробки 5 и гайки 4. В верхнюю секцию вмонтирован электродвигатель 6 для вращения мешалки. Двигатель работает непосредственно в среде этилена.

Этилен высокого давления с небольшой примесью кислорода (используемого в качестве инициатора), подогретый до 59...70°C, подается в реактор на трех отметках: в крышку моторной части корпуса (для смазки и охлаждения подшипников ротора), в верхнюю и среднюю зоны реакционной части корпуса. Распределение потоков газа между последними двумя точками регулируется таким образом, чтобы в реакционном объеме аппарата поддерживалась температура около 200°C.

Секции аппарата снабжены охлаждающими водяными рубашками для отвода реакционного тепла.

Частота вращения мешалки составляет 1500 об/мин, объем аппарата 0,5 м³.

Разработана конструкция полимеризатора – автоклава с лопастной мешалкой, который работает под давлением 250 МПа (рис. 2.7.10).

Полимеризатор представляет собой вертикальный толстостенный цилиндрический сосуд, состоящий из двух частей корпуса электродвигателя 1 и собственно корпуса реактора 2. Крышки 3 и 4 плоские. Корпусы между собой и крышки с корпусами соединяются разъемными полумуфтами 5, 6 и 7. Уплотнение соединений осуществляют тремя металлическими кольцами-обтюраторами 8 со сферической уплотнительной поверхностью. Корпусы полимеризатора имеют три съемные гладкие рубашки 9. Электродвигатель 10 установлен в корпусе и работает в среде этилена. В средней части полимеризатора установлены две разрывные предохранительные мембраны 11.

Массу перемешивают четыре лопастные мешалки 12. Мешалки съемные, они обеспечивают работу полимеризатора по однозонному или двухзонному вариантам. На валу мешалки, которую используют для двухзонного процесса полимеризации, установлена перегородка 13. Сравнительно небольшой зазор между перегородкой и корпусом полимеризатора позволяет вести процесс полимеризации в верхней и нижней зонах при различной температуре.

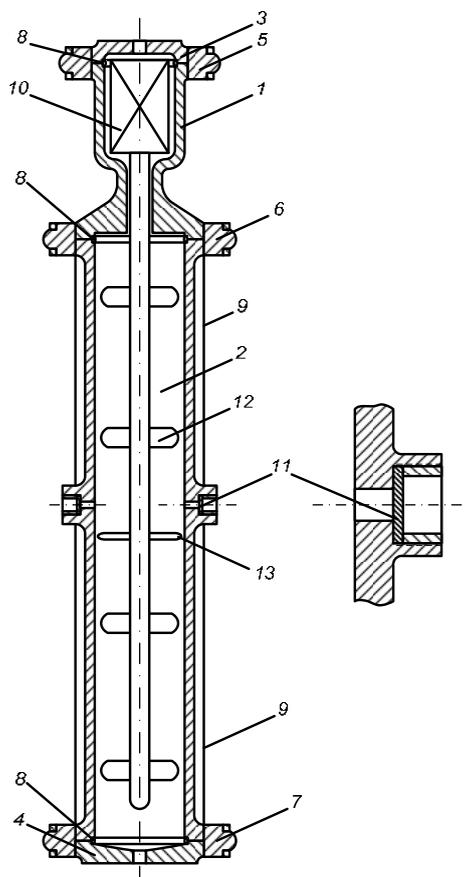


Рис. 2.7.10. Реактор-автоклав с лопастной мешалкой

Две мешалки служат для однозонного процесса, а две другие – для двухзонного процесса. Вал мешалки (рис. 2.7.11) имеет облегченную конструкцию. По всей длине вала сделаны три U-образных паза. Для лучшего горизонтального перемешивания по всей длине пазов просверлены горизонтальные отверстия.

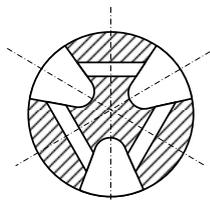


Рис. 2.7.11. Разрез вала мешалки

Перед пуском полимеризатор в течение 4,5 ч нагревают до 250 °С горячим воздухом, который подают в рубашки корпуса из электрокалориферов. После начала процесса полимеризации обогрев отключают. Мощность электронагрева – 210 кВт.

Лопasti мешалки обеспечивают хорошее местное горизонтальное провешивание массы. Местное перемешивание

необходимо для рассеивания теплоты реакции и поддержания динамического равновесия в полимеризаторе. Общее вертикальное перемешивание массы необходимо для получения равномерной температуры среды по всей высоте реакционной зоны. Хорошее общее перемешивание массы особенно необходимо при высоких скоростях движения мономера, что позволяет избежать чрезмерного охлаждения массы в местах подачи свежего холодного мономера.

При однозонном процессе мономер с температурой 40°С подают в корпус электродвигателя, а с температурой 160°С – нижнюю часть полимеризатора (примерно на высоте 1/3 корпуса). Инициатор подводят в двух точках: в верхнюю часть корпуса полимеризатора и, совместно с мономером, в нижнюю часть корпуса.

При двухзонном процессе половину мономера подают в корпус электродвигателя, а другую половину – в верхнюю часть полимеризатора. Инициатор подводят в верхнюю и нижнюю части полимеризатора.

Тепло реакции идет на нагрев холодного свежего мономера. Степень конверсии мономера лимитируется температурой выходящей из полимеризатора массы и температурой свежего мономера. Чем больше будет разность этих температур, тем бóльшая степень конверсии может быть достигнута. Температуру в реакционных зонах полимеризатора регулируют расходом инициатора и контролируют четырьмя термопарами. Давление в корпусе полимеризатора замеряют двумя датчиками давления. Работу каждого датчика дублируют манометром. Заданное давление в полимеризаторе регулируют дроссельным клапаном, установленным на линии выхода массы из полимеризатора.

На рис. 2.8.12 показан один из наиболее распространенных типов автоклавных реакторов с перемешивающим устройством на давление 320 МПа (3200 кгс/см²).

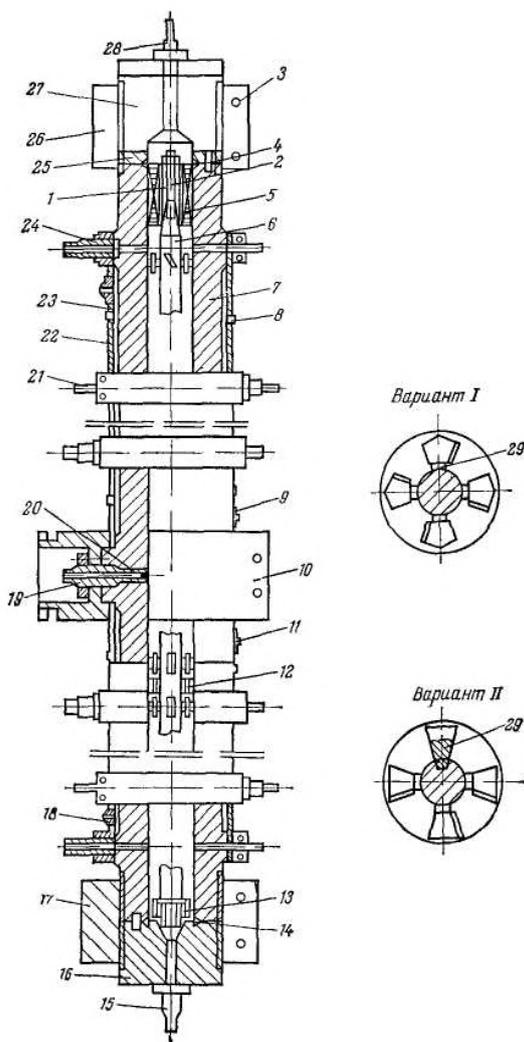


Рис. 2.7.12. Реактор с мешалкой:

1 – ротор; 2, 3 – шпильки; 4 – штифты; 5 – электродвигатель; 6 – мешалка; 7 – корпус реактора; 8 – компенсатор; 9, 18 – патрубки; 10 – разъемная муфта; 11, 23 – патрубки; 12 – перегородка; 13 – подшипник; 14, 25 – обгюраторы; 15 – выводной штуцер; 16, 27 – нижняя и верхняя крышки; 17, 26 – разъемные полумуфты; 19 – штуцер; 20 – разрывной предохранительный клапан; 21 – термомары; 22 – теплообменные рубашки; 24, 28 – штуцеры для ввода этилена; 29 – лопасти мешалки.

Реактор представляет собой вертикальный толстостенный цилиндрический сосуд с отношением длины к внутреннему диаметру от 10 до 20. Реактор снабжен рубашками, в которых циркулирует теплохладоагент (жидкость или воздух). Корпус реактора сверху и снизу закрывается крышками 27, 16, которые уплотняются металлическими обтюраторами 25, 14. Поджатие крышек к корпусу осуществляется разъемными полумуфтами 26, 17 с помощью шпилек 3. Для фиксации крышек относительно корпуса реактора предусмотрены штифты 4.

В центральной части корпуса установлена разъемная муфта 10, которая выполняет роль опорной конструкции и служит одновременно для крепления разрывных предохранительных клапанов 20, предназначенных для сброса газа из реактора в случае повышения давления сверх расчетного. Разрывные предохранительные клапаны крепятся с помощью штуцеров 19 на внутренней поверхности стенки корпуса. При таком расположении клапанов уменьшается вероятность забивания выхлопных отверстий полимером.

Этилен в реактор может подаваться в одну 24 или несколько точек по высоте реактора, но обязательно небольшое его количество (>5%) должно постоянно поступать через электродвигатель 5 для его охлаждения. Полиэтилен и непрореагировавший этилен удаляются из реактора снизу через штуцер 15 на нижней крышке.

Для контроля температуры в реакторе установлены термодары (против ввода газа или инициатора). Электродвигатель 5 встроен в корпус реактора и при работе охлаждается поступающим в реактор свежим этиленом. Перемешивание реакционной среды осуществляется мешалкой 6, на вал которой надеваются лопасти различной конфигурации, например, пятиугольной (вариант I) или трапецеидальной (вариант II). Наклон лопастей к горизонтали может меняться в зависимости от необходимости направления перемешивания.

Лопасты пятиугольной формы при вращении вала охватывают практически все поперечное сечение реактора (зазор между лопастью и стенкой аппарата составляет около 3 мм), заставляя реакционную среду перемещаться сверху вниз. Лопасты трапецеидальной формы охватывают лишь 70% поперечного сечения реактора. Они наклонены в сторону, противоположную наклону лопастей пятиугольной формы, и перемешивают среду снизу вверх. Изменяя тип и число лопастей и угол их наклона, можно регулировать интенсивность перемешивания реакционной среды и тем самым поддерживать заданный температурный перепад по высоте реактора.

В верхней и нижней частях реактора угловое смещение лопастей относительно горизонтали может составить 30...75°, а в средней части –

10...45°. Благодаря этому, наиболее интенсивное вертикальное перемешивание осуществляется в верхней и нижней зонах аппарата.

Для перемешивания реакционной массы применяются мешалки другого вида. На рис. 2.7.13 представлены шесть конструкций мешалок. Самая простая конструкция мешалки *I* имеет две лопасти *1* в виде пластин, проходящие по всей длине вала параллельно оси вращения и закрепленные на двух перемычках *2*. Вал может быть полым и служить для прохода теплоносителя.

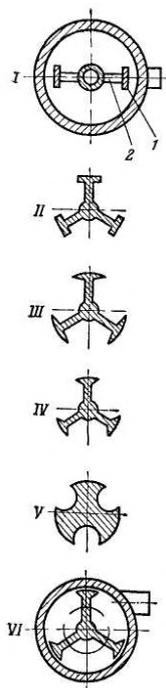


Рис. 2.7.13. Конструкции мешалок:

I – мешалка с двумя лопастями (*1* – лопасть; *2* – перемычка); *II*, *III*, *IV*, *V* – трехлопастные мешалки различной конфигурации; *VI* – лопасти с перфорированными перемычками.

Мешалка может иметь более двух лопастей. Лопасти изготавливают плоскими *II* и изогнутыми *III*. При плоских лопастях в объеме реактора могут образовываться застойные зоны, поэтому предпочтительнее конфигурация *IV*. Внутренняя поверхность лопастей может иметь криволинейную конфигурацию *V*. Профиль такой лопасти предпочтительнее профиля лопасти *IV*.

Для лучшей циркуляции и перемешивания и для уменьшения массы мешалки перемычки желательно изготавливать перфорированными. Такие мешалки VI уменьшают осевое перемешивание среды и обеспечивают одинаковое время пребывания отдельных частиц этилена и полиэтилена в реакционном пространстве за счет уменьшения до минимума участков поверхности мешалки, расположенных наклонно к ее продольной оси.

Верхняя коническая часть вала перемешивающего устройства входит в вал ротора электродвигателя и крепится с помощью шпильки 2. Нижний конец вала мешалки установлен в подшипнике 13 (рис. 2.7.12). Масса вала воспринимается подшипниками электродвигателя, которые работают в более благоприятных температурных условиях.

При необходимости автоклавный реактор с мешалкой можно разделить перегородками так, чтобы получилось как бы несколько реакторов (один над другим) с самостоятельными температурными зонами. В таком реакторе положение лопастей может регулироваться в зависимости от необходимого направления потоков реакционной смеси в реакторе.

Лопастей располагаются под углом не менее 10° к горизонтали и не менее 10° к вертикали. Число лопастей и плоскости их размещения определяются требуемой степенью радиального и продольного смещения в любой части реактора. Отношение длины к диаметру реактора определяется оптимальным превращением этилена и необходимым числом температурных зон.

Таким образом, варьирование конфигурации мешалки, частоты ее вращения, распределения газа в зонах реактора, а также выбор инициатора, его концентрация и распределение по зонам дает возможность обеспечить определенный температурный режим в реакторе и получить полимеры с заданными свойствами.

Автоклавное реакционное устройство с мешалкой имеет следующие недостатки:

- вал мешалки занимает значительную часть реакционного пространства;
- наличие подшипников в зоне реактора создает угрозу разложения этилена в случае их разрушения и при остановке мешалки.

Достоинством автоклавного реактора является отсутствие станций перегретой воды. Тепло, выделяемое во время работы, может сниматься и утилизироваться. Реактор имеет простое устройство, легко монтируется, процесс в нем легко поддается регулировке.

На рис. 2.7.14 показан реактор-автоклав без перемешивающего устройства. Он предназначен для полимеризации этилена под давлением 100...350 МПа.

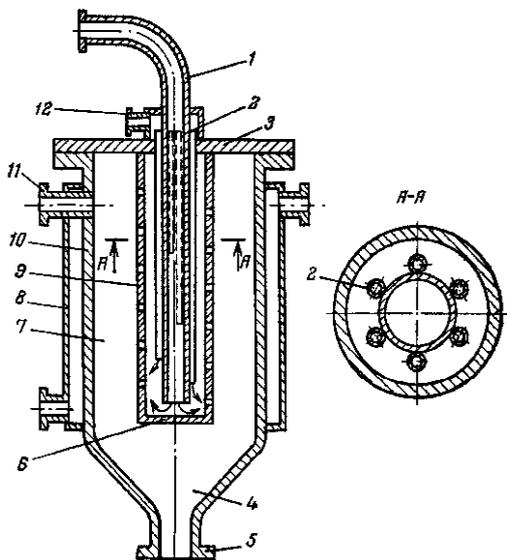


Рис. 2.7.14. Реактор-автоклав без перемешивающего устройства

Реактор состоит из корпуса 5, снабженного теплообменной рубашкой 9, входным 12 и выходным 7 патрубками. Отношение диаметра реактора к его длине, в зависимости от конкретных условий процесса, может находиться в пределах от 1:30 до 1:300.

В центре корпуса на крышке 11 установлена перфорированная труба 10, образующая с корпусом кольцевое пространство, в котором осуществляется процесс полимеризации, на выходе из реактора образуется полость для завершения полимеризации 6.

Внутри перфорированной трубы находится труба 1, по которой в реакционную зону подается этилен. Поступающий через трубу 1 холодный этилен не подвергается воздействию высокой температуры в реакторе, пока он не попадет в перфорированную трубу 10. Отверстия в ней расположены так, чтобы определенное количество этилена равномерно распределялось в реакционной зоне 8. Это обеспечивает одинаковые температурные условия и одинаковое распределение инициатора по всему объему. По наружному периметру трубы 1 расположены трубки 2 различной длины, по которым в реактор подается этилен с инициатором. Длина и диаметр трубок выбираются так, чтобы обеспечить определенные концентрации инициатора в различных точках перфорированной трубы.

Обогащенный инициатором этилен поступает через патрубок 3 и через трубки 2 во внутреннюю полость перфорированной трубы 10, где смешивается с холодным этиленом, подаваемым по трубе 1. Смесь обоих потоков через отверстия в перфорированной трубе поступает в кольцевую зону реакции и смешивается с горячим этиленом, подаваемым в реактор через патрубок 12. Полимеризация завершается в нижней полости реактора и полиэтилен, содержащий непрореагировавший этилен, выгружается через патрубок 7.

7.2.3. Колонные аппараты-полимеризаторы

К ним относятся аппараты, служащие для получения полистирола, фенолформальдегидных смол, поликапролактама и других полимеров.

На рис. 2.7.15 изображена колонна для синтеза полистирола в массе. Колонна состоит из шести цилиндрических царг 1–6, нижнего конуса 7 и крышки 8, и образует соответственно семь температурных зон, снабженных отдельными рубашками для высокотемпературного нагревания. Кроме того, царги 1 и 2 оборудованы дополнительными внутренними змеевиками 9 и 10. Цилиндрические змеевики выполнены из стали Х18Н9Т. Царги и конус реактора изготовлены из той же стали и соединяются между собой с помощью стальных накидных фланцев.

28%-ный раствор полимера в мономере после форполимеризатора вводится в верхнюю царгу колонны, расплав готового полимера непрерывно выгружается в шнек-приемник через штуцер в нижнем конусе аппарата. Скорость движения реакционной массы в аппарате не превышает 0,1 м/ч, что, с учетом высоких значений вязкости, свидетельствует о ламинарном характере потока.

При высоте корпуса аппарата свыше 8 м процесс полимеризации длится 30...40 ч, причем температура в реакционном объеме растет от 100 до 200...220°C.

На рис. 2.7.16 приведена конструкция реактора колонного типа для получения фенолформальдегидных смол непрерывным методом.

Колонна состоит из расположенных одна над другой секций 1. Мешалки 2 всех секций имеют общий вал 3 и приводятся в движение приводом 5. Вал мешалки свободно проходит из одной секции в другую через сваренные в днище каждой секции патрубки 4. Верхние концы их приподняты над уровнем реакционной массы.

Паровые пространства всех секций колонны сообщаются между собой и соединены штуцером 6 с общим обратным холодильником.

Ввод реагентов осуществляется в верхний загрузочный штуцер 7, а выход готового продукта происходит через штуцер 8, расположенный в нижней части аппарата. Каждая секция реактора снабжена рубашкой 9.

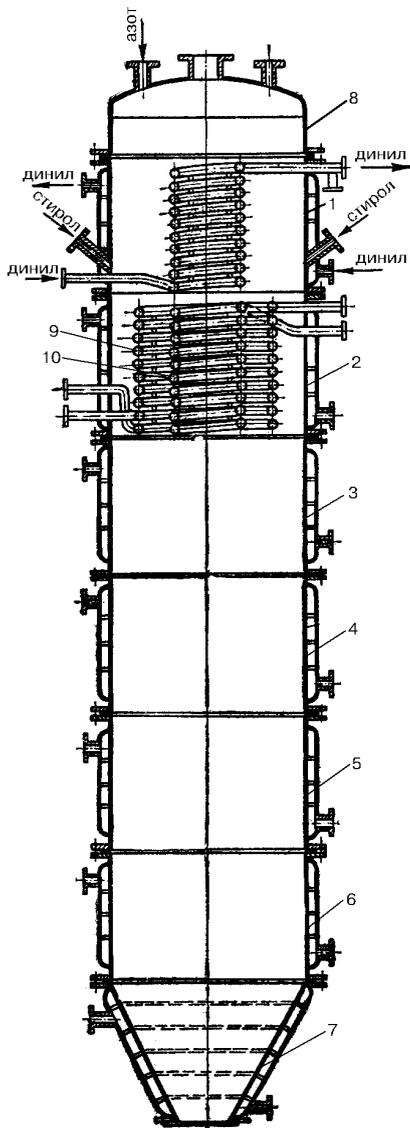


Рис. 2.7.15. Полимеризационная колонна

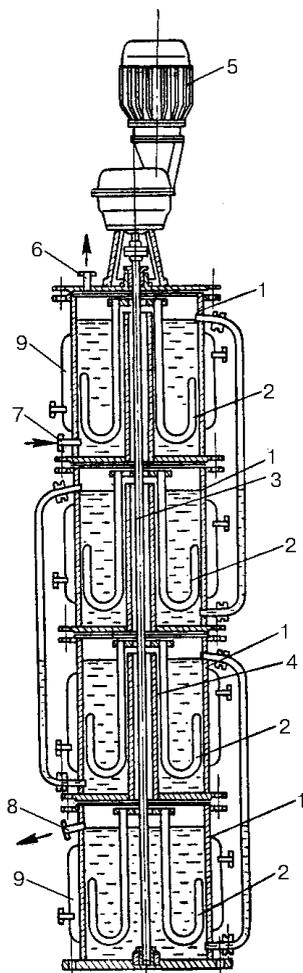


Рис. 2.7.16. Многосекционная колонна для синтеза новолячных смол непрерывным способом

Процесс конденсации протекает в каждой секции ступенчато и состав реакционной смеси изменяется от секции к секции.

Для газофазной полимеризации этилена сконструирован реактор, вид которого показан на рис. 2.7.17.

Реактор представляет собой колонный полимеризатор непрерывного действия.

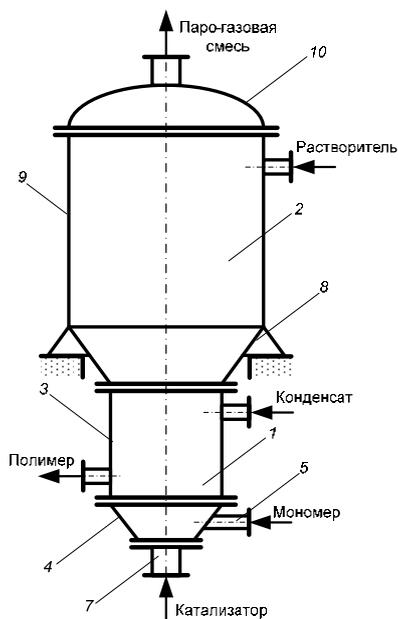


Рис. 2.7.17. Реактор полимеризации этилена в газовой фазе

Он состоит из двух зон: зоны полимеризации 1 и зоны сепарации 2. Зона полимеризации 1 представляет собой цилиндрический сосуд 3 диаметром 1,4 м, который снабжен коническим отбортованным днищем 4. В днище тангенциально установлены шесть барботеров 5 для подачи мономера. Днище закрыто крышкой 6 со штуцером 7 для подачи катализатора (хромацен, предварительно нанесенный на специально приготовленный силикагель со средним размером частиц 30 мкм). Зона полимеризации соединена с зоной сепарации коническим переходником 8.

Зона сепарации 2 представляет собой цилиндрический сосуд 9 диаметром 2,2 м с эллиптической отбортованной крышкой 10. При выходе парагазовой смеси в зону сепарации ее скорость уменьшается, что позволяет снизить унос частиц полиэтилена. Давление в аппарате 2,5 МПа.

Для ввода катализатора в реактор, находящийся под давлением, используется поршневая конструкция, работающая от сжатого газа. Этот узел оказался наиболее капризным при эксплуатации промышленной установки.

Колонные аппараты вытесняющего действия находят также применение в процессах непрерывной полимеризации капролактама (рис. 2.7.18).

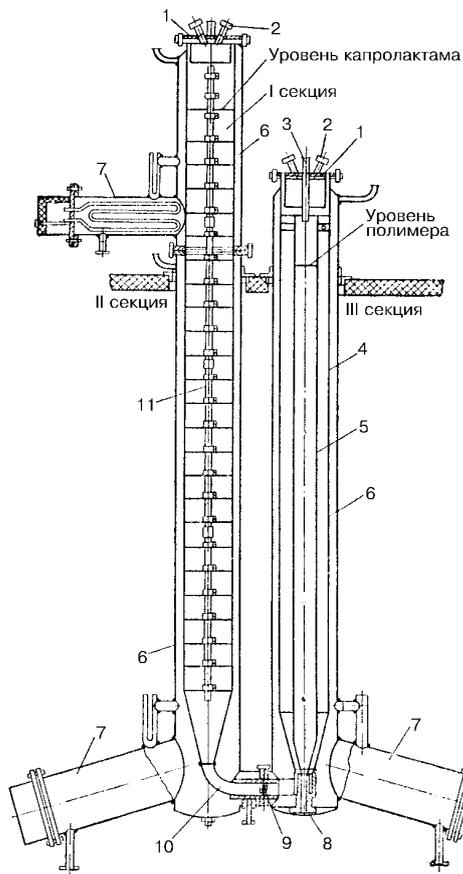


Рис. 2.7.18. Колонный полимеризатор для капролактама

Реакционный аппарат состоит из трех вертикальных секций, соединенных между собой по принципу сообщающихся сосудов. Первая и вторая секции находятся в одной трубе, снабженной крышкой 1, смотровым стеклом 2 и штуцером для уровнемера 3. Для турбулизации потока массы

и во избежание проскока капролактама в нижнюю часть колонны верхняя ее часть снабжена мешалкой 11, а средняя и нижняя – несколькими перфорированными тарелками.

Нагрев колонны осуществляется парами динила до температуры порядка 270°C через секции нагревательной рубашки 6. Нагревание динила происходит при помощи электропатронов, расположенных в карманах 7.

Перепуск реакционной смеси в нижнюю часть второй трубы 4 происходит через соединительный патрубок 10. Труба 5 смонтирована внутри трубы 4. Полимеризующая масса поднимается по трубе 4, переливается в верхний открытый конец трубы 5, спускается по ней вниз и выводится из аппарата через штуцер 8, расположенный в коническом днище трубы 5.

7.2.4. Горизонтальные реакторы

Примером такого рода аппаратов является поликонденсатор для непрерывного синтеза полиэтилентерефталата, вид которого показан на рис. 2.7.19.

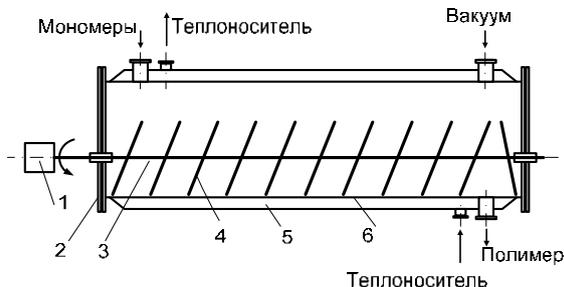


Рис. 2.7.19. Горизонтальный реактор для синтеза полиэтилентерефталата

Реактор представляет собой цилиндрический горизонтальный сосуд 6, снабженный обогревающей рубашкой 5.

Перемешивание и транспортировка массы вдоль корпуса реактора осуществляется вращающимися сетчатыми наклонными дисками 4. Вместо дисковой мешалки можно установить мешалку с лопастями, которые образуют спиральную поверхность. Вал мешалки 3 вращается от привода 1 в подшипниках, установленных в плоских крышках 2. Вращающиеся диски перемещают массу вдоль корпуса к выходу из аппарата.

В реакторе обеспечен хороший подогрев массы и большая поверхность зеркала испарения массы, необходимая для полного удаления низкомолекулярных веществ. Для этого реактор заполняют массой до оси вала мешалки.

Процесс поликонденсации протекает в тонком слое. Масса покрывает тонким слоем диски и попадает в паровое пространство реактора, где создается разрежение. При этом достигается эффективное удаление выделяющихся при реакции паров низкомолекулярных веществ. Масса с дисков удаляется скребками. Корпуса аппарата и все его части, соприкасающиеся с реакционной массой, изготовлены из кислотостойкой стали.

При наличии реакционной массы с большой вязкостью применяют горизонтальные пленочные реакторы с вращающимся корпусом (рис. 2.7.20).

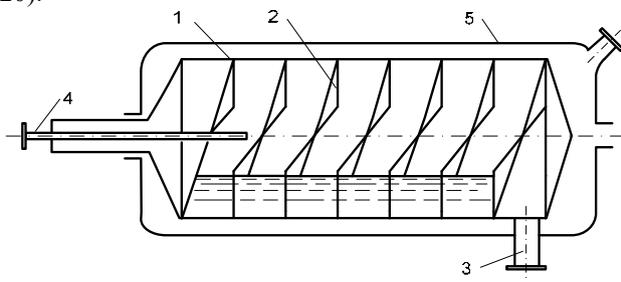


Рис. 2.7.20. Реактор с вращающимся корпусом

Масса располагается тонким слоем на внутренней поверхности вращающегося корпуса 1. Внутри реактора установлена спиральная мешалка 2, которая при вращении корпуса перемешивает массу и продвигает ее для выгрузки к штуцеру 3. Компоненты вводятся в реактор через питающую трубу 4. Реактор обогревается через неподвижную гладкую рубашку 5.

7.2.5. Ленточный полимеризатор

Ленточный полимеризатор (рис. 2.7.21) представляет собой газонепроницаемый короб и имеет в качестве основного рабочего органа бесконечную стальную ленту, натянутую на два барабана. Один барабан неподвижен и является приводным, другой имеет возможность перемещаться вдоль оси полимеризатора с целью натяжения ленты.

Лента (рис. 2.7.22) изготовлена из специальной нержавеющей стали толщиной около 0,6 мм. Ширина ленты – 450 мм, длина пути по горизонтали – около 9 м, скорость движения ленты – 60 м/мин. Общая длина реактора 10 м. В средней части аппарата между барабанами установлен на кронштейне лоток, вследствие чего верхняя ветвь ленты принимает лоткообразную форму, в которой хорошо удерживается реакционная смесь.

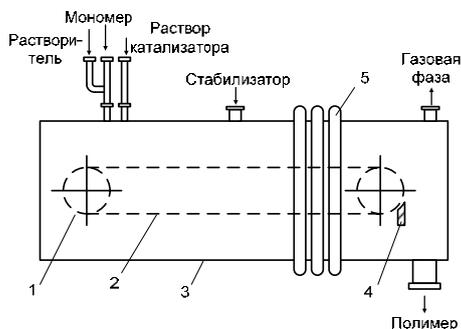


Рис. 2.7.21. Ленточный полимеризатор:

1 – барабан; 2 – лента; 3 – корпус; 4 – нож; 5 – компенсатор.

Исходный мономер (изобутилен) подается на ленту полимеризатора после смешения в трубопроводе с растворителем (этиленом) в соотношении 1:1. Далее на ленту подается катализатор (раствор фтористого бора в этилене).

Для предотвращения деполимеризации полиизобутилена при нагревании на ленту полимеризатора непрерывно поступает стабилизатор, в качестве которого обычно применяют 20%-ный раствор трет-бутилфенолсульфида в низкомолекулярном полиизобутилене. Реакция длится несколько секунд, степень превращения достигает 90...94%.

На ленте откладывается слой полимера толщиной 2...3 см, затем этот слой срезается ножом, и полимер после дегазации подается на упаковку.

Недостатком реактора является частый обрыв ленты. При бурном начале реакции выделяется много газообразного растворителя, который подхватывает крошку полимера. В результате такого разбрызгивания на стенках реактора нарастает слой полимера, затрудняющий движение ленты и способствующий выходу ее из строя.

7.2.6. Реакторы типа теплообменников

На рис. 2.7.23 показан трубчатый реактор для синтеза бутилкаучука.

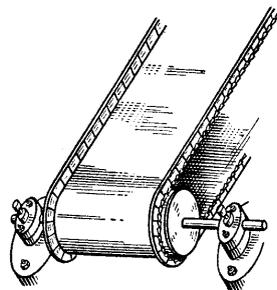


Рис. 2.7.22. Лента полимеризатора

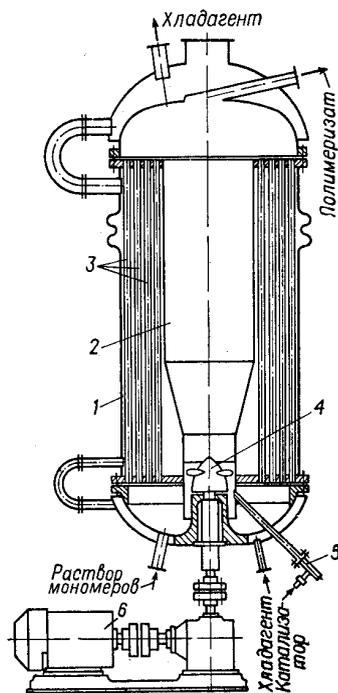


Рис. 2.7.23. Полимеризатор для синтеза бутилкаучука:

1 – корпус; 2 – центральная циркуляционная труба; 3 – трубки; 4 – осевой насос; 5 – форсунка; 6 – электродвигатель.

Для интенсивной внутренней циркуляции реагентов предусмотрен осевой насос 4 (пропеллерная мешалка). Для интенсивного отвода тепла, выделяющегося при полимеризации изобутилена с изопреном, аппарат имеет встроенный охлаждаемый трубный пучок 3.

Верхнее и нижнее днища аппарата снабжены рубашками. Хладагент (жидкий этилен с температурой -104°C) проходит последовательно рубашку нижнего днища, межтрубное пространство корпуса и рубашку верхнего днища.

Мешалка обеспечивает турбулентный режим движения реакционной массы, что способствует уменьшению налипания полимера на внутренние поверхности реактора. Через 20...60 ч работы аппарат останавливают на чистку от полимера путем растворения его в чистом углеводородном растворителе при работающей мешалке.

Циркуляционный контур состоит из центральной трубы 2 и периферийных контактных трубок 3. В периферийных трубках смесь охлаждается. Направление вынужденной конвекции, создаваемой мешалкой, совпадает с направлением естественной конвекции, и в центральной трубе смесь движется вверх, а в периферийных трубках – вниз.

Для более быстрого смешения катализатора с циркулирующей реакционной смесью его подают через форсунку 5 в центральную циркуляционную трубу непосредственно под мешалку. Форсунка позволяет регулировать расход катализатора и конструктивно напоминает обычный вентиль удлиненного типа. Клапан форсунки снабжен иглой, с помощью которой прочищается сопло при забивке его полимером.

7.2.7. Трубчатый полимеризатор

Метод полимеризации этилена в газовой фазе при высоком давлении и повышенной температуре в присутствии инициатора является основным способом производства полиэтилена высокого давления.

Процесс полимеризации осуществляется в трубчатом полимеризаторе. Он является наиболее типичным представителем аппаратов идеального вытеснения.

Конструктивными особенностями полимеризатора являются небольшой внутренний диаметр его труб и небольшая толщина стенок, что обеспечивает большую поверхность теплообмена, приходящуюся на единицу объема полимеризатора, и позволяет осуществить интенсивный теплообмен. На рис. 2.7.24 показана конструкция трубчатого полимеризатора.

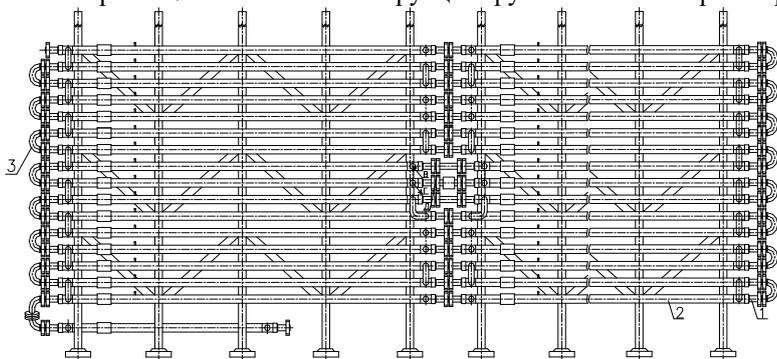


Рис. 2.7.24. Трубчатый полимеризатор:

1 – трубчатка; 2 – рубашка; 3 – калач.

Труба 1 имеет длину 2...4 м при общей длине полимеризатора 57...100 м. Трубы заключены в рубашку 2 и соединены между собой

двойниками или калачами 3. Труба в рубашке центруется, как показано на рис. 2.7.25.

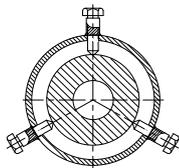


Рис. 2.7.25. Центровка трубы в рубашке

На рис. 2.7.26 показано соединение труб с помощью линзового уплотнения. Концы соединяемых трубы 1 и калача 2 имеют резьбу, на которую наворачиваются фланцы 3 и 4. Края трубы и калача несколько выступают из фланцев. Торцы трубы и калача обрабатывают на конус под углом 20° . Форма уплотняющей линзы 5, которая помещается на стыке трубы и калача, – сферическая. При затягивании болтов фланцевого соединения торцы трубы и калача плотно прижимаются к линзе и создают надежное уплотнение. Линзу изготавливают из более мягкого металла, чем металл трубы, что обеспечивает необходимую плотность соединения. При необходимости таким же образом уплотняют узел отбора проб (рис. 2.7.27).

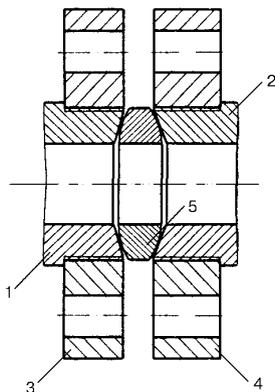


Рис. 2.7.26. Линзовое уплотнение:

1 – труба; 2 – калач; 3,4 – фланцы на резьбе; 5 – уплотняющая линза.

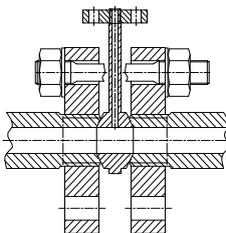


Рис. 2.7.27. Узел отбора проб в трубчатом полимеризаторе

Разработана конструкция полимеризатора производительностью 400...500 кг/ч полиэтилена с длиной трубчатки 350 м. Аппарат имеет 33 трубы длиной 7886 мм каждая. Рабочее давление в реакторе – 145...150 МПа, расчетное давление в рубашке – 6,0 МПа. Материал труб, а также калачей и линз – сталь 20Х3МВФ, материал рубашки – Ст.20.

Длину зоны полимеризации при турбулентном режиме движения массы по трубе рассчитывают по формуле

$$L = \frac{4V \cdot T}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2} \text{ м,}$$

где V – объемная минутная производительность реактора, м³/мин; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр полимеризатора, выбранный по расчетному диаметру трубы согласно ГОСТ на толстостенные трубы из легированных сталей; T – температура, °С.

Принятые внутренний диаметр и длина трубы полимеризатора проверяются тепловым расчетом. Установлено, что 25...30% тепла реакции полимеризации отводят через стенку трубчатки с помощью хладагента. Затруднения с отводом тепла реакции не позволяют повысить производительность трубчатки без увеличения ее длины.

Трубчатый полимеризатор состоит из трех технологических зон. Первая зона выполнена из труб с внутренним диаметром 10 мм. Она служит для нагрева этилена паром, который поступает в паровую рубашку каждой трубы. Вторая зона выполнена из труб с диаметром 16 мм, а третья зона из труб с диаметром 24 мм. Во второй и третьей зонах идет процесс полимеризации. Тепло реакции отводится перегретой водой, подаваемой в гладкую рубашку каждой трубы. Расход мономера на каждую зону поддерживают одинаковым.

Часть тепла реакции, протекающей во второй технологической зоне, используют для нагрева до температуры реакции мономера, поступающего в следующую зону. Степень конверсии мономера возросла до 15...17% (12...15% ранее).

Производительность реактора возросла в 1,5 раза за счет снижения времени пребывания мономера в зонах реакции и за счет отвода тепла реакции дополнительным вводом мономера.

Основными факторами, определяющими производительность трубчатого реактора, степень конверсии мономера в нем и молекулярно-массовое распределение получаемого полимера, являются:

- подача газа;
- количество инициатора;
- давление и температура газа на входе в реактор и выходе из него;
- температура реакционной массы по секциям.

7.2.8. Реакторы пленочного типа

Реактор пленочного типа (рис. 2.7.28) может быть выполнен в виде двух concentрических цилиндров с теплопроводными стенками.

Внутренний цилиндр выполнен в виде винта, который при вращении равномерно перемешивает реакционный слой и перемещает его вдоль оси реактора. Меняя скорость вращения внутреннего цилиндра и, следовательно, время пребывания массы в реакторе, варьируют характеристики получаемого полимера. Реакционная смесь из реактора подается в испарительную камеру, находящуюся под вакуумом. Мгновенное расширение вызывает разделение реакционной массы на смолу и побочные продукты реакции. Освобожденная от примесей смола непрерывно отбирается шнеком на охлаждение.

Другим примером реактора пленочного типа может служить аппарат со свободным движением пленки вдоль обогреваемой поверхности (рис. 2.7.29).

Реактор выполнен в виде колонны 1, разделенной коническими поверхностями на ряд реакционных камер, изолированных друг от друга с помощью гидрозатворов. Каждая камера имеет индивидуальный отвод 4 газообразных продуктов реакции поликонденсации. Компоненты по питающему патрубку 5 попадают в верхнюю камеру.

Реакционная масса стекает вдоль обогреваемой конической поверхности 2 к стенке колонны и попадает в периферийный гидрозатвор 3, затем движется по следующей конической поверхности 6 к центральному гидрозатвору 7. Готовый продукт отбирается из нижней секции аппарата.

Недостатком реактора пленочного типа со свободным движением пленки является плохое перемешивание массы, имеющей повышенную вязкость.

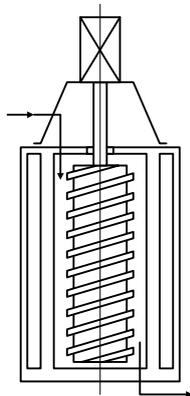


Рис. 2.7.28. Реактор пленочного типа из двух concentрических цилиндров

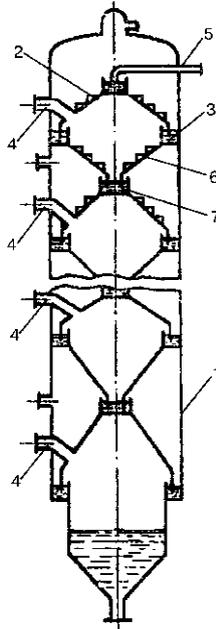


Рис. 2.7.29. Камерный реактор пленочного типа

Центробежный реактор пленочного типа показан на рис. 2.7.30.

Реактор представляет собой вертикальный сосуд с верхней цилиндрической 1 и нижней конической частью. Обогрев его осуществляется через многосекционную рубашку 3. По касательной к корпусу реактора установлено одно двухкамерное сопло 4. Сопло обогревается через рубашку. Один из компонентов дозировочным насосом под давлением подается в центральную трубу сопла, а другой – в тангенциально установленный штуцер. Второй компонент движется спирально по сужающемуся конусу корпуса сопла. При выходе из конца сопла этот поток разбивает поток, движущийся по центральному каналу. Создается высокоразвитая поверхность контакта фаз. Поток диспергированной смеси движется по спирали тонким слоем вдоль нагретой поверхности конусной части реактора 2.

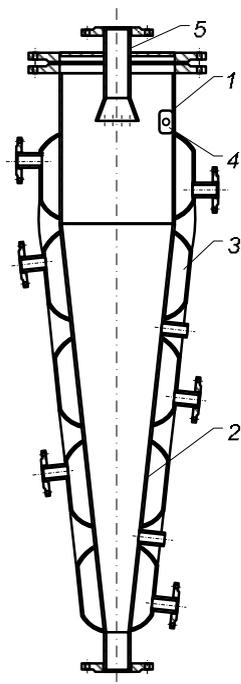


Рис. 2.7.30. Схема центробежного реактора пленочного типа:
 1 – цилиндрическая часть; 2 – нижняя коническая часть; 3 – рубашка; 4 – двухка-
 мерное сопло; 5 – штуцер.

Реакция поликонденсации протекает в течение нескольких секунд. Пары низкомолекулярного продукта реакции отводятся из реактора через штуцер 5, а полимер через нижний штуцер поступает на дальнейшую переработку.

7.2.9. Секционный поликонденсатор

Схема устройства такого реактора поликонденсации показана на рис. 2.7.31.

Реактор представляет собой полый цилиндр, образованный из отдельных секций, собранных на приводном валу 1 и стянутых болтами 4. В каждую половину секцию 2 подводят и отводят теплоноситель или хладагент.

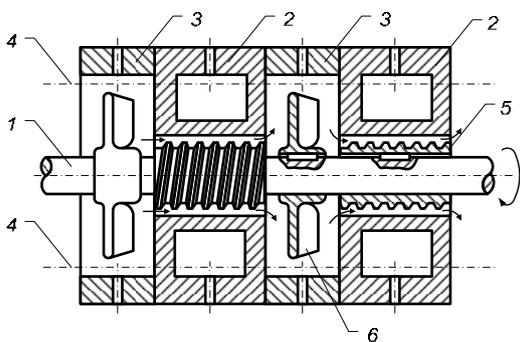


Рис. 2.7.31. Секционный поликонденсатор:

1 – приводной вал; 2 – кольцевые полые секции; 3 – кольцевые сплошные секции; 4 – болты; 5 – шнековые элементы; 6 – перемешивающие диски.

Вал 1 проходит внутри секций. На нем укреплены рабочие органы реактора – шнековые элементы 5, служащие для продвижения массы из секции в секцию вдоль конуса аппарата, и перемешивающие диски 6 с радиальными лопастями. В сплошных секциях установлены штуцеры для ввода реагирующих веществ и отбора массы. Конструкция реактора позволяет вести комбинированную сборку секции в зависимости от требований технологического процесса.

7.2.10. Шнековые реакторы

Такие реакторы состоят из обогреваемого теплоизоляционного корпуса, шнека, привода его вращения. Такие реакторы используют для сред с вязкостью до 10 Па·с при рабочей температуре 300°C. На рис. 2.8.32 показана схема горизонтального двухшнекового реактора.

Реактор состоит из корпуса с рубашкой 1, в котором вращаются два шнека 2, вертикального шнека-разгрузчика 3, дегазационного 4 и разгрузочного штуцера 5. Расплав форконденсата подается через загрузочное устройство в корпус реактора. Уровень расплава ниже диаметра шнека, поэтому нитки шнека постоянно выступают над его поверхностью, обеспечивая вакуумирование тонких слоев расплава. В корпусе поддерживается глубокий вакуум, способствующий удалению низкомолекулярного вещества в процессе поликонденсации. Время пребывания реакционной массы в реакторе – от 1 до 2,5 ч, средняя частота вращения шнеков – 0,15...0,2 с, производительность реактора – до 400 кг/ч.

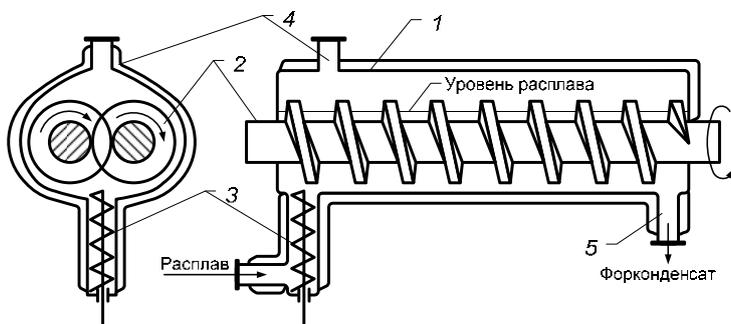


Рис. 2.7.32. Схема горизонтального двухшнекового реактора:
 1 – корпус; 2 – шнеки; 3 – горизонтальный загрузочный шнек; 4 – штуцер для дегазации; 5 – разгрузочный штуцер.

7.3. Заключение

Условия работы и конструкция реакционных устройств в производстве полимеров весьма разнообразны.

На форму реактора оказывает существенное влияние фазовое состояние реагирующих в нем веществ, температура, давление и другие факторы.

Выбор оптимальной конструкции реактора для проведения полимеризации – непростое дело. Тем более, что при таком выборе следует принимать во внимание экологические и экономические соображения, игнорирование которых в современных условиях недопустимо.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию реакционных устройств в производстве полимеров.
2. Охарактеризуйте реакторы емкостного типа.
3. Приведите устройство и принцип работы ленточного реактора.
4. Охарактеризуйте реакторы колонного типа.
5. Каково устройство реактора трубчатого типа и области его применения?
6. Охарактеризуйте устройство и принцип работы пленочных реакционных устройств.
7. Каковы основные типы реакционных устройств для проведения процессов поликонденсации?

Глава 8. Разработка и выбор вспомогательного оборудования производства полимеров

Вспомогательное оборудование условно разделяется на две основные группы:

- нестандартизованную аппаратуру, представляющую собой главным образом конструкции котельно-сварного типа;
- стандартизованное оборудование – компрессоры, насосы, центрифуги, машины для обработки пластмасс и т. д.

При подборе оборудования для оснащения нового цеха следует стремиться к максимальному использованию типового, стандартизованного, серийно выпускаемого оборудования. Большое разнообразие химических процессов, различные условия их протекания (от вакуума до высоких давлений), разная производительность проектируемых установок делают целесообразной разработку аппаратов, специально приспособленных для работы в конкретном производстве. К такому оборудованию в основном относятся емкостная аппаратура, некоторые виды теплообменников, колонные аппараты.

Рабочие чертежи этих аппаратов разрабатываются в конструкторских бюро машиностроительных заводов. Основанием для разработки служит технический проект аппарата, прилагаемый к заказу и состоящий из расчетов и чертежей общего вида и наиболее ответственных узлов. Основанием для разработки технического проекта служит задание соответствующего механико-технологического отдела.

Задание состоит из эскиза общего вида аппарата и его краткой технической характеристики. В процессе эскизной проработки конструкции аппарата механики совместно с технологами выполняют следующую работу:

- разрабатывают мероприятия, обеспечивающие заданный технологический режим;
- определяют материал аппарата и его отдельных узлов;
- выясняют возможность применения типовых узлов и цельных агрегатов;
- проверяют соответствие основных размеров аппарата, определенных в процессе технологического расчета, действующим ГОСТ и стандартам;
- разрабатывают детали и приспособления, облегчающие транспортировку аппарата, его монтаж, обслуживание в процессе эксплуатации (чистки, замена быстро изнашивающихся деталей) и демонтаж;
- разрабатывают мероприятия по безопасной эксплуатации проектируемого оборудования.

До начала эскизного конструирования механик-проектировщик должен получить полное представление о месте проектируемого аппарата в технологической схеме производства и его назначении, а также разместить его в помещении цеха. Затем следует собрать все исходные данные, в число которых входят:

- рабочие параметры процесса (температура, давление);
- физические и химические свойства перерабатываемых веществ, особенно агрессивных при рабочих условиях;
- максимальные расходы через различные элементы и узлы аппарата;
- основные размеры аппарата, определенные в процессе технологического расчета оборудования (например, диаметр колонны, высота и длина аппарата и т. д.);
- характеристика помещения в соответствии с правилами электроустановок для оборудования с электроприводом;
- сведения о характере технологического процесса (непрерывный или периодический);
- способы эксплуатации аппарата;
- опыт эксплуатации аналогичных аппаратов;
- особенности строительных конструкций, на которые предполагается установить аппарат.

При разработке конструкции необходимо стремиться к ее максимальной технологичности, придавать аппаратам простые формы, удобные для изготовления и доступные для разработки. Не следует забывать, что переделать проект легче, чем потом оказаться перед выбором: переделывать аппаратуру или мириться с ее плохой работой.

Рассмотрим теперь особенности эскизного конструирования различных групп аппаратов, используемых в производстве полимеров.

8.1. Емкостная аппаратура

К емкостной аппаратуре относятся сборники (вертикальные, горизонтальные, сферические) инерционные и центробежные сепараторы, сферические и цилиндрические резервуары, разделительные сосуды, мерники, отделители высокого и низкого давления.

Требуемый объем емкостной аппаратуры определяют по формуле

$$V = \frac{G \cdot \tau}{\rho \cdot \varphi},$$

где G – часовая производительность по продукту, для которого предназначена емкость (берется из материального баланса); τ – время, на которое рассчитывается расход жидкого продукта (берется по технологическим соображениям); ρ – плотность жидкости; φ – коэффициент заполнения емкости, обычно $\varphi = 0,6 \dots 0,8$.

Исходными данными для разработки эскиза сборника служат:

- расчетный объем;
- рабочие давление и температура;
- физические и химические свойства среды;
- назначение сборника.

Разработка эскиза сборника состоит из следующих этапов:

- определение формы аппарата;
- выбор конструкционного материала;
- определение штуцеров и устройств, необходимых для поддержания заданного режима;
- разработка вспомогательных устройств и деталей;
- оформление задания на разработку технического проекта емкости.

Большие сборники (объемом больше 25 м^3), работающие под давлением или вакуумом, обычно выполняются в виде горизонтальных цилиндрических аппаратов с приварными эллиптическими днищами (рис. 2.8.1).

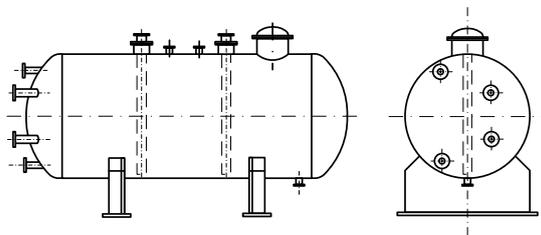


Рис. 2.8.1. Горизонтальный сборник с эллиптическими днищами

С целью уменьшения теплопередающей поверхности при необходимости максимального объема сборник для сжиженных углеводородов часто проектируют в виде сфер емкостью до 400 м^3 (рис. 2.8.2).

Сборники емкостью до 50 м^3 , работающие под избыточным давлением, можно выполнять в виде горизонтальных и вертикальных аппаратов (рис. 2.8.3) с приварными эллиптическими днищами. При этом следует иметь в виду, что горизонтальные ап-

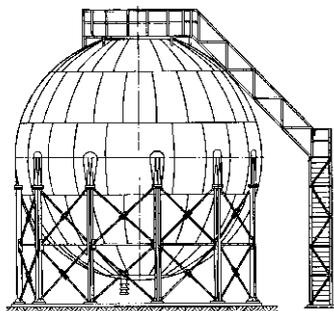


Рис. 2.8.2. Шаровый резервуар

параты проще обслуживать, а вертикальные аппараты занимают значительно меньше места на территории цеха.

С целью экономии рабочего места сборники, работающие при атмосферном давлении, рекомендуется выполнять в виде вертикальных ци-



Рис. 2.8.3. Вертикальный цилиндрический сборник

линдрических аппаратов с приварными плоскими днищами и плоскими сферическими или коническими крышками. Форма крышки зависит от диаметра аппарата и от материала, из которого он изготовлен. Стальные аппараты диаметром до 1400 мм имеют плоские съемные крышки, а свыше 1400 мм – приварные.

Для мерников и отстойников обычно проектируют конические днища (рис. 2.8.4), облегчающие их опорожнение.

На технологической схеме, входящей в состав проектного задания, должны быть показаны все трубопроводы, связанные с рассматриваемым аппаратом, и приведены их условные проходы.

Количество штуцеров должно быть равно количеству трубопроводов, а их условные проходы должны быть не меньше условных проходов труб. Минимальный условный проход штуцера составляет 40 мм.

В общем случае на емкостной аппаратуре могут размещаться штуцеры для следующих назначений:

- входа и выхода продукта;
- входа и выхода теплоносителя и хладагента;

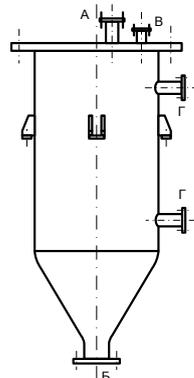


Рис. 2.8.4. Мерник с коническим днищем

- установки воздушника;
- установки предохранительного клапана;
- опорожнения аппарата;
- установки манометра, термометра сопротивления (термопары, регулятора уровня);
- перелива избытка продукта;
- установки мерных стекол;
- отбора проб;
- установки погружных насосов или перемешивающего устройства;
- установки дыхательного клапана, смотрового стекла, а также лаза и вентиляционного люка.

Входные штуцеры обычно располагаются в верхней части аппарата. Они могут быть простыми или с сифоном (см. рис. 2.8.1), т. е. с трубой, опущенной внутрь аппарата на максимально возможную глубину. Сифон предусматривается в тех случаях, когда в аппарат поступает жидкость – диэлектрик. Наличие сифона предотвращает разбрызгивание жидкости и уменьшает образование электростатического электричества. Конструкция штуцера и сифона должна обеспечивать его извлечение из аппарата.

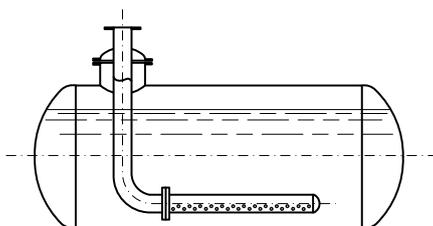


Рис. 2.8.5. Штуцер с распределительным устройством – барботером

Штуцеры для входа воздуха или азота для перемешивания, а также для ввода острого пара снабжаются распределительными устройствами – барботерами (рис. 2.8.5). Диаметр отверстий в барботерах выбирается в пределах 3...10 мм, а их суммарное сечение должно быть в 2...3 раза меньше сечения подводящего трубопровода.

Штуцеры сборников, предназначенные для выхода газообразного продукта, располагаются в верхней части аппарата. Штуцеры для выхода жидкого продукта могут располагаться как в нижней, так и в верхней его части.

Диаметр воздушника выбирается из условия обеспечения выпуска воздуха, вытесняемого из сборника жидкостью при ее максимально возможном поступлении. При этом скорость газа в воздушнике не должна

превышать 15 м/с. Таким же образом определяется диаметр штуцера для дыхательного клапана.

Дренажные штуцеры, как правило, устанавливаются в днище вертикального аппарата (рис. 2.3.12а) или на уровне нижней образующей обечайки горизонтального аппарата (рис. 2.3.12б). При недостатке высоты для установки аппарата дренажный штуцер врезается сбоку и снабжается сифоном (рис. 2.3.12в).

Расстановка штуцеров для присоединения датчиков системы контроля и автоматики, их конструкция и размеры определяются совместно проектировщиками техотдела и отдела контроля и автоматики.

Для замера и регулирования уровня чаще всего применяются регуляторы уровня камерные цилиндрические с поплавками (РУКЦ). Для их установки на обечайке вертикальных аппаратов или на одном из боковых днищ горизонтального аппарата предусматриваются два штуцера $D_y = 40$ мм (один – в газовой, другой – в жидкой части содержимого аппарата).

Все данные о штуцерах должны быть сведены в таблицу, рекомендуемая форма которой приведена ниже (табл. 2.8.1).

Таблица 2.8.1

Таблица штуцеров (см. рис. 2.8.4)

Условные обозначения	Назначение штуцера	D_y , мм
А	Вход продукта	50
Б	Выход продукта	50
В	Воздушник	40
Г	Для мерного стекла	40

Для обслуживания арматуры, установленной над верхними штуцерами, предусматриваются металлические площадки. Их форма и способ крепления зависят от взаимного расположения аппаратов. Для уменьшения размеров обслуживающих площадок все верхние штуцеры больших размеров следует располагать в одном месте и как можно ближе друг к другу. На рис. 2.8.6 показано несколько типов обслуживающих площадок.

Последним этапом эскизной разработки емкостной аппаратуры является расположение штуцеров в плане. В основном оно зависит от общего расположения аппарата, принятого при разработке технического проекта. Все штуцеры должны быть расположены так, чтобы обеспечить трубопроводную связь между аппаратами по кратчайшим путям и с минимальным числом поворотов. При эскизном конструировании в зависимости от сложности аппарата нужно предусмотреть от 2 до 5 запасных

штуцеров различных диаметров. Во время пусковой доводки производства почти всегда появляются новые трубопроводы, которые можно подключить к этим штуцерам.

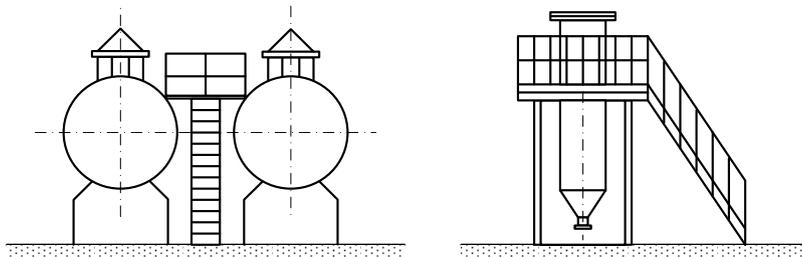


Рис. 2.8.6. Установка аппаратов с площадками для обслуживания

Оформление задания на разработку технического проекта емкости производится следующим образом.

Вычерчивается эскиз аппарата (вид сбоку и план) и наносятся основные размеры: длина (высота) цилиндрической части аппарата, диаметр, расстояние между штуцерами, минимальное расстояние от низа лап до фланца самого нижнего штуцера, размеры монорейса с указанием его грузоподъемности, высотная привязка штуцеров для установки КИП, греющего элемента, перемешивающего органа мешалки, размеры площадок, укрепляемых на аппарате.

Составляются технические требования к аппарату в которых указывается номинальный объем аппарата по ГОСТ, давление в аппарате и греющем элементе, рабочая температура среды в аппарате и температура стенки греющего элемента, поверхность теплообмена греющего элемента и размер его основных деталей (если он нормализован, то нужно дать ссылку на нормаль), тип перемешивающего устройства и число оборотов мешалки, вязкость перемешиваемой среды и ее состав, коррозионные свойства рабочей среды, рекомендации к выбору конструкционного материала аппарата и отдельных его деталей, приводится таблица штуцеров.

Кроме того, задание должно содержать указания о необходимости изоляции аппарата, о предполагаемом месте его установки, специальные требования к проведению испытаний. Задание должно быть согласовано с отделом контроля и автоматики.

8.2. Теплообменники

В исходные данные для проектирования включены: назначение теплообменника, расчетная поверхность теплопередачи, средняя температура стенки корпуса (например, температура обечайки), средняя температура стенки, разделяющей теплообменивающиеся среды (например, температура стенки трубки кожухотрубчатого теплообменника), давления во всех частях теплообменника, часовые расходы теплообменивающихся потоков, принятые скорости потоков в теплообменнике, схемы теплообмена, сведения о коррозионных свойствах теплообменивающихся сред, допустимые потери давления в потоках.

Как правило, проектировщики применяют стандартную теплообменную аппаратуру. Выбор теплообменников производят по величине поверхности теплообмена:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t},$$

где Q – тепловая нагрузка (берется из данных теплового баланса); K – коэффициент теплопередачи, принимается по справочным данным или производственной технической документации; Δt – перепад температур, определяется на основе норм технологического режима.

При разработке аппарата вначале выбирают тип теплообменника, рассчитывают его наиболее характерные размеры, определяют основные и вспомогательные штуцеры и их размеры, разрабатывают вспомогательные устройства и приспособления и выбирают конструкционный материал. Далее переходят к составлению задания на разработку технического проекта теплообменника.

Наиболее распространенными являются *кожухотрубчатые теплообменники* (рис. 2.8.7). Поэтому в первую очередь следует выяснить, не может ли быть применен теплообменник такого типа. Остановив свой выбор на кожухотрубчатом теплообменнике, решают, в какое пространство (трубное или межтрубное) должен быть направлен тот или иной теплоноситель.

В трубное пространство целесообразно подавать: теплоносители с меньшим часовым расходом; загрязненные теплоносители (высокие скорости, более легко достигаемые в трубах, будут препятствовать отставанию и выделению взвешенных частиц); теплоносители под более высоким давлением; коррозионно-агрессивные теплоносители; теплоносители с очень высокой или, напротив, очень низкой температурой, так как при этом уменьшаются потери тепла в окружающую среду.

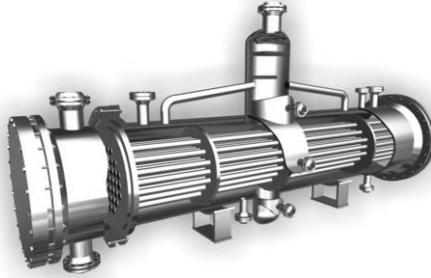


Рис. 2.8.7. Кожухотрубчатый теплообменник

В межтрубное пространство нужно подавать: конденсирующиеся пары или кипящие жидкости; теплоноситель с большим часовым расходом; теплоноситель с низким коэффициентом теплоотдачи, позволяющим применять оребренные трубы (к этой группе относятся теплоносители, характеризующиеся отсутствием загрязнений, нейтральные по отношению к материалу труб).

Затем определяют положение, в котором будет установлен теплообменник (вертикальное или горизонтальное). Это зависит от ряда факторов. Вертикальные аппараты занимают меньшую производственную площадь, отвод конденсата из трубного пространства конструктивно упрощается. Горизонтальные теплообменники легче обслуживать.

Зная температуру стенок теплообменника, можно решить вопрос о компенсации температурных деформаций. Если давление в межтрубном пространстве не превышает 1,6 МПа, то три $\Delta t = 50$ °С для компенсации температурных деформаций предусматривают *линзовые компенсаторы*; при более высоком давлении разрабатываются *теплообменники с плавающей головкой* (рис. 2.8.8).

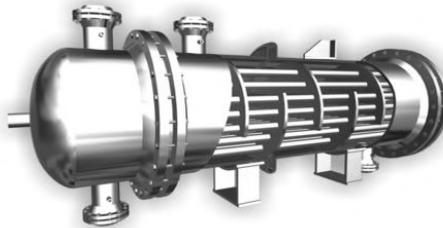


Рис. 2.8.8. Теплообменник с плавающей головкой

Теплообменники с плавающей головкой следует применять и в том случае, если существует опасность загрязнения трубного и межтрубного пространств. Для облегчения механической чистки межтрубного пространства трубки должны располагаться по вершинам квадрата. При вертикальном расположении теплообменника с плавающей головкой приходится выбирать ее положение. Обычно плавающая головка размещается в нижней части аппарата. Однако при таком расположении дренаж трубного пространства затруднен.

Кроме кожухотрубчатых теплообменников достаточно распространены другие типы теплообменников.

Оросительные теплообменники применяются с целью экономии охлаждающей воды, имеют ряд недостатков, в числе которых – большая металлоемкость, обмерзание в зимнее время, повышенная атмосферная коррозия. Применяются преимущественно в южных районах.

Погружные теплообменники малоэффективны с точки зрения теплопередачи и применяются в основном как подогреватели в сборниках и для подогрева сильно загрязненных или очень вязких веществ.

Если через трубное пространство предполагается пропускать чистое вещество, не дающее никаких отложений, то может быть выбран теплообменник с *U-образными трубками*.

К наиболее употребительным «интенсивным» теплообменникам, т. е. имеющим высокий коэффициент теплопередачи, относятся теплообменники типа «*труба в трубе*» (рис. 2.8.9а) и *пластинчатые* (рис. 2.8.9б). Недостаток последних — относительная сложность конструкции. В разборных пластинчатых теплообменниках температура теплоносителя ограничивается 150°С (с учетом свойств резиновой прокладки), давление не должно превышать 0,1 МПа.

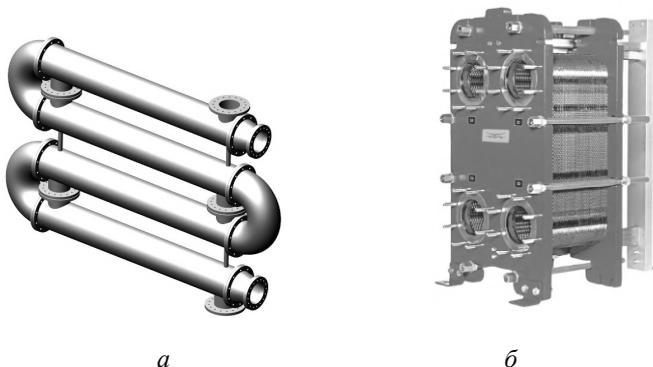


Рис. 2.8.9. Элементный (а) и пластинчатый (б) теплообменники

Применяется также большое количество аппаратов с поверхностью теплообмена, изготовленной из *орбренных труб* (рис. 2.8.10).

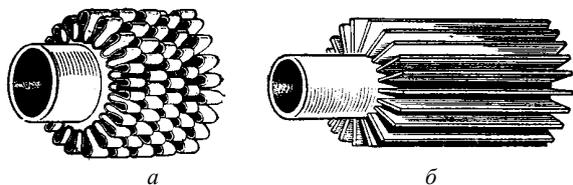


Рис. 2.8.10. Элементы теплообменных аппаратов с орбренными трубами:
а – многоорбренная трубка; б – трубка с продольным орбрением.

Кожухопластинчатые теплообменники состоят из кассетного пакета, заключенного в цилиндрический корпус (рис. 2.8.11). Каждая кассета образована двумя профилированными пластинами, приваренными по трем сторонам и имеющими продольную перегородку. Эта перегородка формирует U-образный поток среды, протекающей внутри кассеты. Кассеты собраны в пакет с фиксированными зазорами между собой.

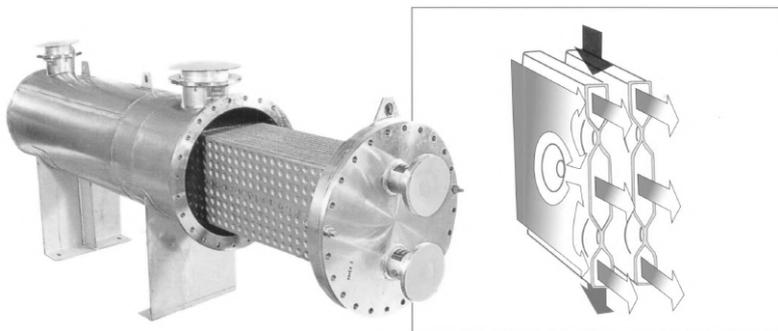


Рис. 2.8.11. Кожухопластинчатый теплообменник

Как и в кожухотрубчатых теплообменниках, циркуляция среды по стороне кожуха может осуществляться как при помощи поперечных перегородок (многоходовая схема по стороне кожуха), так и вдоль обечайки кожуха параллельно кассетному пакету.

Выбор размеров теплообменника производится с учетом нормализованных рядов размеров, сохранения или незначительного увеличения расчетной поверхности теплопередачи, сохранения или незначительного увеличения расчетных скоростей теплообмениваемых потоков и условий монтажа и ремонта.

Задание на разработку технического проекта теплообменника состоит из эскиза аппарата (план и вид сбоку) с размерами; схематического изображения приспособления для ремонта, чистки и других целей; таблицы штуцеров, в которую заносятся те же данные, что и в задание на разработку проекта сборника. В задание также входит техническая характеристика, содержащая следующие сведения: расчетную поверхность теплообмена (в м²), расчетную среднюю температуру стенок трубок и кожуха (в °С); рабочее давление в трубном и межтрубном пространствах аппарата; характеристику теплообмениваемых потоков в рабочих условиях (коррозионную агрессивность, загрязненность, способность полимеризоваться, вязкость).

8.3. Колонные аппараты

Колонная аппаратура предназначена для разделения смесей соединений органической природы (рис. 2.8.12). Как правило, для вновь проектируемого производства они изготавливаются по индивидуальному проекту. Целью расчета ректификационных колонн является определение параметров технологического режима и размеров аппарата. К параметрам режима относятся: рабочее давление в аппарате; температуры входа и выхода различных материальных потоков; расход теплоты на испарение остатка и расход холода на конденсацию дистиллята.

Основными параметрами, определяющими заданное разделение в процессе ректификации, являются флегмовое число (кратность орошения) и число ректификационных тарелок. Для бинарных смесей:

$$R_{\min} = \frac{y_D - y_F}{y_F - x_F}$$

где y_D , y_F , x_F – мольные концентрации низкокипящего компонента в дистилляте, паровой фазе сырья, жидкой фазе сырья соответственно.

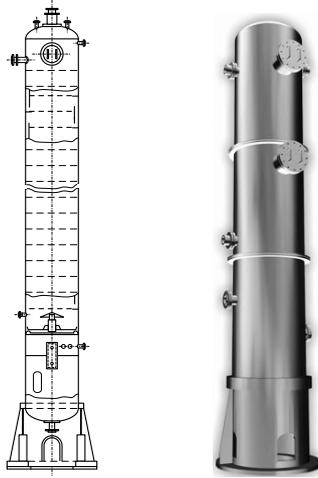


Рис. 2.8.12. Ректификационная колонна с ситчатыми тарелками

Оптимальное флегмовое число находится из выражения

$$R_{\text{опт}} = R_{\text{мин}} \cdot K,$$

где $K = 1,15 \dots 1,55$ – для колонн, работающих при атмосферном и повышенном давлении и $K = 1,3 \dots 2,6$ – для вакуумных колонн.

$$\frac{R_{\text{опт}} - R_{\text{мин}}}{R_{\text{опт}} + 1} = 0,1 \dots 0,33.$$

Следующий этап расчета – определение числа теоретических и действительных тарелок. При ректификации бинарных смесей число теоретических тарелок находят, решая совместно уравнения равновесия фаз, материального и теплового балансов и используя графический метод расчета. Для ориентированного определения диаметра колонн D_K (в м) используют выражение

$$D_K = \sqrt{\frac{\pi \cdot V}{4 \cdot w}},$$

где V – объемный расход паров в расчетном сечении колонн, $\text{м}^3/\text{с}$; w – допустимая скорость паров в колонне, $\text{м}/\text{с}$.

Величину w рассчитывают по формуле

$$w = C_{\text{макс}} \cdot \sqrt{h \cdot \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{п}}}},$$

где $\rho_{ж}$, $\rho_{п}$ – плотность жидкости и паров, кг³/м соответственно, h – расстояние между тарелками, м; C_{\max} – коэффициент, зависящий от типа применяемой тарелки, расстояния между тарелками и т. д.

В процессе конструирования колонны проектировщик выполняет ее эскиз (вид сбоку и один или несколько планов), являющийся графической частью задания на разработку технического проекта. Кроме того, задание состоит из описи присоединительных штуцеров, технических условий и специальных требований. В технические условия входят:

- рабочая температура верха и низа колонны;
- рабочее давление;
- характеристика коррозионной агрессивности перерабатываемых веществ и рекомендации по применению конструкционных материалов;
- характеристика барботажных тарелок и их количество и т. д.

В специальных требованиях указывается место и способ установки колонны (в помещении, вне его, на какой отметке), климатические и сейсмические особенности района, особые условия испытания и т. п.

8.4. Оборудование для дегазации полимеров

Дегазация – процесс отгонки незаполимеризовавшихся мономеров и растворителей из полимеризата. В соответствии с методами полимеризации могут быть выделены процессы дегазации блочного полимера, латексов и полимеров, получаемых в растворе.

Аппараты для дегазации блочных полимеров наиболее часто применяются при полимеризации этилена при высоком давлении. Как правило, в технологическую схему кроме реактора, входят отделители высокого и низкого давления. Применяют несколько конструктивных разновидностей отделителя высокого давления.

На рис. 2.8.13 показана конструкция отделителя высокого давления. Отделитель представляет собой вертикальный толстостенный цилиндрический сосуд 1 с плоской крышкой 2. Уплотнение создается линзой 3. На коническом днище аппарата установлен патрубок 7, по которому подается масса на разделение. Поток массы ударяется в отбойник 5, расплав полиэтилена отводится через штуцер в днище, а этилен – через верхний штуцер 4, расположенный в крышке аппарата. Отделитель снабжен паровой рубашкой 6 для обогрева. Объем отделителя составляет 1,25 м³, диаметр аппарата – 520 мм, высота – 4 м.

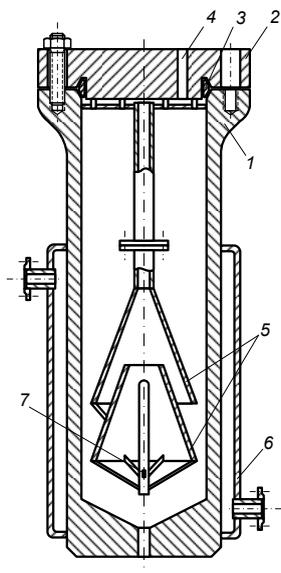


Рис. 2.8.13. Отделитель высокого давления

Другая конструкция отделителя высокого давления показана на рис. 2.8.14. Отделитель представляет собой вертикальный толстостенный цельнокованый цилиндрический сосуд *1* закрытый крышкой *2* и дном *3*.

Уплотнение между корпусом, крышкой и дном выполнено в виде двух металлических двухконусных обтюраторов *4*. Корпус, крышки и днище имеют гладкие рубашки *5* для обогрева.

Массу из ректора подают в отделитель через специальную насадку *6*, установленную на $1/3$ высоты корпуса отделителя. На выходе из насадки установлен отбойный колпак *7*, который в целях улучшения разделения массы резко изменяет направление движения и скорость массы.

Расплав полиэтилена накапливается в нижней части отделителя и отводится через отверстие в днище. В аппарате во избежание выброса мономера через нижнее отверстие поддерживают определенный уровень расплава. В верхней части отделителя установлен отбойник *8*, который задерживает капли расплава полимера, уносимые мономером. Отбойник закреплен на верхней крышке. Мономер отводят через штуцер в крышке.

Объем отделителя 2,5 м³, рабочее давление в корпусе 32 МПа, температура в корпусе 250°С, а в рубашке 215°С. Материал корпуса – сталь 20Х2МА, а материал рубашки – Ст. 20.

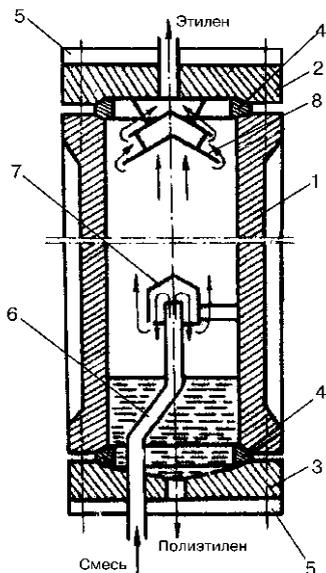


Рис. 2.8.14. Отделитель высокого давления

Объем отделителя подбирают таким образом, чтобы было обеспечено значительное пространство над расплавом полимера.

Отделитель низкого давления служит для окончательного отделения расплава полиэтилена от этилена и является питающим резервуаром для гранулятора. Уровень расплава полимера поддерживается регулированием производительности гранулятора.

Отделитель низкого давления (рис. 2.8.15) представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд 1 с коническим дном 2 и плоской крышкой 3. Расплав полиэтилена подводится через питающую трубу 4, расположенную по касательной к корпусу сосуда.

В верхней части корпуса отделителя установлен отбойник 5 капель расплава полимера. Этилен отводится через штуцер 6, установленный на крышке отделителя. Отделитель обогревается паром, поступающим в гладкую рубашку 7.

Объем аппарата составляет 2,1 м³, диаметр – 1 м, высота отделителя – 3,3 м, рабочее давление – 2 МПа, материал корпуса – Ст. 20.

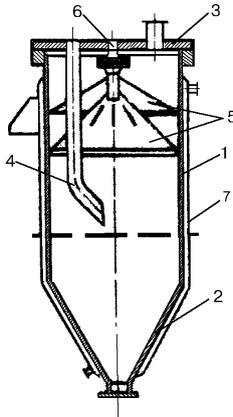


Рис. 2.8.15. Отделитель низкого давления

Несколько иная конструкция отделителя низкого давления показана на рис. 2.8.16. Отделитель низкого давления представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд 1 с коническим дном 2 и эллиптической крышкой 3.

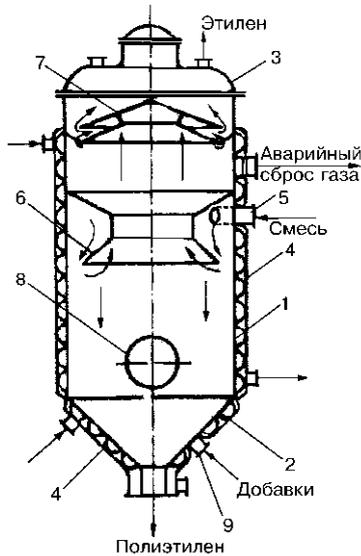


Рис. 2.8.16. Отделитель низкого давления

Корпус и днище имеют рубашку с вмятинами 4. Расплав полиэтилена подают по тангенциально установленному штуцеру 5 в среднюю часть отделителя. Масса резко меняет направление и скорость движения. Расплав полимера стекает в нижнюю часть корпуса, мономер отбирают через патрубок в крышке аппарата.

Для лучшего разделения массы в средней части корпуса установлен отбойник 6, а сверху – отбойник 7.

В верхней части корпуса установлена предохранительная разрывная мембрана и предохранительный клапан. В нижней части корпуса расположен люк 8. В коническом днище установлен штуцер 9, через который в расплав полиэтилена вводят различные добавки.

Объем отделителя – 10 м³, рабочее давление в корпусе – 0,6 МПа, в рубашке – 2 МПа. Температура в корпусе 240°С, а в рубашке 215°С.

В том случае, когда процесс протекает с регенерацией растворителя, то последний поступает на разделительные колонны. При этом можно использовать тарельчатые и насадочные колонны. Тарельчатые колонны подразделяются на колпачковые и бесколпачковые (ситчатые, решетчатые и дырчатые). Насадочные колонны различают по типу насадки и по способу заполнения его колонны.

Наиболее часто колонные аппараты используются для дегазации латексов в производстве синтетических каучуков.

Колонна для дегазации латекса изображена на рис. 2.8.17. Латекс и пар подаются в верхнюю часть колонны 1 и движутся прямотоком сверху вниз по насадке. Насадка состоит из чередующихся колец 3 и дисков 4. Колонна имеет увеличенный куб 2, что уменьшает потери тепла в окружающее пространство. Для уменьшения пенообразования при стекании латекса в нижней части аппарата имеется желобчатый лоток 5.

Диаметр колонны – 1–1,2 м. Расстояние между элементами насадки составляет 0,12 м.

Недостатками дегазатора такого типа являются повышенное образование пены, малая эффективность в виду использования прямоточной схемы и довольно большие потери мономера.

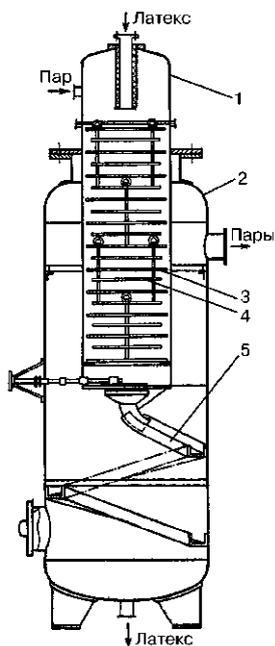


Рис. 2.8.17. Отгонная колонна для дегазации латекса:
 1 – колонна; 2 – куб; 3 – кольцо; 4 – диск; 5 – лоток.

Большинство из этих недостатков устранены в противоточной колонне, изображенной на рис. 2.8.18.

Противоточная колонна для дегазации латекса представляет собой аппарат с наружным диаметром 2,8 м и высотой ≈ 32 м. В нижней части корпуса 4 расположены штуцеры для ввода пара и вывода дегазированного латекса. Выше кубовой части на опорном кольце размещены три пакета царг 2 с барботажными ситчатыми тарелками 3 диаметром 2,4 м. Расстояние между тарелками – 0,8 м. Выше барботажных тарелок на таком же расстоянии установлена глухая тарелка 1 с переливным стаканом и сегментным патрубком.

Выше глухой тарелки установлена система отбойников для задержания брызг латекса и гашения образовавшейся пены.

Дегазированный латекс стекает в куб колонны по лотку 5.

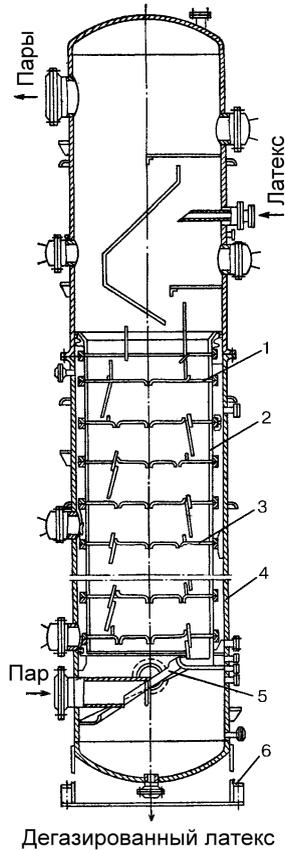


Рис. 2.8.18. Противоточная колонна для дегазации латекса:
 1 – глухая тарелка; 2 – царга; 3 – ситчатая тарелка; 4 – корпус;
 5 – лоток; 6 – опора.

8.5. Оборудование для фильтрования суспензий и растворов полимеров

Фильтрование в производстве полимеров применяют для разделения суспензий полимеров на фильтрат и влажный осадок, для разделения суспензий вспомогательных веществ и растворов полимеров, для очистки расплавов полимеров от твердых и других включений. Интенсивность фильтрования зависит от свойств суспензии, получаемой на

предыдущих стадиях технологического процесса. Поэтому необходимо создавать условия, обеспечивающие образование твердых частиц с пониженным сопротивлением осадка, уменьшающие возможность появления в суспензии смолистых, слизистых, слипающихся и коллоидных веществ.

При получении суспензии, из которой необходимо выделить полимер, возникает необходимость выбора конструкции фильтра или центрифуги, фильтровальной перегородки и режима фильтрования. Выбор производится на основании экспериментальных работ, с использованием имеющейся информации о свойствах суспензии и осадков и данных о производственных процессах фильтрования.

По назначению фильтрование разделяется на очистное и продуктивное. Очистное фильтрование применяют для очистки растворов или расплавов полимеров от различного рода включений. При этом целевым продуктом является фильтрат – раствор (расплав) – полимера. Продуктивное фильтрование применяется для выделения из суспензий полимера в виде осадка. Фильтрат, представляющий собой органический растворитель или смесь растворителей, направляют на регенерацию и возвращают в производство.

Фильтровальное оборудование может работать при постоянном перепаде давления на фильтровальной перегородке или при постоянной скорости фильтрования. В зависимости от способа создания перепада давления фильтровальное оборудование можно разделить на фильтры и центрифуги, а в зависимости от организации процесса – на оборудование непрерывного и периодического действия.

В оборудовании непрерывного действия применяют непрерывное механизированное удаление осадка, в оборудовании периодического действия осадок удаляют после прекращения процесса.

8.5.1. Фильтры

Для разделения суспензий применяют фильтры, различных конструкций периодического и непрерывного действия. Цикл работы включает заполнение фильтра суспензией, фильтрование суспензии под давлением, удаление осадка с фильтровальной перегородки при вращающейся мешалке и регенерацию фильтровальной перегородки. В таких фильтрах одновременно может проводиться и промывка осадка.

Схема фильтровальной установки, применяемой в производстве полимеров, представлена на рис. 2.8.19. Суспензия из емкости 7 насосом 8 подается в корыто фильтра 1. В корыте для взмучивания суспензии установлена качающаяся мешалка. В корыте для взмучивания суспензии установлена качающаяся мешалка.

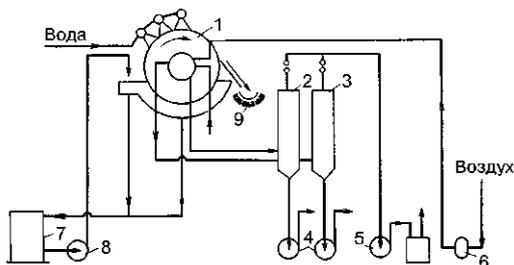


Рис. 2.8.19. Схема фильтровальной установки с раздельным отбором фильтрата:

- 1 – барабанный вакуум-фильтр; 2,3 – сборники фильтрата и промывной жидкости; 4 – насосы для отбора жидкости; 5 – вакуум-насос; 6 – воздуходувка; 7 – расходная емкость для суспензии; 8 – насос для суспензии; 9 – приемник осадка.

При погружении 30% поверхности барабана в суспензию происходит подключение этой поверхности к линии вакуума. Фильтрат собирается в сборнике 2, а промывная жидкость – в сборнике 3. В сборниках происходит отделение воздуха, поступившего в фильтр во время обезвоживания и промывки, от жидкости. Фильтрат и промывная жидкость откачиваются из сборников насосами 4, а воздух отсасывается вакуум-насосом 5. Сжатый воздух подается в фильтр воздуходувкой 6. Осадок с барабана снимается специальным устройством и поступает в приемник осадка 9.

Для разделения трудно фильтруемых суспензий (состоящих из слипающихся, слизистых, имеющих коллоидную структуру частиц) разработан барабанный вакуум-фильтр непрерывного действия, фрагмент которого показан на рис. 2.8.20. Фильтр напоминает велосипедное колесо, ободом которого является основание для фильтровальной перегородки, а спицами – трубопроводы 8 для соединения барабана с вакуум-насосом.

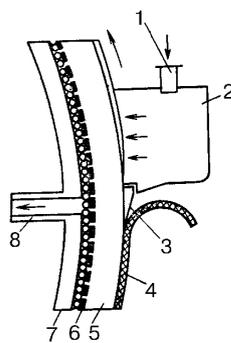


Рис. 2.8.20. Фрагмент барабанного вакуум-фильтра

Фильтровальный элемент фильтра состоит из крупноячеистой сетки, на которую накладывается мелкоячеистая. На мелкоячеистую сетку намывается слой 5 (толщиной 25 мм) вспомогательного вещества – кизельгура. Между барабаном 7 фильтра и фильтровальной сеткой 6 имеется вакуумное пространство. Осадок 4 срезается при вращении барабана ножом 3. Суспензия подается на барабан из емкости 2, в которую по мере необходимости закачивается через штуцер 1. Детали фильтра, находящиеся в контакте с фильтруемой средой, выполнены из нержавеющей стали.

Перед загрузкой в полимеризационные аппараты мономер необходимо тщательно очищать от различных механических примесей путем фильтрации его расплава или раствора.

Фильтр для расплава капролактама (рис. 2.8.21) представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд 1 с рубашкой 6 для обогрева горячей водой и крышкой 8, которая крепится откидными болтами.

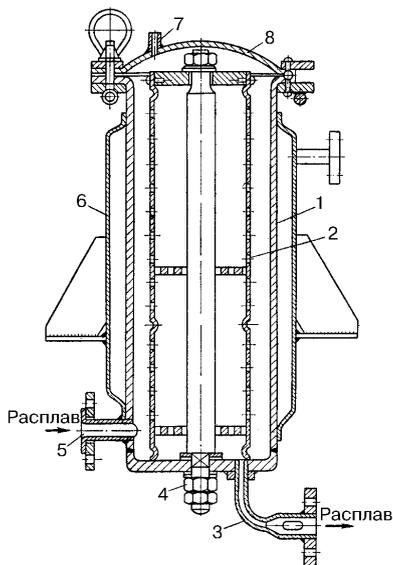


Рис. 2.8.21. Фильтр для расплава капролактама

Внутри корпуса фильтра на штанге 4 установлена свеча 2. Фильтрующий материал (сетка из нержавеющей стали и ткань) натягивают на свечу. Расплав капролактама поступает в корпус фильтра по штуцеру 5, проходит сетки и ткань, фильтруется, поступает внутрь свечи и выходит из фильтра через нижний штуцер 3. На крышке аппарата находится штуцер 7 для продувки фильтра азотом.

Поверхность фильтрации составляет $1,5 \text{ м}^2$, давление в корпусе фильтра – $0,2 \text{ МПа}$, в рубашке – $0,3 \text{ МПа}$. Как правило, в установке централизованного плавления капролактама (УЦП) работают два фильтра: один находится в работе, другой стоит на очистке.

Более прогрессивной конструкцией обладает металлокерамический фильтр, изображенный на рис. 2.8.22. Фильтр представляет собой цилиндрический сосуд *16*, снабженный нагревательной рубашкой *15* и откидной крышкой *1*. Внутри корпуса установлен блок металлокерамических патронов *10*, который состоит из решетки *7*, шпилек *14* для крепления патронов к решетке и гаек *18*. Герметизация верхней части патрона обеспечивается крышкой *17* и прокладкой *2*. Уплотнение патрона *13* в решетке осуществляется прокладкой *12*. С помощью прокладки *11* обеспечивается уплотнение между решеткой блока патронов и корпусом фильтра.

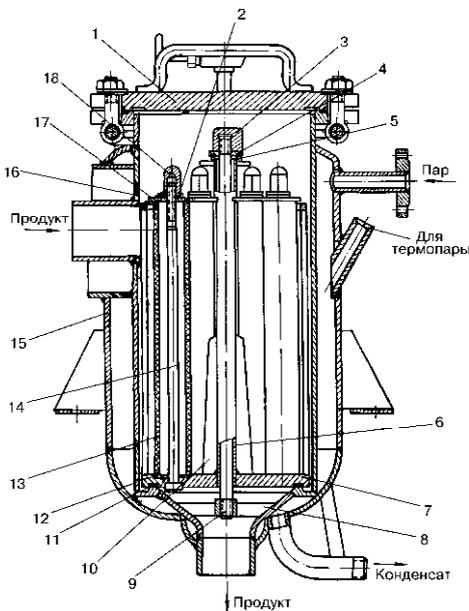


Рис. 2.8.22. Металлокерамический фильтр

Блок патронов в корпусе крепится с помощью штыря *9*, установленного в крестовине *8*, приваренной к корпусу. На штырь надевается труба *6*, приваренная к решетке *7*. Вверху труба крепится с помощью гайки *3* и крышки *4*. Уплотнение между трубой и крышкой обеспечивается прокладкой *5*.

Для фильтрования суспензий и растворов полимеров применяют фильтровальные перегородки из синтетических волокон – полипропиленовых, лавсановых, полиамидных, стекловолокон.

Для выбора фильтров необходимо знать их производительность, общую поверхность фильтрования, диаметр, емкость и частоту вращения (об/мин), число фильтрующих элементов, рабочее давление и температуру.

8.5.2. Центрифуги

С целью повышения эффективности фильтрования суспензий полимеров процесс проводят в поле центробежных сил в центрифугах периодического и непрерывного действия, с вертикальным или горизонтальным валом и различными устройствами для выгрузки осадка.

По назначению центрифуги подразделяются на две группы: собственно центрифуги и сепараторы, предназначенные для разделения жидкостей различного удельного веса.

В зависимости от устройств барабана различают центрифуги с перфорированными барабанами (имеют отверстия в стенках), с глухими барабанами (без отверстий), с фильтрующими барабанами.

Устройство центрифуги с ножевой разгрузкой осадка показано на рис. 2.8.23. Центрифуга имеет перфорированный ротор 5, расположенный внутри литого корпуса 6. Ротор крепится на валу 7 с помощью шпонки, вращение вала осуществляется от электродвигателя через клиноремennую передачу 8. Передвижение ножа 3 к поверхности барабана с сеткой 4 осуществляется гидроцилиндром 2. При подъеме нож срезает осадок, который поступает в желоб и по нему выводится наружу. Суспензия подается по трубе с щелевидным отверстием на участке, расположенном внутри ротора. Для подачи суспензии через определенные промежутки времени служит загрузочный клапан с гидравлическим управлением.

Для выбора центрифуги необходимо знать ее производительность, конечную влажность продукта, фактор разделения, способ загрузки (самотеком, под давлением, вручную), способ выгрузки, характеристику разделяемой смеси.

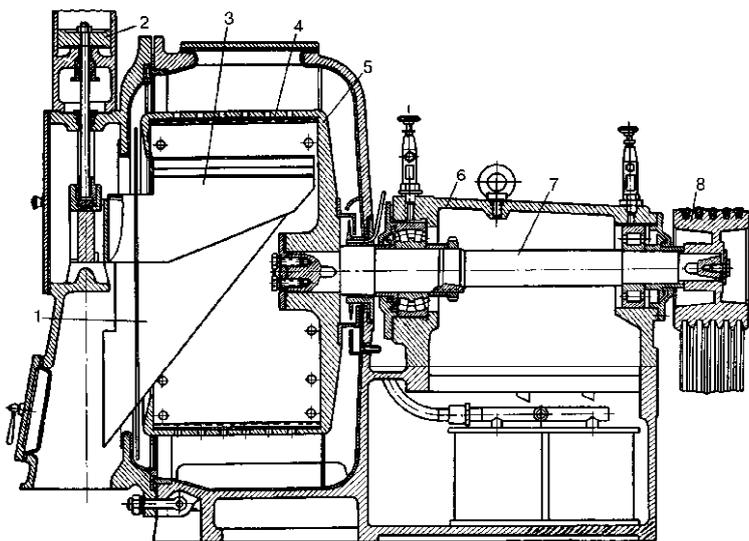


Рис. 2.8.23. Центрифуга с ножевой выгрузкой осадка

8.5.3. Сепараторы

По принципу действия сепараторы можно разделить на три вида: инерционные, центробежные и поверхностные (рис. 2.8.24). При их проектировании нужно учитывать следующие моменты:

- угол между направлениями потоков пара и жидкости в месте разделения фаз должен быть не менее 90° , иначе возможен унос жидкости уходящим из сепаратора паром;
- сепараторы, в которых газ и отделяемая жидкость движутся в противоположном направлениях, работают плохо; для улучшения сепарационного действия необходимо вводить и выводить газ в направлении, перпендикулярном стеканию жидкости;
- соотношения скоростей в сечениях сепаратора выбирают в зависимости от его конструкции.

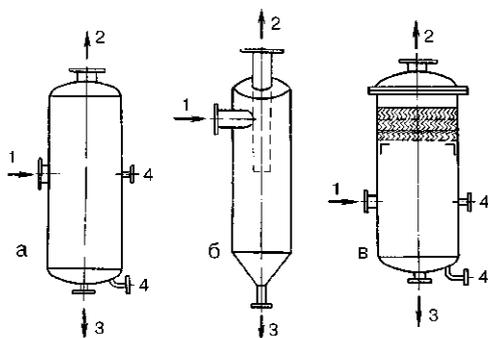


Рис. 2.8.24. Сепараторы:

а – инерционный; *б* – центробежный (циклон); *в* – поверхностный; 1 – вход парожидкостной смеси; 2 – выход газа; 3 – выход жидкости; 4 – штуцеры для уровнемера.

В сепараторах инерционного типа скорость на входе должна в 10...12 раз превышать скорость в сечении аппарата (скорость на входе – от 8 до 15 м/с). В центробежных сепараторах скорость на входе находится в пределах от 10 до 20 м/с. Применение инерционных сепараторов с высотой сепарационного пространства менее 600 мм либо длиной менее 3000 мм (горизонтальные сепараторы) не рекомендуется, в этих случаях степень сепарации резко ухудшается и должны быть значительно уменьшены допустимые скорости. Вместе с тем увеличение высоты сепарационного пространства до величины, превышающей 600 мм, практически не улучшает степень сепарации. В сечении поверхностного сепаратора допустимая скорость газа 1...2,5 м/с может быть доведена до 5 м/с.

8.6. Оборудование для сушки полимеров

В производстве полимерных материалов сушка является обязательной стадией, требующей больших энергетических затрат. От аппаратурно-технологического оформления сушки зависит в большой степени качество полимера. В процессе сушки можно удалить из полимера оставшийся мономер и другие соединения, выделять полимеры из растворов и т. д.

Выбор метода сушки и тип сушилки обусловлены свойствами полимеров, наиболее важными из которых являются следующие: термостойкость, склонность к окислению и деструкции при повышенных температурах, неоднородность полимера по начальному содержанию растворителя или воды и гранулометрическому составу, содержание легко-

кипящих, легковоспламеняющихся и токсичных растворителей. Большинство полимеров требуется высушивать до содержания в них растворителей или воды 0,03...0,20% масс.

Для сушки дисперсных полимеров, в которых сопротивление массопереноса определяется внешним отводом и диффузионными факторами, используют конвективные сушилки различных конструкций.

Простейшим типом конвективных сушилок является пневматические трубы-сушилки, в которых газ-теплоноситель и материал движутся в вертикальной трубе прямотоком в режиме пневмотранспорта, близком к режиму идеального вытеснения.

В промышленности пластмасс трубы-сушилки используют для удаления поверхностной влаги из дисперсных полимеров, т. е. в качестве первой ступени сушильного агрегата, поскольку продолжительность пребывания материала в них невелика.

Пастообразные материалы, иониты и другие целесообразно подсушивать при скорости сушильного агрегата, близкой к скорости пневматического транспортирования. Трубы-сушилки применяют в сочетании с сушилками с движущимся или псевдооживленным слоем и другими. Пневматические трубы-сушилки используют, в частности, для подсушивания суспензионного поливинилхлорида, поликарбоната и других.

Сушилка (рис. 2.8.25) представляет собой цилиндр, внутрь которого подается насыщенный водяной пар, с навитой по внешней образующей спиралью. Цилиндр со спиралью заключен в паровую рубашку. Для предотвращения налипания материала на стенки цилиндра и спираль цилиндр в некоторых конструкциях вращается вокруг собственной оси. Газовзвесь движется снизу вверх по спиральной траектории в пространстве между внешней стенкой цилиндра и рубашкой. Выходящая из сушилки газовзвесь разделяется в циклоне. Производительность сушилок – 3000...6000 кг/ч, при конечной влажности 0,5...1,0% масс.

Для сушки сыпучих материалов применяют циклонные сушилки. Они имеют опущенную до дна выхлопную трубу. Газовзвесь поступает

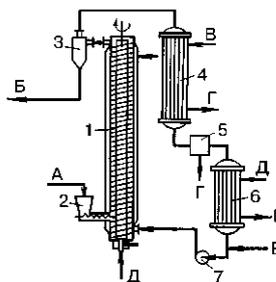


Рис. 2.8.25. Пневматическая труба-сушилка с винтовой вставкой:

- 1 – сушилка; 2 – бункер и питающий шнек; 3 – циклон; 4 – конденсатор; 5 – сепаратор; 6 – теплообменник; 7 – вентилятор;
- А – влажный материал; Б – сухой продукт; В – хладагент;
- Г – конденсат; Д – пар; Е – азот.

тангенциально в верхнюю цилиндрическую часть сушилки, закручивается и движется по спирали ко дну. Достигнув дна, поток удаляется через выхлопную трубу. Эффективность сушки дисперсных материалов со слабосвязанной влагой в циклонных сушилках значительно выше, чем в трубках-сушилках.

Для сушки пастообразных полимеров применяют ленточные сушилки (рис. 2.8.26). Основной частью ленточной сушилки является бесконечная горизонтальная лента 1. Материал поступает с одного конца ленты и сбрасывается в высушенном виде с другого ее конца. Ленты делают сплошными или ситчатыми. Сушилка обычно делится на несколько зон, в каждой из которых установлен вентилятор 2 для создания циркуляции воздуха и калорифер для его нагрева.

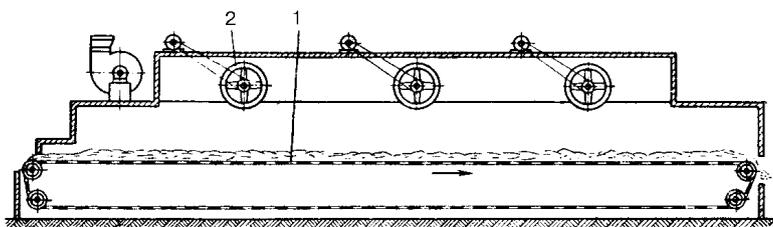


Рис. 2.8.26. Ленточная сушилка

Для мелкозернистых и гранулированных полимеров применяют сушилки с псевдоожиженным слоем. Такие сушилки применяют не только для удаления поверхностной и слабосвязанной влаги, но и для глубокой сушки вышеназванных полимеров до остаточной влажности 0,03% масс.

Для сушки трудноожижаемых материалов (дисперсных с высокой влажностью, комкующихся) применяют сушилки с использованием псевдоожижения, при котором на слой материала воздействуют поток газа и низкочастотные колебания. Такой процесс называют виброаэропсевдоожижением. Наибольшее распространение получили лотковые сушилки, наклоненные под небольшим углом к горизонту. На рис. 2.8.27 показана схема вибросушилки.

Корпус установки, состоящий из прямоугольного желоба 2 с газораспределительной решеткой 5 с помощью амортизаторов 8 и пружины 7 установлен на несущей раме 6, которая опирается на фундамент.

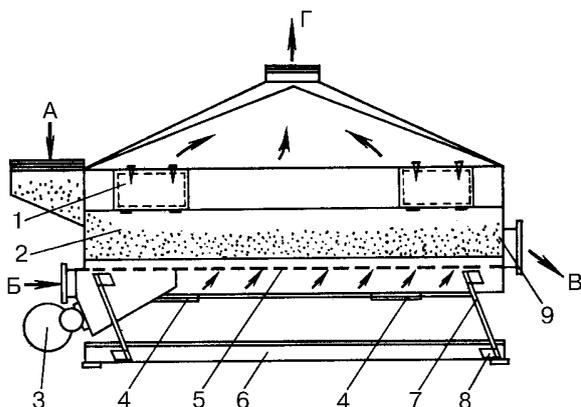


Рис. 2.8.27. Вибросушилка:

- 1 – смотровые окна; 2 – желоб; 3 – вибратор с электродвигателем; 4 – выгрузные люки; 5 – газораспределительная решетка; 6 – рама; 7 – пружины; 8 – амортизаторы; 9 – сливная перегородка; А – влажный материал; Б, Г – теплоноситель; В – сухой материал.

Теплоноситель подается под газораспределительную решетку и, пройдя через слой, поступает в вытяжной воздухопровод. Привод сушилки состоит из маятникового двигателя-вибратора 3 направленного действия с регулируемым дебалансом и частотой колебания. Скорость движения материала от загрузочного штуцера к сливной перегородке 9 может регулироваться за счет изменения угла наклона газораспределительной решетки, амплитуды и частоты колебаний. Высота слоя материала регулируется изменением высоты, сливной перегородки.

Традиционным методом сушки растворов, суспензий и пастообразных полимеров является сушка распылением. Распылительная сушилка представляет собой цилиндрический или коническо-цилиндрический аппарат, в котором происходит диспергирование материала при помощи специальных диспергаторов в потоке теплоносителя (рис. 2.8.28).

При непосредственном контакте теплоносителя с распыленным материалом почти мгновенно протекают тепло- и массообменные процессы. Продолжительность пребывания материала в сушилке до 50 с. Достоинства сушилки – возможность использования теплоносителей с высокой температурой даже для сушки нетермостойких полимеров. К недостаткам следует отнести сравнительно небольшой удельный объем (до $10 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$), большой расход теплоносителя и, следовательно, значительная материал- и энергоемкость.

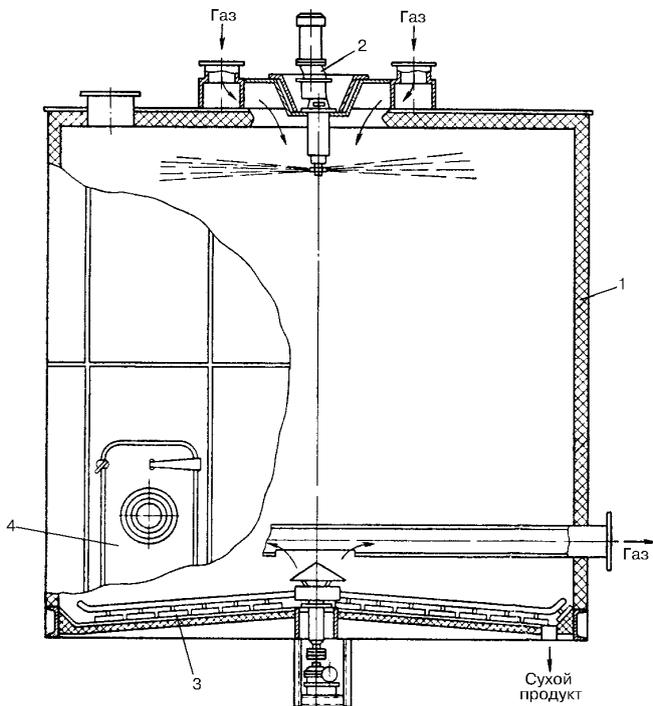


Рис. 2.8.28. Распылительная сушилка:

1 – корпус; 2 – распылитель (форсунки); 3 – гребковый механизм; 4 – дверца.

Для распыления используют различные методы: механический, пневматический и с помощью центробежных дисков.

При механическом методе применяют форсунки, в которые жидкость подается под давлением $2,5 \dots 20$ МПа. Качество распыления зависит от степени турбулентности струи, выходящей из форсунки. Для создания турбулентности в форсунке имеется насадка с тангенциальными канавками для закручивания потока. Механические форсунки делятся на струйные и центробежные. Их применяют в основном для распыления растворов.

В пневматических форсунках распыление происходит скоростной струей газа или пара, который подается под давлением $0,4 \dots 0,6$ МПа. При интенсивном удалении низкокипящего растворителя струя раствора может вытягиваться в нити, которые, распадаясь, образуют полимер с низкой насыпной плотностью.

Широкое распространение получило распыление центробежными дисками, вращающимися со скоростью до 4000 об/мин в потоке теплоносителя. Выброс жидкости из диска происходит через каналы, образованные лопатками, либо через форсунки сопла. С увеличением числа каналов возрастает производительность сушилок. Диски различаются диаметром и шириной канала. При использовании сопловых дисков влажный материал может налипать на стенки сушилки.

Выбор рационального метода сушки и типа сушилки должен обеспечить достижение оптимальных технико-экономических показателей работы сушилки, получение продукта заданного качества, надежность работы, снижение или исключение газовых выбросов в атмосферу.

Выбор метода сушки и типа сушилки для конкретного материала производится на основании анализа материала как объекта сушки. Для этого исследуют структуру высушиваемого материала, его тепловые и сорбционные характеристики, на основании которых определяют формы связи влаги (растворителя) с материалом, а также адгезионные и когезионные свойства материала.

Выбранная сушилка должна быть типовой, из числа выпускаемых промышленностью.

Для расчета сушилок сначала составляют материальный баланс процесса, из которого определяют количество влаги, испаряемой в процессе сушки:

$$w = G_{\text{ч}} \cdot \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2},$$

где $G_{\text{ч}}$ – часовая производительность сушилки, равная $G_{\text{ч}} = \frac{G}{a \cdot \bar{b}}$, w_1 и w_2 – начальная и конечная влажность материала, G – годовая производительность сушилки, a – число часов работы в сутки, \bar{b} – число дней работы сушилки в году.

Производительность по сухому материалу равна

$$G_c = G_{\text{ч}} - w,$$

где w – количество испаряемых летучих.

Расход сушильного агента определяется по формуле

$$L = \frac{w}{d_2 - d_1},$$

где d_1 и d_2 – начальное и конечное содержание влаги или удаляемого из материала растворителя, определяемое по формулам:

$$d_1 = \frac{w}{100 - w_1}; \quad d_2 = \frac{w}{100 - w_2}.$$

Второй стадией расчета является определение расхода тепла. Это делают либо аналитически из уравнения теплового баланса, либо графоаналитическим методом – с использованием $I-w$ -диаграммы (теплосодержание воздуха – влагосодержание воздуха).

Для определения габаритов сушильной установки рассчитывают, если это возможно, поверхность испарения материала.

Для сушки тонкодисперсных материалов во внешнедиффузионной области поверхность тепло- и массообмена можно определить из уравнений тепло- и массопереноса. Для стационарного режима сушки получим

$$F = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{w}{\beta \cdot \Delta P_{\text{ср}}},$$

где Q – расход тепла на нагрев материала и испарение летучих, w – количество испаряемых летучих, α и β – коэффициент тепло- и массоотдачи, $\Delta t_{\text{ср}}$ и $\Delta P_{\text{ср}}$ – средние движущие силы.

8.7. Оборудование для экстракционной очистки растворов полимеров

Экстракцию (извлечение одного или нескольких компонентов из растворов с помощью специальных селективных жидких экстрагентов) применяют в производстве пластмасс для извлечения из растворов полимеров или реакционной смеси непрореагировавших остатков исходного сырья, продуктов синтеза и других компонентов.

В процессах экстракции участвуют две жидкие взаимно нерастворимые или незначительно растворимые фазы и распределяемое между фазами вещество.

Переход распределяемого вещества из одной жидкой фазы (исходного раствора) в другую (экстрагент) происходит до установления равновесия, т. е. до выравнивания химических потенциалов в фазах. Равновесие в процессах экстракции характеризуется коэффициентом распределения, равным отношению равновесных концентраций экстрагируемого вещества в обеих жидких фазах – в экстракте и рафинате. Коэффициент определяют экспериментальным путем.

В промышленности пластмасс используют различные экстракторы. В зависимости от способа контакта жидких фаз экстракторы можно разделить на две группы – ступенчатые (секционные) и дифференциально-контактные.

Ступенчатые экстракторы состоят из отдельных секций, в которых изменение концентрации в фазах происходит скачкообразно. В ряде случаев каждая секция приближается по полю концентраций к аппарату идеального смешения. Поле же концентраций в экстракторе, состоящем из нескольких таких секций, приближается к аппарату идеального вытеснения. В дифференциально-контактных экстракторах происходит непрерывный контакт между фазами и, соответственно, плавное непрерывное изменение концентрации в фазах. В результате продольного перемешивания фаз в таких аппаратах может наблюдаться значительное снижение средней движущей силы.

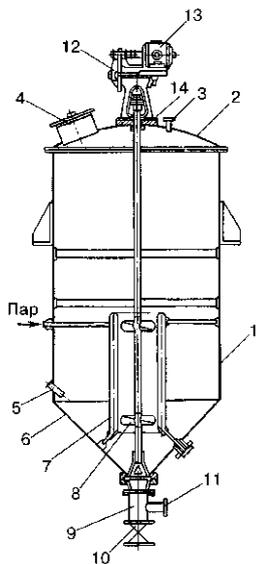


Рис. 2.8.29. Экстрактор

Каждая секция в смешительно-отстойном экстракторе состоит из смесителя и разделителя. В смесителе за счет подвода внешней энергии происходит диспергирование одной из жидких фаз с образованием дисперсной фазы, которая распределяется в другой – сплошной фазе. В разделителе (отстойнике-сепараторе) происходит разделение эмульсии на рафинат и экстракт.

На рис. 2.8.29 показан смешительно-отстойный экстрактор, предназначенный для удаления низкомолекулярных примесей из крошки полиамида. Экстрактор представляет собой цилиндрический вертикальный сосуд 1 со сферической крышкой 2 и конусным дном 6. Крошка полимера загружается через люк 4, который герметически закрывается. Через штуцер 3 подается вода. Через патрубок 11 разгрузочного штуцера 9 отводятся промывные воды. Для обогрева массы служит погружной стакан 7. Масса перемешивается пропеллерной мешалкой 8. Привод мешалки состоит из электродвигателя 13 и редуктора 12, установленных на бобышке 14.

Схемы с использованием смешительно-отстойных экстракторов громоздки, требуют значительных производственных площадей и больших затрат энергии. Поэтому они вытесняются более совершенными. К ним относятся центробежные экстракторы (рис. 2.8.30). Они характеризуются компактностью и высокой эффективностью. Частота вращения 3000 об/мин. Их отличительной чертой является существенное ускорение

процессов смешения и разделения фаз в поле центробежных сил. Время пребывания фаз в таких экстракторах составляет от нескольких секунд до десятков секунд в зависимости от конструкции.

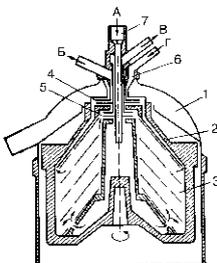


Рис. 2.8.30. Центробежный экстрактор:

1 – корпус; 2 – пакет тарелок; 3 – пространство для твердых частиц; 4,5 – рейферы; 6 – камера смешения; 7 – центральная труба; А – исходная смесь; Б – смесь после экстракции (тяжелая фракция); В – легкая фаза (экстракт); Г – экстрагент.

Ввиду малой продолжительности контактирования в зоне смешения не достигаются равновесные составы экстракта и рафината. Для увеличения продолжительности контакта центробежные экстракторы-сепараторы можно устанавливать в комбинации с другими типами экстракторов.

На производстве используют также роторно-дисковые экстракторы (рис. 2.8.31), представляющие собой вертикальный многосекционный аппарат, в цилиндрической части корпуса которого по оси установлен ротор с круглыми горизонтальными дисками. Последние вращаются в средней плоскости секции экстрактора. Секции отделены друг от друга кольцевыми перегородками, что препятствует продольному перемешиванию потоков и способствует увеличению движущей силы процесса. При вращении ротора диски создают осевые потоки сплошной фазы, направленные от оси ротора к стенке экстрактора. Достигнув стенок, жидкость движется вдоль стенок вверх и вниз в пространстве, ограниченном кольцевыми перегородками. Отражаясь от колец перегородки, жидкость меняет направление и движется к оси экстрактора.

Достоинством таких экстракторов является эффективный гидродинамический режим, возможность варьирования числа оборотов ротора, позволяющая менять производительность и эффективность работы экстрактора и другие.

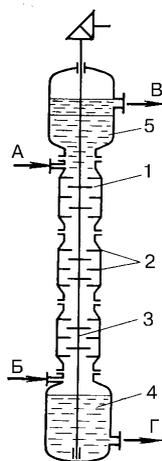


Рис. 2.8.31. Роторно-дисковый экстрактор:

1 – корпус; 2 – кольцевые перегородки; 3 – ротор; 4, 5 – отстойные зоны;
 А – исходный раствор (тяжелая фракция); Б – экстрагент (легкая фракция); В – экс-
 тракт; Г – рафинат.

Кроме названных конструкций, уместно упомянуть о том, что имеются также тарельчатые экстракторы, которые представляют собой колонные аппараты с ситчатыми тарелками различных конструкций, снабженные переливными устройствами. Взаимодействие фаз происходит в перекрестном токе на каждой тарелке. Диспергируемая фаза (легкая или тяжелая) проходит через отверстия в тарелках и дробится на капли. Сплошная фаза движется вдоль тарелки от одного патрубка перелива к другому. Капли коалесцируют, и образуется сплошной слой жидкости над тарелкой (тяжелая жидкость) или под тарелкой (легкая жидкость).

Выбор экстрактора должен проводиться на основе технико-экономического анализа с учетом требований производства. В общем случае при сравнении эффективности экстракторов пользуются значениями величин, обратных высотам экстракторов (табл. 2.8.2).

Обоснованный выбор экстракционного оборудования может быть сделан на основании экспериментов, проведенных на рабочих средах. Расчет экстракторов заключается в определении рабочего объема, обеспечивающего межфазную поверхность, необходимую для достижения заданной степени извлечения экстрагируемого компонента.

Выбор экстракторов по числам теоретических ступеней рабочей высоты

Экстракторы	Число теоретических ступеней на 1 м рабочей высоты
Роторно-дисковые	0,5...1,0
Пульсационные	1,0...3,0
Тарельчатые, насадочные	0,3...2,0
Вибрационные	0,5...3,0

8.8. Оборудование для концентрирования растворов и расплавов полимеров

В промышленности пластмасс применяют процессы получения полимеров из концентрированных растворов. Это в первую очередь относится к производствам полиэтилена, полипропилена, полистирола и других. Так, содержание полиэтилена низкого давления в циклогексане составляет 10...11%. Циклогексан удаляют подачей острого пара в отпарную колонну. Основным методом концентрирования является тепловая обработка растворов и расплавов в аппаратах различных конструкций за счет тепла водного насыщенного пара или высокотемпературных носителей.

Для концентрирования низковязких растворов полимеров используют стандартные выпарные аппараты с соосной или выносной греющей камерой: с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией, с восходящей пленкой, с падающей пленкой.

Простейшим выпарным аппаратом является вертикальный аппарат с естественной циркуляционной и соосной греющей камерой. Аппарат состоит из сепаратора и греющей камеры, которая представляет собой кожухотрубчатый теплообменник с центральной циркуляционной трубой. Последняя служит для циркуляции выпариваемого раствора под действием разности плотностей раствора и парожидкостной эмульсии. На рис. 2.8.32 показана конструкция выпарного аппарата.

Для концентрирования растворов полимеров применяют роторно-пленочные выпарные аппараты различных конструкций. Роторно-пленочный испаритель (рис. 2.8.33) представляет собой вертикальный аппарат, снабженный обогревающей рубашкой 4. Внутри цилиндрического корпуса 2 вращается ротор 3, распределяющий раствор по цилиндрической поверхности корпуса в виде пленки, а в некоторых конструкциях – в виде струй и капель. Ротор с транспортирующими и распределительными элементами приводится в движение приводом 1. Давление в аппарате составляет от 0,00013 до 1,0 МПа.

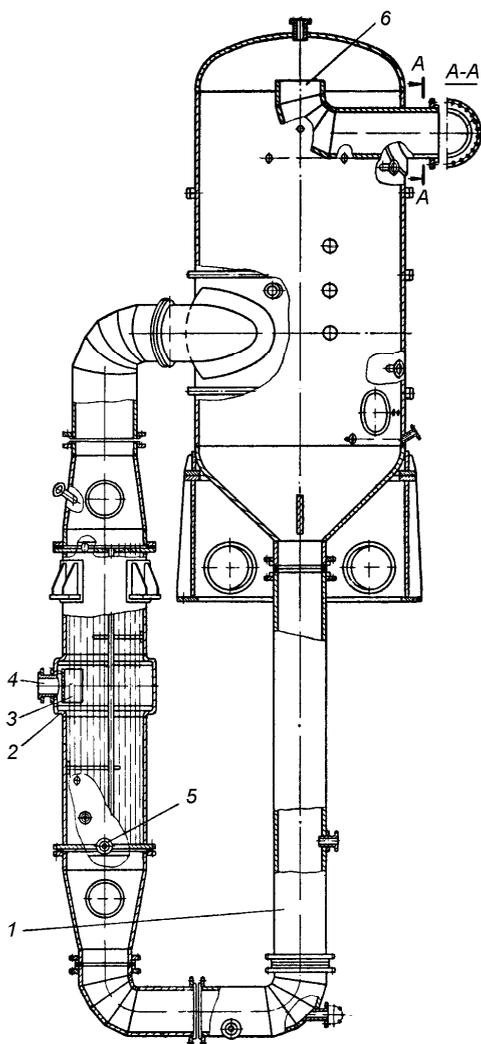


Рис. 2.8.32. Выпарной аппарат с выносной греющей камерой:
 1 – циркуляционная труба; 2 – компенсатор; 3 – трубный пучок;
 4, 5, 6 – штуцеры.

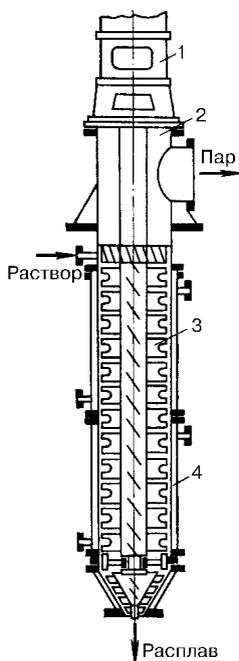


Рис. 2.8.33. Роторно-пленочный испаритель:

1 – привод; 2 – корпус; 3 – ротор с транспортирующими и распределительными элементами; 4 – рубашка.

Общим недостатком роторно-пленочных аппаратов является сложность эксплуатации: малейший дебаланс может привести к заклиниванию ротора, а износ флажков ротора ведет к загрязнению полимерных растворов металлами, ухудшающими оптические свойства ряда полимеров.

Пленочные, выпарные аппараты целесообразно применять для концентрирования вязких растворов в тех случаях, когда невозможно применять трубчатые аппараты.

В настоящее время для концентрирования растворов полимеров применяют экструзионное оборудование.

Расчет выпарных аппаратов заключается в определении материальных и энергетических потоков и теплообменной поверхности аппарата при заданных производительности и концентрациях раствора.

8.9. Оборудование для транспортирования полимерных материалов

В промышленности пластмасс транспортировать приходится как твердые сыпучие материалы (гранулированные или порошкообразные), так и жидкие и газообразные материалы на стадии получения полимеров.

Выбор системы транспортирования сыпучих твердых полимеров зависит от количества материала, его сыпучести, требований к чистоте продукта, наличия операций смешения, окрашивания и других, расстояния, на которое его надо транспортировать и т. д.

В технологических процессах синтеза и переработки полимерных материалов используют две основные системы транспортировки *сыпучих материалов* – механические и пневматические.

Ленточные транспортеры (рис. 2.8.34) широко используют для перемещения различных материалов и изделий в горизонтальной плоскости при необходимости достижения большой производительности, когда контакт материала с воздухом не вызывает загрязнения.

Для непрерывного механического питания реактора сыпучим материалом используют *ленточный* (рис. 2.8.34) и *винтовой* (рис. 2.8.35) транспортеры, а также *элеваторы*. Винтовой транспортер представляет собой транспортирующий механизм непрерывного действия, рабочим органом которого является винт, расположенный в закрытой трубе или желобе и опирающийся на подшипниковые узлы. Во избежание прогиба валов подшипники устанавливают через каждые 2,5...3 м. Подшипники крепят к боковым стенкам желоба со стороны, противоположной направлению перемещения материала. Винтовые конвейера просты по конструкции, удобны в эксплуатации, особенно при транспортировке пылящих грузов.



Рис. 2.8.34. Ленточный транспортер



Рис. 2.8.35. Винтовой транспортер

Ковшовые транспортеры (рис. 2.8.36) применяют в основном для перемещения сыпучих материалов в вертикальном направлении. Они имеют большую производительность. Недостатком их являются значительные потери материала и неэффективность при перемещении материала на большие расстояния.



Рис. 2.8.36. Ковшовый транспортер

В этом отношении более эффективными являются *шнековые транспортеры* (рис. 2.8.37). Шнековый транспортер состоит из металлической закрытой трубы, внутри которой вращается вал с лопастями (шнек). При вращении шнека лопасти проталкивают продукт вверх по трубе. Шнековый транспортер предотвращает распыление продукта в период транспортировки, прост и доступен в обслуживании. Шнековые транспортеры могут использоваться в качестве питателей в дозирующих устройствах.



Рис. 2.8.37. Шнековый транспортер

Гибкие шнековые питатели (рис. 2.8.38) имеют пластмассовую трубу в которой от электродвигателя вращается упругая спираль. Они представляют собой полностью закрытые системы, обладают достаточной гибкостью и бесшумны в работе. Производительность гибких шнековых питателей составляет до 136 кг/ч.

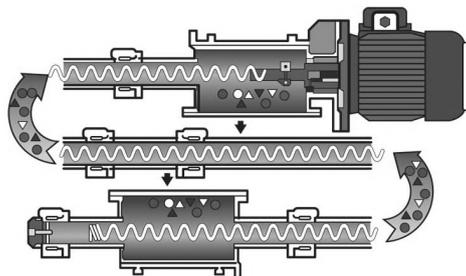


Рис. 2.8.38. Схема шнекового транспортера

Для перемещения сыпучих материалов часто используют поток воздуха или инертного газа в пневмопроводе. Установки в зависимости от способа создания воздушного потока и условий движения его в трубопроводе вместе с материалом или создания перепада давления в трубе могут быть всасывающими, нагнетательными и комбинированными (рис. 2.8.39).

Во всасывающих установках (рис. 2.8.39 *a*) воздух отсасывается воздуходувной машиной из системы, в ней создается разрежение. Вследствие этого воздух из атмосферы устремляется в загрузочное устройство 1 и, проходя через слой груза или встречая на своем пути поступающий в трубопровод груз, подхватывает его и перемещает по материалопроводу 2 в отделитель 3. Из отделителя груз выводится при помощи шлюзового затвора 8, а воздух поступает в воздуховод 4 и, пройдя пылеотделитель 5, выбрасывается воздуходувной машиной 6 через глушитель 7 в атмосферу. Достоинствами всасывающих пневмотранспортных установок являются простота конструкции, возможность забора груза из нескольких точек, обеспечение высоких санитарно-гигиенических условий в рабочих помещениях. Поскольку в этих установках вся система находится под вакуумом, то загрузочные устройства не требуют герметизации. К недостаткам следует отнести невозможность создания высоких перепадов давления, наличие специальных герметизирующих устройств в местах вывода груза из системы.

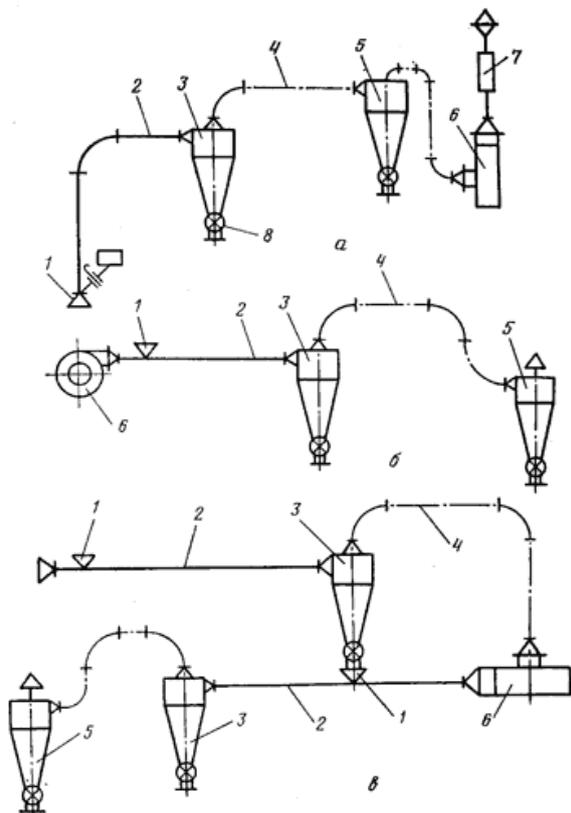


Рис. 2.8.39. Схемы простых пневмотранспортных установок:
а – всасывающей; *б* – нагнетающей; *в* – комбинированной; 1 – загрузочное устройство; 2 – материалопровод; 3 – отделитель; 4 – воздуховод; 5 – пылеотделитель; 6 – воздуходувная машина; 7 – глушитель шума; 8 – шлюзовой затвор.

В нагнетающих установках (рис. 2.8.39*б*) воздуходувная машина нагнетает воздух в пневмосистему, создавая давление воздуха в ней больше атмосферного (наибольшее – в месте загрузки, наименьшее – в пылеотделителе). Достоинство нагнетающих пневмоустановок – это возможность создания теоретически неограниченного давления, что позволяет использовать их при транспортировании грузов потоками как низкой, так и высокой концентрации. К недостаткам нагнетающих пневмоустановок следует отнести сложность конструкции загрузочных устройств и повышенные требования к герметичности пневмосистемы.

Всасывающе-нагнетающие установки (рис. 2.8.39в) позволяют использовать положительные качества как всасывающих, так и нагнетающих установок. В зависимости от количества материалопроводов пневмоустановки бывают простые – с одним материалопроводом, и разветвленные (рис. 2.8.40) – с двумя и более материалопроводами.

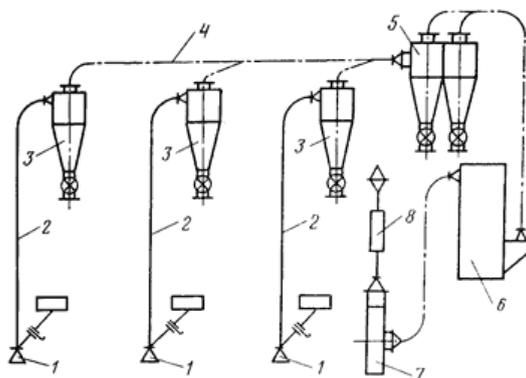


Рис. 2.8.40. Схема разветвленной пневмотранспортной установки:
 1 – загрузочные устройства; 2 – материалопроводы; 3 – отделители; 4 – воздуховод; 5 – батарейный циклон; 6 – фильтр; 7 – воздушная машина; 8 – глушитель шума.

В разветвленных пневмоустановках по материалопроводам можно одновременно транспортировать различные грузы из нескольких точек с разной производительностью. Недостатком разветвленных пневмоустановок является влияние изменения нагрузки в одном из материалопроводов на стабильность работы других материалопроводов.

Пневмотранспортные установки могут быть с замкнутым и разомкнутым циклами воздуха. В первых весь или часть воздуха возвращается после воздушной машины в загрузочное устройство и снова используется для транспортирования, во вторых воздух через воздушную машину полностью выбрасывается в атмосферу.

Недостатки, общие для всех типов пневматического транспорта: сравнительно высокий расход энергии и большая металлоёмкость. В установках, работа которых основана на принципе переноса грузов в смеси с воздухом, отмечается повышенный износ оборудования при транспортировке материалов, обладающих высокой абразивностью, затруднено перемещение влажных материалов.

Пневматические системы позволяют транспортировать материал в любом направлении до 2 км при производительности от 50 до 5000 кг/ч.

Производительность пневмосистем в значительной степени зависит от перепада давления в транспортирующем тракте. Потери напора возникают за счет трения материала о стенки трубопровода и концентрации материала в местах изгиба трубопровода. Подбор систем транспортирования полимерных материалов осуществляют по производительности.

8.10. Оборудование для очистки сточных вод и газовых выбросов

Разработка любого технологического процесса должна предусматривать либо полное исключение отходов, либо сведение их к минимуму, а также возможность рационального использования этих отходов в данном или других производствах.

Одним из основных показателей производства является его водоемкость. Снижение водоемкости может быть достигнуто созданием технологических процессов с частично или полностью замкнутым циклом водооборота. Вода расходуется на охлаждение теплообменных аппаратов, конденсацию летучих и промывание растворов полимеров. При разработке новых технологических процессов необходимо предусматривать, во-первых, снижение потребления технологической воды, а во-вторых, многократное использование оборотной воды. В настоящее время на предприятиях синтеза полимеров (карбамидные смолы, аминопласты, ионообменные и полиэфирные смолы и другие, полиформальдегид) в оборотных циклах используется до 75% технологической воды. Замена водяного охлаждения воздушным в производстве карбамидных смол позволила снизить расход оборотной воды на 1,4 млн м³/год. Получение карбамидных смол на основе концентрированного формалина практически исключает образование сточных вод.

Разработку методов и схем очистки промышленных стоков производства полимеров ведут исходя из следующих основных принципов: извлечение ценных веществ с последующим их использованием в производстве полимеров; максимальное повторное использование промывных вод; разработка технологий очистки оборотной воды или подготовка ее для очистки на общезаводских очистных сооружениях.

Методы, применяемые для очистки сточных вод от загрязнения, можно разделить на две группы: методы предварительной, или грубой, очистки воды от основной массы загрязнений и методы доочистки, или тонкой очистки стоков, содержащих малое количество загрязнений.

К первой группе относятся нейтрализация, осаждение, экстракция, ректификация, выпаривание, сжигание, коагуляция и флокуляция.

Ко второй группе относятся сорбция на твердых сорбентах, ионный обмен, электрохимическое и биохимическое окисление, озонирование,

биологическая очистка, мембранные методы, обратный осмос и ультрафильтрация.

Химическое осаждение применяют для выделения из концентрированных сточных вод растворенных органических и неорганических веществ в виде нерастворимых соединений. Этот метод используют для очистки сточных вод в производствах карбамидных смол и поликарбонатов.

Экстракцию целесообразно применять при высокой концентрации загрязнений в сточных водах с целью их извлечения и последующего использования. Так поступают для извлечения уксусной кислоты из сточных вод производства эпоксидных полимеров.

Выпаривание применяют для концентрирования сточных вод с высоким содержанием нелетучих органических соединений или неорганических солей.

Коагуляцию и флокуляцию применяют для очистки сточных вод от диспергированных в них веществ с помощью неорганических коагулянтов и органических флокулянтов.

Сорбция на активных углях эффективна при очистке сточных вод, содержащих небольшие количества ароматических веществ или соединений с двойными связями и функциональными группами. Этот метод используют для очистки сточных вод производств фурановых полимеров и поликарбонатов.

Ионообменную очистку широко применяют для умягчения воды при водоподготовке, а также для сорбции из воды органических соединений кислотного-основного характера.

Электрохимическое окисление применяют для доочистки сточных вод с низким содержанием органических соединений в производстве полиэфирных смол после очистки их коагуляцией.

Обратный осмос и ультрафильтрация наиболее выгодны по сравнению с другими способами очистки сточных вод и газовых выбросов ввиду малой энергоемкости (1 кВт·ч на 1 м³ очищенной воды) и металлоемкости. Очистка этими способами основана на разделении и концентрировании с помощью мембран органических и неорганических веществ, находящихся в водных или неводных растворах или в газовой среде.

Получение полимеров сопровождается выделением токсичных веществ, содержащихся в газовых выбросах. В зависимости от объемов и состава газовых выбросов разработаны различные методы их очистки от токсичных веществ: огневой, термokatалитический, сорбционно-каталитический.

Прямое сжигание (огневой метод) может осуществляться как в сушильных установках, так и в топке котлов. В отношении экономии энергоресурсов и капитальных затрат перспективна очистка газовых выбросов, независимо от их состава в топках котлов. Высокая эффективность достигается в результате длительного пребывания выбросов в топках котлов при $1000 \dots 2000^\circ\text{C}$. Степень обезвреживания органических примесей достигает 99%. Присутствие влаги в выбросах значительно снижает степень обезвреживания.

Наличие на предприятиях котельной позволяет с минимальными капитальными затратами, без увеличения расхода топлива очищать выбросы в топках котлов. При достаточно высокой концентрации примесей экономия топлива обеспечивается за счет использования тепла сгорания вредных веществ. Расчеты по сжиганию выбросов в топках котлов показали, что коэффициент избытка воздуха составляет $1,9 \dots 2,0$ (в зависимости от количества выбросов).

Термокаталитический способ обезвреживания требует меньших расходов топлива, чем огневой: обезвреживание происходит при более низкой температуре – до 400°C . Очистка выбросов заключается в окислении органических веществ при $380 \dots 400^\circ\text{C}$ в присутствии палладиевых катализаторов. Окисление органических соединений идет до образования диоксида углерода и воды. Степень очистки составляет $95 \dots 97\%$.

Сорбционно-каталитический метод используют для очистки выбросов с низким содержанием органических примесей. Применение сорбентов-катализаторов позволяет в $10 \dots 20$ раз сократить расход топлива на выжигание органических примесей по сравнению с термокаталитическим методом.

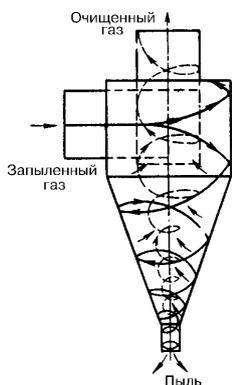


Рис. 2.8.41. Схема действия циклона

Для очистки газов от взвешенных частиц применяют циклоны и фильтры. Степень очистки газа в циклонах зависит от конструкции циклона, размера частиц и их плотности.

Эффективность работы циклона характеризуется фактором разделения, который определяется соотношением центробежной и гравитационной сил. Центробежная сила обусловлена диаметром циклона и окружной скоростью частиц. На рис. 2.8.41 показана схема работы циклона.

Для очистки газов от пыли широко применяют рукавные (мешочные) фильтры. Фильтрующие элементы изготовляют из волокна нитрон, сунка и других материалов.

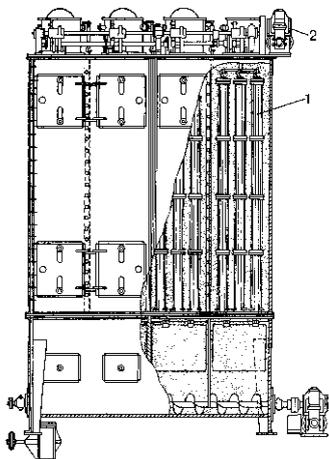


Рис. 2.8.42. Рукавный фильтр:
1 – рукав; 2 – механизм встряхивания

Рукава (мешки) подвешены в корпусе на общей раме (рис. 2.8.42). Запыленный газ поступает снизу внутрь рукавов в открытые торцовые отверстия. Проходя через боковые цилиндрические поверхности рукавов, газ фильтруется, а пыль оседает на внутренней поверхности рукавов. Для регенерации фильтра рукава периодически встряхиваются специальным механизмом. Иногда для этой цели применяют обратную продувку фильтрующих элементов газом или воздухом.

Рукавные фильтры рассчитывают по выбранной удельной скорости фильтрации, которую можно принимать в пределах от 0,01 до 0,06 м³/(м²·с), в зависимости от плотности и степени запыленности газа. Общую поверхность фильтрации определяют из соотношения $F = \frac{\dot{V}}{w}$, где \dot{V} – расход запыленного газа, м³/с; w – удельная скорость фильтрации, м/с.

Мокрую очистку газов применяют тогда, когда допустимы увлажнение и охлаждение газа, а взвешенные частицы не представляют ценности. Степень очистки газов от пыли в мокрых пылеуловителях колеблется в различных конструкциях от 60 до 85%.

Широкое распространение получили центробежные мокрые скрубберы (рис. 2.8.43). Это вертикальные цилиндрические аппараты, в которых газ вводится по касательной, а в поток газа через форсунки впрыскивается вода. Водная завеса, создаваемая соплами, обеспечивает очистку газа.

Газовый поток в аппарате обычно направлен снизу вверх. Вода с уловленными продуктами собирается в нижней части аппарата. Нижняя часть аппарата служит также для отстаивания твердых частиц из жидкости.

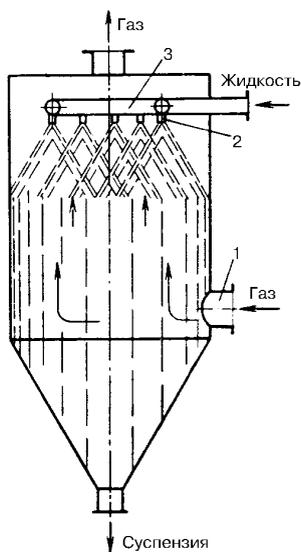


Рис. 2.8.43. Схема распылительного скруббера:
1 – вход запыленного газа; 2 – форсунки; 3 – коллектор.

Пенный аппарат (рис. 2.8.44) представляет собой камеру круглого или прямоугольного сечения с горизонтальной решеткой внутри нее. Газ в аппарате движется снизу вверх. Вода подается и отводится через боковые штуцера. Уровень жидкости на решетке регулируется переливным порогом.

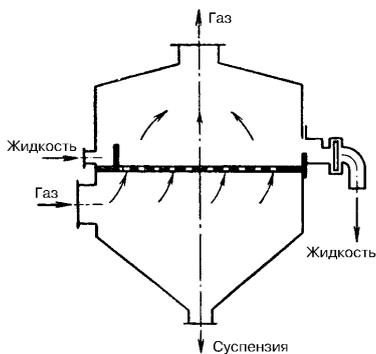


Рис. 2.8.44. Схема однополочного пенного скруббера

Пенный режим может быть получен лишь при оптимальной скорости газа в свободном сечении и оптимальных диаметрах отверстий в решетке. Скорость газа в сечении аппарата принимают обычно в пределах 1...3 м/с, а живое сечение решетки выбирают так, чтобы скорость газа в отверстиях составляла 6...13 м/с. Недостатком пенных аппаратов является большой брызгоунос.

В пенных аппаратах жидкость, взаимодействующая с газом,

приводится в состояние пены, что создает большую поверхность контакта между жидкостью и газом и обеспечивает высокую степень очистки. Пенный скруббер при улавливании пыли с размером частиц более 5 мкм имеет КПД до 99%.

Мокрые газоочистительные установки требуют большого расхода воды, поэтому они работают, как правило, с циркулирующей орошающей воды. Вода из аппарата поступает в отстойный бак и затем с помощью насоса снова возвращается на орошение.

8.11. Оборудование для перемещения газов и жидкостей

Системы транспортировки сырья в производстве полимеров делят по назначению на два типа:

- транспортировку материалов с транспортных средств (автомобили, железнодорожные вагоны и цистерны и т. п.) в промежуточные емкости и хранилища;
- транспортировку материалов в пределах цехов или отделений в соответствии с технологической схемой.

8.11.1. Подача в реактор газообразных и жидких реагентов

Питание реактора *газообразными реагентами* осуществляется с помощью компрессоров, рассчитанных на преодоление сопротивления циркулирующего в системе потока газа. Компрессоры подразделяются на объемные и динамические. К объемным относят поршневые компрессоры, а к динамическим – центробежные турбокомпрессоры (с приводом в виде турбины).

Выбор компрессоров производится на основании следующих данных: производительности при условиях всасывания, давления после нагнетательного патрубка, максимально допустимой температуры сжатия, требуемых пределов регулирования производительности и других.

Поршневые компрессоры находят широкое применение на тех технологических установках, где сравнительно небольшое количество газов (3000...8300 м³/ч) компримируется до высоких давлений. По числу ступеней поршневые компрессоры подразделяют на одно-, двух- и многоступенчатые, а также дифференциального действия.

При выборе компрессора и включения его в проект придерживаются такой последовательности. Из заводских каталогов и проспектов выписывают марки машин, производительность которых равна или несколько выше требуемой, а также данные о составах компримируемых газов.

Поршневые компрессоры (рис. 2.8.45) для производства полиэтилена применяются для сжатия этилена в технологических линиях типа

«Полимир» производства полиэтилена низкой плотности методом высокого давления.

Компрессоры свежего этилена (I каскад) изготавливаются на оппозитной базе 4М16 в трехступенчатом исполнении с электроприводом, обеспечивающим плавное регулирование производительности изменением частоты вращения от 100 до 320 об/мин.

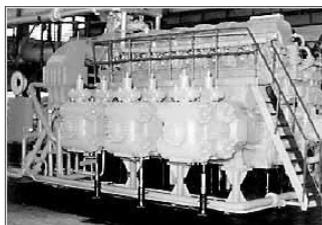


Рис. 2.8.45. Оппозитный поршневой компрессор

Компрессоры реакционного давления (II каскад) изготавливаются на оппозитной базе 4М40 с гидромеханической передачей движения от кривошипно-шатунного механизма рабочим органам цилиндров обеих ступеней.

Смазка механизма движения – циркуляционная под давлением от насоса. Смазка цилиндров и уплотнительных устройств штоков – принудительная под давлением от многоплунжерных насосов. Охлаждение – водяное с закрытым сливом. Технические характеристики поршневых компрессоров приведены в табл. 2.8.3.

Таблица 2.8.3

Технические характеристики поршневых компрессоров

Марка компрессора	Сжимаемая среда	Производительность		Давление абс., МПа		Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, м	Масса без эл. двигателя, т
		м ³ /мин	нм ³ /мин	всасывания	нагнетания			
4ГМ16-12,5/17-281	Этилен	11,70	134	1,13	31,30	870	31,2x12,7x5,95	81
4ГМ16-14/14-281	Этилен	13,86	164	1,37	27,50	1150	21,4x11,7x6,2	66
4ГМ40-1,2/250-2500	Этилен	1,21	260	24,50	245,00	4300	31,8x19,2x8,1	191

Примечание: габаритные размеры указаны с учетом привода, межступенчатой аппаратуры и трубопроводов.

Автоматизированная система контроля, управления и защиты обеспечивает дистанционный программный пуск и остановку компрессора, предупредительную и аварийную сигнализацию, а также блокировку приводного электродвигателя при отклонении параметров от заданных значений.

Остановив выбор на нескольких машинах, подбирают о них в отделе оборудования более подробную информацию, включающую полную техническую характеристику компрессора и электропривода, установочные чертежи, общий вид, схемы межступенчатой обвязки, схемы маслопровода, схемы систем охлаждения, описание компрессора, его отдельных узлов и материалов, из которых они изготовлены, перечень комплектного оборудования и приборов.

При выборе центробежного компрессора необходимо знать производительность в условиях всасывания, начальное и конечное давление и другие характеристики.

Ротационные и винтовые компрессоры. Сжатие газов в этих машинах основано на том же принципе, что и в поршневых компрессорах, однако они имеют ряд преимуществ: отсутствие деталей с большой массой, они не нуждаются в смазке цилиндров. Основными недостатками таких машин следует считать более низкий по сравнению с поршневыми компрессорами КПД и относительную сложность их изготовления. Выбор таких компрессоров производится так же, как и поршневых компрессоров.

Для перемещения *жидких продуктов* предназначены насосы разных типов. Они делятся на динамические, в которых жидкая среда перемещается под силовым воздействием на нее в камере, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса, и объемные, в которых жидкая среда перемещается путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

К динамическим насосам относятся центробежные, в которых жидкая среда перемещается через рабочее колесо от центра к периферии, и осевые (вихревые), в которых жидкая среда перемещается через рабочее колесо в направлении его оси. К объемным относятся поршневые, плунжерные, диафрагменные и роторные насосы.

Центробежные насосы (рис. 2.8.46) предназначены для перекачивания химически слабоактивных и нейтральных малозагрязненных жидкостей. Область применения центробежных насосов: водоотливные установки угольных шахт, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, подача питательной воды и т. д. Основным рабочим органом центробежного насоса служит колесо с лопатками, насаженное на вал внутри неподвижного корпуса спиральной формы. Корпус насоса соединен патрубками с всасывающим и нагнетательным трубопроводами. Чтобы при заливке насоса или его остановке жидкость не выливалась из всасывающего трубопровода, на его конце устанавливают обратный клапан с защитной сеткой.

При вращении рабочего колеса жидкость, заполняющая каналы между лопатками, под действием центробежной силы отбрасывается от центра колеса в спиральную камеру, а затем в нагнетательный (напорный) трубопровод.

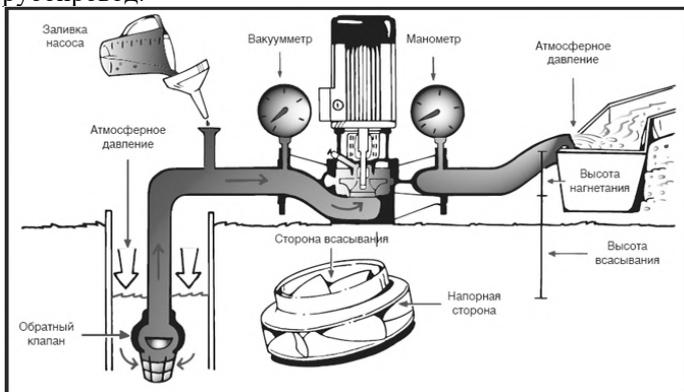


Рис. 2.8.46. Схема работы центробежного насоса

Вихревые насосы (рис. 2.8.47) предназначены для перекачивания воды, нейтральных, химически активных жидкостей, с небольшой вязкостью, температурой до 85°C, с содержанием твердых включений до 0,01% по массе, размером до 0,05 мм. Область применения вихревых насосов: химическая промышленность, промышленное и коммунальное водоснабжение. Характеристики насосов представлены в табл. 2.8.4.



Рис. 2.8.47. Схема вихревого насоса

Таблица 2.8.4

Технические характеристики вихревых насосов

Марка насоса	Подача, м ³ /час	Напор, м	Частота вращения (синхр.), об/мин	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса насоса, кг
ВК 2/26-Д	7,2	26	1500	5,5	440x220x255	47,5
ВКС 2/26-ДС	7,2	26	1500	5,5	440x220x375	48,5

Консольные химические насосы (рис. 2.8.48) предназначены для перекачивания химически активных и нейтральных сред с водородным показателем $pH = 4...9$ и температурой до $165\text{ }^{\circ}\text{C}$. Насосы, проточная часть которых изготовлена из титана, предназначены для перекачивания жидкостей с водородным показателем $pH = 2$. Консольные химические насосы применяются в химической, пищевой, нефтеперерабатывающей промышленности.



Рис. 2.8.48. Консольный химический насос

Изготавливают центробежные консольные одноступенчатые химические насосы с горизонтальным расположением вала с односторонним осевым подводом жидкости к рабочему колесу и вертикальным отводом. Конструкция колеса обеспечивает максимально возможную разгрузку ротора насоса от осевой силы. Осевая сила, возникающая по мере износа, компенсируется опорным узлом. Опорами служат подшипники качения. Уплотнение вала – торцевое или с мягкой сальниковой набивкой. Насосный агрегат может быть укомплектован любым электродвигателем, параметры и исполнение которого соответствуют условиям эксплуатации. Смазка подшипников – жидкая или консистентная. В насосах с жидкой смазкой поддержание уровня масла в картере опорного узла обеспечивается масленкой постоянного уровня.



Рис. 2.8.49. Погружной насос

Погружные насосы (рис. 2.8.49) предназначены для откачивания химически активных, нейтральных жидкостей и нефтепродуктов из приемков емкостей. Характеристики насосов представлены в табл. 2.8.5.

Таблица 2.8.5

Технические характеристики погружных насосов

Марка насоса	Подача, $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор, м	Частота вращения (синхр.), об/мин	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса насоса, кг
ХИО 45-90К-Щ	45	90	2900	55	3775x895x628	1245
ХПВ 80-50-200Д	50	46	3000	15	3220x920x2600 3220x920x3000	272 291
ХПЕ 80-50-200Д-55	50	46	3000	15	3370x920x3000	320

Водокольцевые вакуумные насосы (рис. 2.8.50) предназначены, в зависимости от материала проточной части, для отсасывания (создания вакуума) воздуха, инертных или агрессивных газов, нерастворимых в воде. Область применения: химическая, горно-металлургическая, угольная, пищевая, целлюлозно-бумажная промышленность, сельское хозяйство, строительство и медицина. Зазоры между вращающимся ротором и неподвижным корпусом уплотнены водяным кольцом. Простота конструкции, отсутствие трущихся пар в проточной части обеспечивают надежность и долговечность работы насоса.



Рис. 2.8.50. Вакуумный водокольцевой насос

При выборе насоса любого типа нужно знать его рабочую производительность, давление нагнетания, наличие подпора или предполагаемую высоту всасывания, количество и размер взвешенных частиц, пределы регулирования производительности, коррозионные свойства перекачиваемой жидкости, ее токсичность и взрывоопасность, температуру кипения перекачиваемой жидкости при давлении всасывания, температуру жидкости, ее удельный вес и вязкость при рабочих условиях.

Порядок выбора насосов и выдачи задания на разработку новых типов тот же, что и для компрессоров.

8.12. Заключение

В технологических схемах производства полимеров реактор несомненно играет наиболее существенную роль. Однако существует оборудование, которое располагается до и после реактора, предназначенное в основном для подготовки перерабатываемого исходного сырья и выделения целевого продукта.

Такое оборудование называется вспомогательным и обеспечивает получение полимерных материалов заданного качества. Количество устанавливаемой вспомогательной аппаратуры может быть велико, в зависимости от метода получения соответствующего полимера.

Вопросы для самоконтроля

1. Выбор и обоснование вспомогательной аппаратуры.
2. Приведите эскизы емкостного оборудования.
3. Каковы основные типы теплообменных устройств, используемых в производстве полимеров?
4. Каково устройство противоточной колонны для дегазации латекса?
5. Приведите эскизы отделителей высокого и низкого давления.
6. Охарактеризуйте сепарационное и фильтровальное оборудование.
7. Приведите краткие характеристики сушилок для полимерных материалов.
8. Охарактеризуйте основные методы очистки выбросов в производстве полимерных материалов.
9. Приведите общую характеристику оборудования для транспортирования полимерных материалов.
10. Какое оборудование применяется для транспортирования газов и жидкостей в производстве полимеров?

Трубопроводные системы включают в себя: трубы и их фасонные части, детали для соединения и крепления трубопроводов, компенсаторы температурных удлинений. Ниже будут рассмотрены элементы трубопроводной системы.

9.1. Трубы и их фасонные части

Трубы являются основной частью трубопроводов. Их изготавливают из стали, чугуна, цветных металлов, стекла, керамики, фарфора, полимеров. Наиболее широкое применение все же находят стальные трубы. Стальные трубы бывают сварными и бесшовными. Сварные имеют продольный или спиральный шов, поэтому они менее надежны в работе. К этим трубам относятся водогазопроводные и электросварные. Водогазопроводные трубы применяются для воды, сжатого воздуха, газа, пара низкого давления и других нейтральных сред при температуре от -15 до $+200^{\circ}\text{C}$. Они выпускаются для давлений до 1 МПа (обыкновенные) и до 1,6 МПа (усиленные).

Бесшовные трубы более надежны. Они используются для транспортировки разнообразных продуктов, в том числе взрывоопасных, ядовитых и корродирующих веществ при температуре от -180 до $+800^{\circ}\text{C}$ и давлении до 200 МПа. Их изготавливают из сталей различных марок (Ст.10, Ст.20, 12МХ, 15ХМ, X18H10T и т. д.).

При проектировании к трубопроводам предъявляются следующие требования:

- надежность и минимум расчетных затрат,
- унификация узлов и деталей,
- быстрое включение в работу,
- уменьшение тепловых потерь в трубах,
- снижение шумовых эффектов,
- уменьшение длины труб и, соответственно, гидравлических сопротивлений.

Выбор труб и определение их диаметра проводится в следующей последовательности. Вначале собирают исходные данные, такие как рабочие параметры процесса (температура и давление), параметры транспортируемой среды (часовой расход, вязкость, плотность), сведения о коррозионных, токсических и пожарных свойствах внешней и транспортируемой среды, назначение рассчитываемого участка трубопровода и технологические требования, предъявляемые к материалу труб.

После этого выбирают материал труб. Выбор зависит от условного давления, химической агрессивности транспортируемой среды

и т. д. При наличии нескольких видов материала, годных для изготовления трубопровода, предпочтение отдают наиболее дешевому и наименее дефицитному.

После этого переходят к гидравлическому расчету трубопровода. Основной целью такого расчета является определение диаметра трубопровода при условии постоянства расхода жидкости или газа либо определение диаметров отдельных участков с разным часовым расходом. Одновременно определяют потери напора на отдельных участках. Приблизительно диаметр трубопровода определяют, задаваясь скоростью или допустимыми потерями напора. Эти величины связаны с диаметром соотношения вида

$$w_{\text{доп}} = \frac{4 \cdot V_{\text{сек}}}{\pi \cdot D^2}, \quad h_{\text{доп}} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_3} + \sum \xi_i \right) \cdot \frac{8 \cdot V_{\text{сек}}^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g},$$

где $V_{\text{сек}}$ – секундный расход, м³/с; $w_{\text{доп}}$ – допустимая скорость, м/с; $h_{\text{доп}}$ – допустимая потеря напора, м; ξ_i – коэффициент местных сопротивлений; D – диаметр трубопровода, м.

Таким образом, рабочее проектирование сводится к подбору соответствующих элементов системы по действующим стандартам и нормам.

Трубы соединяются между собой и с арматурой. Их окрашивают в зависимости от назначения в определенный цвет (табл. 2.9.1).

Таблица 2.9.1

Цвета окраски трубопроводов

Материальный поток	Цвет окраски
Вода производственная	Черный без полос
Азот	Черный с коричневыми полосами
Вакуум	Белый с желтыми полосами
Вода горячая	Зеленый с красными полосами
Водород	Темно-зеленый
Воздух сжатый	Синий
Канализация	Черный с желтыми полосами
Кислоты крепкие	Красный с белыми полосами
Кислоты разбавленные	Красный с двумя белыми полосами
Пар насыщенный	Красный с желтыми полосами
Хлор	Защитный с зелеными полосами
Щелочи крепкие	Вишневый без полос
Щелочи разбавленные	Вишневый с белыми полосами

Трубные соединения делятся на разъемные и неразъемные. К неразъемным относятся соединения пайкой, сваркой и склеиванием. Стальные, алюминиевые, свинцовые и титановые трубы чаще всего соединяются сваркой в стык (рис. 2.9.1). Трубы из цветных металлов, их

сплавов и пластмасс соединяются пайкой внахлест или склеиваются с помощью подвижных муфт.

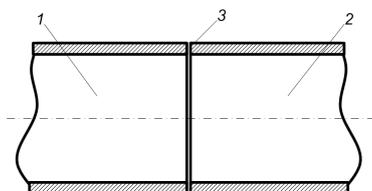


Рис. 2.9.1. Соединение труб встык:
1,2 – трубы; 3 – сварной шов.

Для чугунных, керамических, гранитовых труб используют раструбные соединения (рис. 2.9.2). Раструбное соединение относится к разъемным соединениям. Оно может быть разобрано путем разрушения элементов, заполняющих раструб. Гладкий конец одной трубы вставляется в раструб другой. Кольцевое пространство заполняется пеньковой прядью, а затем увлажненным цементом.

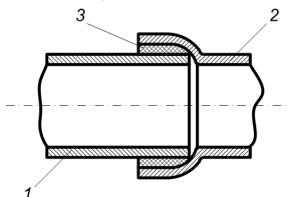


Рис. 2.9.2. Раструбное соединение:
1,2 – трубы; 3 – набивка.

Резьбовое соединение применяется для стальных труб, но иногда и для виниловых (рис. 2.9.3). Наиболее распространенным разъемным соединением труб является фланцевое (рис. 2.9.4). Конструкция фланцев меняется в зависимости от материала трубы, рабочего давления в трубопроводе, температуры рабочей среды и других факторов.

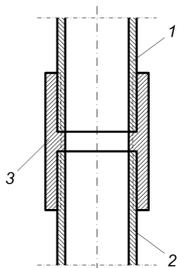


Рис. 2.9.3. Резьбовое соединение:
1,2 – трубы; 3 – муфта.

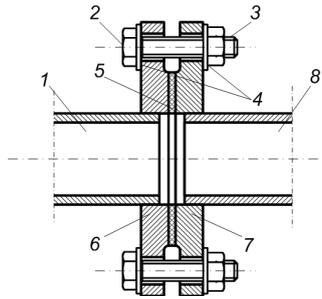


Рис. 2.9.4. Фланцевое соединение:
 1,8 – трубы; 2 – болт; 3 – гайка; 4 – шайба; 5 – прокладка; 6, 7 – фланцы.

Для соединения отдельных отрезков труб или при переходе с одного диаметра на другой используют фасонные части (рис. 2.9.5). К ним относятся: отвод (*a*), колено (*б*), двойник (*в*), тройник (*з*), крестовина (*д*), переход (*е*). Колена, отводы и угольники применяют для изменения направления трубопровода, переходы – для соединения труб разного диаметра, а тройники и крестовину – для создания одного или двух отвлений. Соединяемые части изготовляют путем гнутья труб или сварки заготовок из листового материала или отрезков труб.

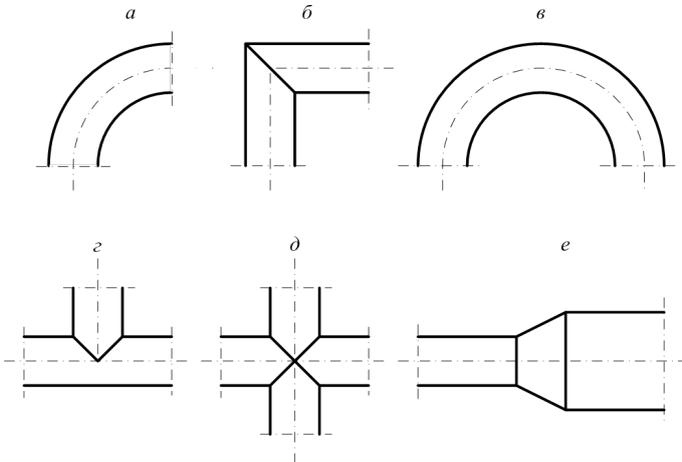


Рис. 2.9.5. Фасонные части трубопроводов

Поскольку трубопроводы подвержены колебаниям температуры в зависимости от времени года, температуры среды и состояния теплоизоляции, то для компенсации температурных удлинений в трубопроводе

предусматривают компенсаторы. Конструкции наиболее распространенных компенсаторов приведены на рис. 2.9.6.

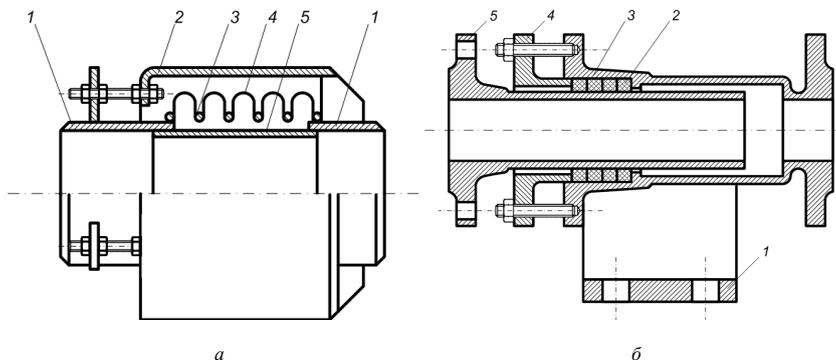


Рис. 2.9.6. Компенсаторы:

- а* – волнообразный: 1 – трубы; 2 – кожух; 3 – ограничительные кольца;
 4 – гофрированный гибкий элемент; 5 – стакан;
б – сальниковый: 1 – опора; 2 – набивка; 3 – корпус сальника; 4 – нажимная втулка;
 5 – внутренняя труба.

9.2. Трубопроводная арматура

Трубопроводная арматура – это все механизмы и устройства, предназначенные для полного или частичного отключения отдельных участков трубопровода, предотвращения обратного тока жидкости или газа, а также опасного повышения давления. Арматура включает в себя: вентили, задвижки, краны, заслонки, предохранительные клапаны, обратные клапаны. Арматура любого класса включает три основных элемента: корпус, привод и рабочий орган (запорный, регулирующий и т. д.), состоящий из седла и перемещающегося или поворачивающегося относительно него затвора (золотника).

Ниже приводится краткая характеристика каждой группы арматуры.

9.2.1. Клапаны

Клапаны являются основными запорными устройствами трубопроводов для жидкостей и газов при любых давлениях и весьма высоких температурах. Их изготавливают из чугуна, стали, пластмасс и других материалов.

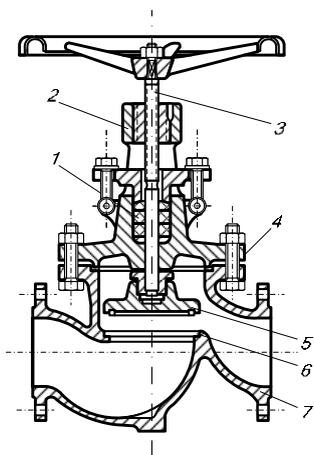


Рис. 2.9.7. Клапан с прямым шпинделем:

- 1 – сальник; 2 – ходовая гайка;
3 – шпindelь; 4 – крышка; 5 – клапан;
6 – седло клапана; 7 – корпус.

Они отличаются надежностью в работе, герметичностью, а также плавной регулировкой величины прохода, но имеют относительно высокое напряжение и большие габариты. Клапаны представляют собой запорную арматуру с затвором в виде плоской или конической тарелки (золотника), которая перемещается возвратно-поступательно вместе со шпинделем относительно седла (рис. 2.9.7). Клапаны выполняются с ручным управлением или с электроприводом.

Клапаны на трубопроводе устанавливаются так, чтобы среда в них попадала из-под золотника. Область применения клапанов весьма обширна.

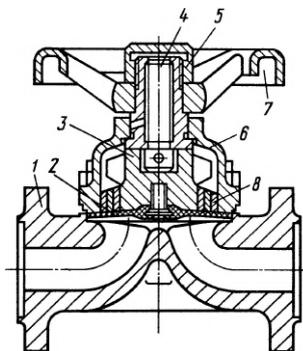


Рис. 2.9.8. Диафрагменный клапан:

- 1 – корпус; 2 – диафрагма; 3 – клапан; 4 – шпindelь; 5, 6 – крышка;
7 – барашек; 8 – сальник.

Клапаны, за исключением диафрагменных (рис. 2.9.8), непригодны для установки на трубопроводах, служащих для передачи загрязненных осадками и легко кристаллизующихся жидкостей, так как твердые частицы, попадая между седлом и золотником, не только препятствуют плотной посадке последнего на седло, но, повреждая рабочую поверхность, служат причиной утраты герметичности.

9.2.2. Задвижки

Задвижки служат запорными устройствами на трубопроводах среднего и большого диаметра (от 50 до 200 мм и выше) основными преимуществами задвижек по сравнению с вентилями являются малое сопротивление и сравнительно небольшая строительная длина. Однако герметичность запорных органов задвижек ниже герметичности вентилях соответственного диаметра. Задвижки разделяются на параллельные и клиновые. На рис. 2.9.9 приведена параллельная задвижка. Запорным органом является шибер, состоящий из двух симметричных тарелок 3, между которыми помещается клин 2; последний при опускании тарелок распирает их, прижимая к уплотняющим поверхностям корпуса 1.

При малых давлениях обычно используются параллельные двухдисковые задвижки, при



Рис. 2.9.10. Задвижка клиновья чугунная с неподвижным шпинделем и электроприводом

больших давлениях – клиновые, с цельным, упругим или составным клином.

В клиновых задвижках (рис. 2.9.10) уплотняющие кольца корпуса расположены под углом, диск имеет форму клина и при закрытии плотно прижимается к кольцам. Для закрытия или открытия прохода необходимо сделать большое число оборотов шпинделя, поэтому задвижки, особенно больших диаметров прохода, часто снабжаются электроприводом, который имеет и устройство для ручного управления, используемое в случае необходимости. Большинство задвижек с ручным управлением (клиновые) допускают установку на трубопроводе при любом рабочем положении. Задвижки с электроприводом монтируются на горизонталь-

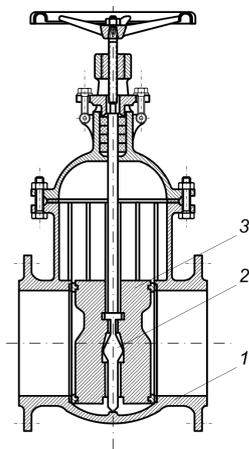


Рис. 2.9.9. Задвижка параллельная
1 – корпус; 2 – клин;
3 – тарелка.

ном трубопроводе вертикально, электроприводом вверх. Может быть допущена установка задвижек с горизонтальным расположением шпинделя при условии, что для электропривода будет предусмотрена опора.

9.2.3. Краны

Краны применяют в качестве запорной арматуры на трубопроводах диаметром до 200 мм, предназначенных для транспортирования жидкостей, легко застывающих продуктов и взвесей при температуре до 100°C и давлении до 0,1 МПа. Применяются натяжные (для газов) и сальниковые краны с муфтовым и фланцевым присоединением. По направлению движения продукта различают краны проходные и трехходовые. На рис. 2.9.11 показан конический пробковый кран, а на рис. 2.9.12 – шаровой кран.

Краны дают возможность пропускать жидкости, содержащие взвеси и кристаллы и создают небольшое гидравлическое сопротивление.

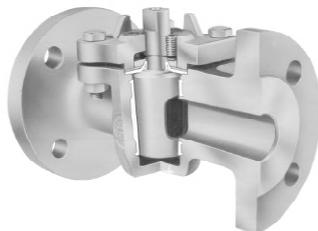


Рис. 2.9.11. Конический пробковый кран

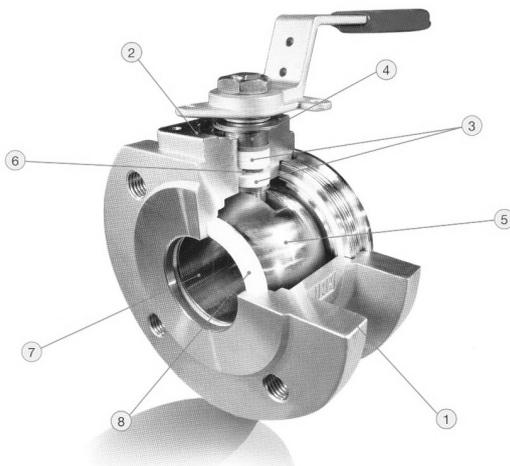


Рис. 2.9.12. Шаровой кран:

1 – корпус; 2 – сальниковая коробка; 3 – уплотнение; 4 – нажимная втулка; 5 – пробка; 6 – шпиндель; 7 – проходное отверстие; 8 – обтюрация.

Изготавливаются также натяжные краны, в которых усилие, необходимое для уплотнения поверхностей корпуса и пробки, создается с помощью гайки, расположенной на нарезанном цилиндрическом конце пробки, проходящим сквозь доньшко корпуса. Натяжные краны не могут обеспечить надлежащей герметичности при тех давлениях, которые обычно требуются в условиях химического производства. Они применяются главным образом в тех случаях, когда давление в трубопроводе не превосходит сотых долей МПа.

9.2.4. Заслонки

Заслонками (рис. 2.9.13) называют арматуру, в которой затвор выполнен в виде диска, поворачивающегося на перпендикулярной потоку оси. Их используют обычно на трубопроводах большого диаметра при малом давлении среды и нежестких требованиях к герметичности запорного органа. Заслонками управляют вручную или с помощью гидро-, пневмо- или электропривода.

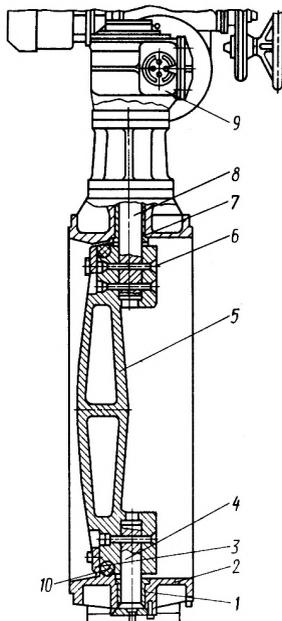


Рис. 2.9.13. Дисковая заслонка:

1, 7 – подшипники; 2 – корпус; 3 – прижимное кольцо; 4 – ось; 5 – диск; 6 – штифт; 8 – вал; 9 – электропривод; 10 – резиновое кольцо.

9.2.5. Предохранительные, обратные клапаны и другая арматура

Эта арматура предназначена для защиты трубопроводной системы от повышения давления выше предельно допустимого. При повышении давления в аппаратах сверх установленной нормы клапан открывается и сбрасывает часть пара (или газа) в атмосферу или в специальную выпускную линию.



Рис. 2.9.14. Пружинный предохранительный клапан

В зависимости от способа уравнивания давления различают клапаны рычажные (грузовые) и пружинные. На рис. 2.9.14 показан пружинный предохранительный клапан. Усилие пружины действует на шток, связанный с тарелкой клапана. Натяжение пружины регулируется с помощью гайки. Клапан имеет рукоятку для принудительного открытия, которое проводят периодически для проверки его работы.

В грузовом клапане (рис. 2.9.15) усилие на тарелку передается с помощью груза, закрепленного на конце рычага. Всю рычажно-грузовую систему помещают в закрытый кожух, исключая возможность изменения регулировки.

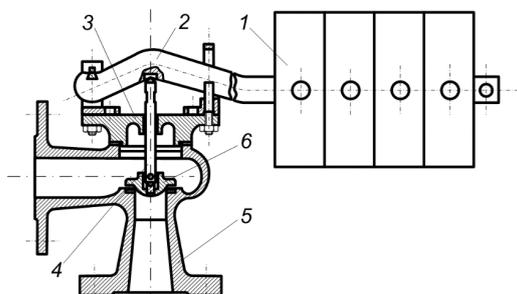


Рис. 2.9.15. Рычажно-грузовой клапан:
1 – груз; 2 – рычаг; 3 – крышка; 4 – шток; 5 – корпус; 6 – золотник.

Обратные клапаны служат для пропуска среды в одном направлении. В зависимости от принципа действия различают клапаны, закрывающиеся за счет веса тарелки (рис. 2.9.16), и с пружинным прижимом (рис. 2.9.17). Обратный клапан, закрывающийся за счет веса тарелки, может быть установлен только на горизонтальных участках трубопроводов. Клапан-захлопка имеет тарелку, поворачивающуюся на петлях.

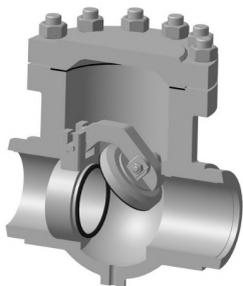


Рис. 2.9.16. Обратный клапан-захлопка



Рис. 2.9.17. Обратный клапан с пружинным прижимом

Наряду с перечисленными основными типами трубопроводной арматуры необходимо отметить некоторые виды специальной, к которой относятся, например, указатели уровня, пробно-спусковые краны, конденсатоотводчики, редукционные клапаны, смотровые фонари и т. д.

Конденсатоотводчики устанавливают на отводных линиях из теплообменников и калориферов, обогреваемых паром. Их назначение – вывод из трубопроводной системы конденсата. Конденсатоотводчики действуют автономно, выпуская конденсат периодически по мере его накопления в трубопроводе. Действие их основано на разности температур или плотностей конденсата и пара.

В настоящее время используют в основном термостатические и поплавковые конденсатоотводчики.

На рис. 2.9.18 показан конденсатоотводчик с открытым поплавком. Клапан, запирающий выходное отверстие, соединяется с поплавком, имеющим вид стакана. Когда конденсат попадает в горшок, поплавок всплывает и запирает выходное отверстие. При наполнении горшка конденсат переливается в стакан и топит его, выходное отверстие при этом открывается, часть конденсата за счет давления пара выбрасывается из горшка. По мере опорожнения стакана он снова всплывает, и клапан закрывает отверстие.

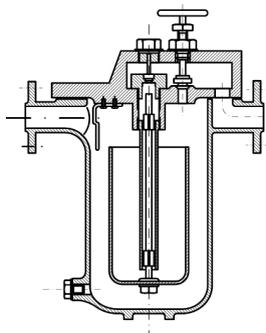


Рис. 2.9.18. Конденсатоотводчик с открытым поплавком

Применяют также термостатические конденсатоотводчики (рис. 2.9.19). В корпусе 1 такого конденсатоотводчика размещен сильфонный термостат 2, заполненный жидкостью и связанный с золотником 3 запорного устройства. С понижением температуры в конденсатоотводчике при заполнении его конденсатом уменьшается давление в сильфоне, вследствие чего золотник поднимается, выпуская часть конденсата. Когда в конденсатоотводчик поступает пар, температура в нем повышается, и жидкость в сильфоне испаряется, в результате давление в сильфоне возрастает и золотник опускается, закрывая выход конденсату.

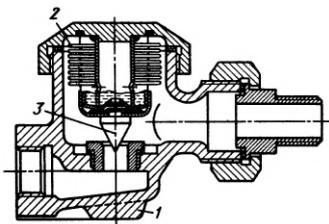


Рис. 2.9.19. Термостатический конденсатоотводчик

Пробно-спускные краны служат для проверки наличия жидкости в резервуарах и сосудах. Указатели уровня применяются для наблюдения за уровнем жидкости в резервуаре и сосудах.

9.2.6. Приводная трубопроводная арматура

Приводную трубопроводную арматуру комплектуют ручным и механизированным приводом. Ручное управление в простейшем случае осуществляется с помощью маховика, закрепленного непосредственно на шпинделе или ходовой гайке.

Электроприводы, как правило, имеют небольшие габариты. Электродвигатель связан со шпинделем арматуры через зубчатую планетарную или червячную передачу. Привод имеет муфту ограничения крутя-

шего момента, предохраняющую двигатель от перегрузок, концевые выключатели и указатель высоты подъема шпинделя, а также штурвал, обеспечивающий в случае необходимости ручное управление.



Рис. 2.9.20. Мембранный привод трубопроводной арматуры

Пневматический и гидравлический приводы разделяют на поршневые и мембранные. Поршневой используют на многих производствах для управления задвижками и вентилями. Многие конструкции арматуры с ручным управлением могут быть сравнительно просто переоборудованы на управление с помощью поршневого привода. В трубопроводной арматуре широко распространен мембранный привод с мембраной, изготовленный из резины толщиной 2...4 мм (рис. 2.9.20). Передача усилия с мембраны на шток осуществляется с помощью диска или грибка, образующего для мембраны опорную плоскость. Мембранный привод бывает как одностороннего, так и двустороннего действия: для управления этими приводами применяют сжатый воздух давлением 0,02...0,1 МПа. Благодаря большому диаметру мембраны (расчетный диаметр доходит до 500 мм) даже при таком небольшом давлении воздуха есть возможность получить значительные усилия на штоке.

9.3. Заключение

На заводах производства полимеров имеется большое количество трубопроводов, по которым к аппаратам подаются газообразные и жидкие мономеры, а также вспомогательные вещества.

Для частичного или полного отключения отдельных участков трубопроводов, предотвращения обратного хода жидкости или газа, а также опасного повышения давления, используют трубопроводную арматуру. В зависимости от назначения различают запорную, регулирующую, предохранительную и контрольную арматуру.

Как правило, трубопроводную арматуру выбирают по каталогам и используют строго по назначению в соответствии с техническими характеристиками.

На наиболее ответственных линиях арматуру подвергают периодическим осмотрам и поверкам и проводят необходимое техническое обслуживание.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение трубопроводной арматуры.
2. Перечислите фасонные части трубопроводов.
3. Каковы требования, предъявляемые к трубопроводным системам?
4. Приведите устройство шарового крана.
5. Каково устройство и принцип работы задвижек?
6. Приведите эскиз пружинного предохранительного клапана.
7. Приведите эскиз рычажно-грузового предохранительного клапана.
8. Приведите эскиз обратного клапана.
9. Каково назначение и устройство мембранного исполнительного механизма?

10.1. Общие положения

Современное химическое производство – это комплекс зданий и инженерных сооружений, в которых размещается оборудование, предусмотренное технологической схемой производства, оборудование вспомогательного назначения, а также ряд административно-хозяйственных помещений.

Под компоновкой цеха или его объемно-планировочным решением понимается как сам процесс проектирования, во время которого определяются состав помещений, их размеры и рациональное взаимное расположение, так и его результат в виде чертежей поэтажных планов и разрезов.

В зависимости от конкретных условий технологическое оборудование можно располагать как на открытых площадках и сооружениях, так и в закрытых производственных зданиях. Соответственно различают открытый и закрытый варианты компоновки цеха.

В зависимости от требований технологии или от размеров участка, отведенного под проектируемое производство, сооружения цеха, скомпонованного по открытому варианту, могут быть одно- или многоэтажными. Оборудование в этом случае устанавливается как на фундаментах, расположенных на земле, так и на специальных железобетонных поста-ментах.

На рис. 2.10.1 показана компоновка производства, размещенного в одном закрытом корпусе. Корпус представляет собой типовое здание шириной 24 м, перекрытое фермой на высоте 24 м и оборудованное кран-балками. В здании имеются продольно расположенные «вставки» для обслуживания аппаратурных залов длиной по 72 м.

Во «вставке» находятся четыре этажа высотой по 3,6 м. Конструкция строительной части здания позволяет ликвидировать перекрытие второго этажа и превратить аппаратурные залы в павильоны, устанавливать в них поперечные стены, организовывать каскадную компоновку оборудования путем устройства дополнительных площадок на отметке 10,8 м (рис. 2.10.2).

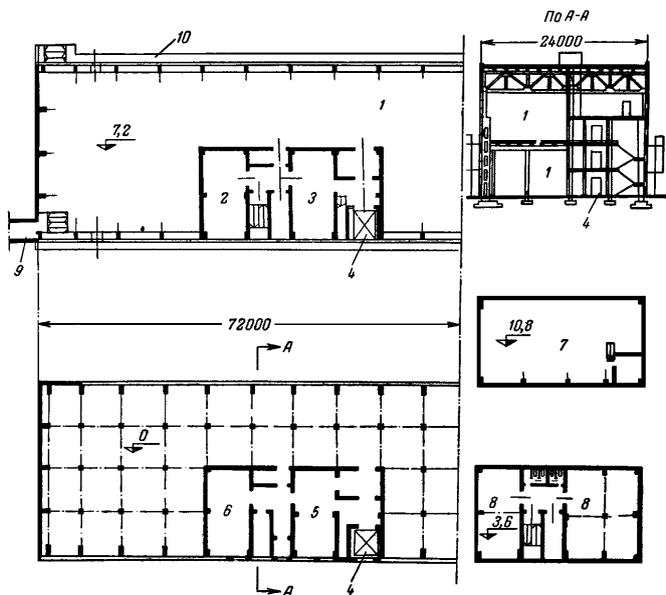


Рис. 2.10.1. Компоновка цеха (закрытый вариант):

1 – аппаратный зал; 2 – узел управления; 3 – лаборатория; 4 – электроподъемник; 5 – склад; 6 – компрессорная; 7 – вентиляционная камера; 8 – электрощитовая; 9 – переход в административно-хозяйственные и обслуживающие помещения; 10 – балкон.

Внутри здания имеется этажерка из сборного железобетона (или металлическая), отстоящая от стен здания на расстояние 3 м, что улучшает условия аэрации цеха и облегчает демонтаж оборудования. В центре этажерки имеется проем (на рисунке показаны дистилляционные колонны 8, размещенные в проеме, у торцевой стены здания). Основное реакционное оборудование расположено на краю этажерки на высоте 4,8 м. Над реакторами и над фильтрами нет никаких перекрытий, что создает хорошие условия для аэрации помещения. По обе стороны от осевой линии центральных колонн оборудование размещено симметрично. Одно-сторонний каскад может быть осуществлен в здании шириной 24 м, двух-сторонний – в здании шириной 54 м. На первом этаже находится только вспомогательное оборудование (емкости, насосы). Недостаток естественного освещения (через окна и фонарь в кровле) может быть компенсирован освещением лампами дневного света. Основное оборудование в здании хорошо освещено.

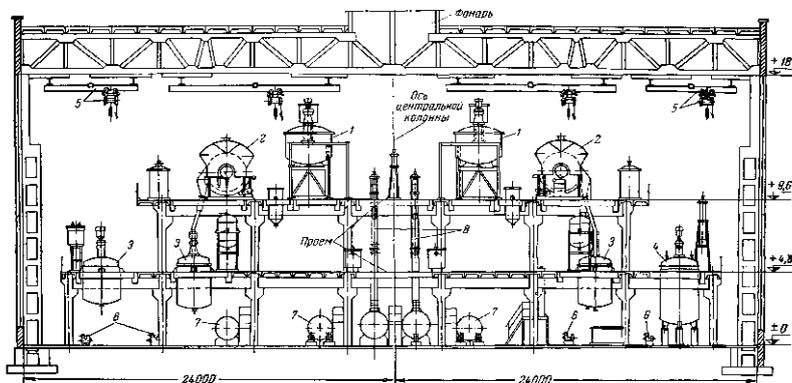


Рис. 2.10.2. Каскадная схема размещения оборудования:

1 – напорные емкости; 2 – барабанные вакуум-фильтры, 3 – суспензаторы, 4 – реактор, 5 – кран-балки (грузоподъемность 3...5 т); 6 – насосы; 7 – сборники; 8 – дистилляционные колонны.

Минимальная высота помещений в зонах обслуживания также нормируется: 3,2 м (от пола до потолка) в производственных сооружениях; 3 м в помещениях энергетического и транспортного хозяйства (2,6 м от пола до выступающих конструкций), 2 м для площадок при регулярном проходе через них и 1,9 м при нерегулярном проходе обслуживающего персонала через площадки.

В соответствии с документом «Строительные нормы и правила. Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования. СНиП 2.09.02-85» *производства подразделяются по пожарной опасности на шесть категорий – от А до Е.*

К категории *А* относятся взрыво- и пожароопасные производства, связанные с переработкой, применением и получением жидкостей с температурой вспышки паров 28°C и ниже, газов с нижним пределом взрываемости 10% (об.) и ниже, а также веществ, взрыв и воспламенение которых могут произойти при контакте их с водой или кислородом воздуха.

К категории *Б* относятся взрыво- и пожароопасные производства, связанные с переработкой, применением или получением жидкостей с температурой вспышки от 28 до 61°C , газов с нижним пределом взрываемости выше 10% (об.), а также производства, в которых могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные смеси.

К категории *В* относятся пожароопасные производства, связанные с обработкой, применением или получением жидкостей с температурой вспышки паров выше 61°C или твердых сгораемых веществ.

К категории *Г* относятся производства, связанные с обработкой негорюемых веществ и материалов в горячем или расплавленном состоянии.

К категории *Д* относятся производства, связанные с обработкой негорюемых веществ в холодном состоянии.

К категории *Е* относятся производства, связанные с переработкой веществ, способных взрываться без последующего горения.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок (ПУЭ)» при выборе электрооборудования производственные помещения и установки делятся на две категории – *пожароопасные* и *взрывоопасные*, каждая из которых включает несколько классов, в зависимости от свойств применяемых и получаемых веществ.

Пожароопасными называют помещения или установки (наружные), в которых перерабатываются или производятся горючие вещества. Взрывоопасными называют помещения или наружные установки, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси газов или паров с воздухом и другими окислителями-газами или же смеси горючих пылей или волокон с воздухом.

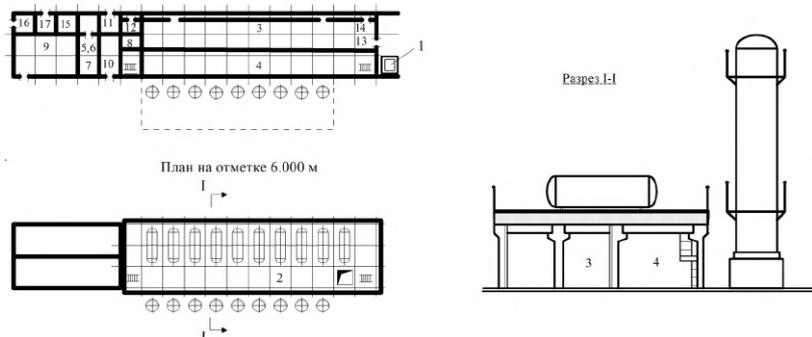


Рис. 2.10.3. Компоновка цеха (открытый вариант):

- 1 – щитовая; 2 – отделение хранения; 3 – насосное отделение; 4 – аппаратное отделение; 6 – водоколлекторная; 10 – анализаторная; 11 – вентиляционные камеры; 12 – трансформаторная подстанция; 13 – электросборка; 14 – пультовая станция; 15–17 – обслуживающие помещения.

На рис. 2.10.3 показан пример компоновки основных производственных помещений корпуса по открытому варианту. Технологическое оборудование располагается на нулевой отметке, а также на перекрытиях железобетонной этажерки. Колонные аппараты устанавливаются по обеим сторонам этажерки. Пунктирными линиями обозначена площадь, которую необходимо оставить незастроенной для монтажа колонн. Справа от этажерки расположены резервуары прицехового склада

сырья 1. Слева к этажерке примыкает одноэтажное здание, в котором размещены операторная 9, кладовая 16, санузел 17, кабинет начальника и механика цеха 18, анализаторная 10, водоколлекторная 6 и парокolleкторная 7. Под этажерку встроены: помещение распределительного пункта 13, помещение конденсатоотводчиков 8, венткамера 11 и подстанция 12.

Таким образом, разработка объемно-планировочного решения цеха состоит из следующих этапов:

- изучение принципиальной технологической схемы;
- сбор сведений о характере и размерах оборудования, закладываемого в проект;
- определение состава помещений в зависимости от характера производства и требований генерального плана завода;
- сбор сведений о монтажных средствах на предприятии, для которого проектируется данное производство;
- группировка оборудования и распределение его по производственным помещениям с учетом направления технологического потока, а также условий монтажа и эксплуатации;
- выбор варианта компоновки и определение размеров основных производственных помещений;
- определение основных мер по охране труда и технике безопасности, влияющих на компоновку;
- обеспечение путей дальнейшего расширения цеха;
- выполнение компоновочных чертежей цеха (планов и разрезов).

В зависимости от размеров цеха и сложности, его компоновки чертежи выполняются в масштабе 1 : 100 или 1 : 200. На них должно быть показано все оборудование и даны указания об основных статистических и динамических нагрузках.

Компоновочные чертежи являются исходным материалом для архитектурной проработки зданий и сооружений проектируемого производства.

10.2. Принципы группировки оборудования

Прежде всего, необходимо выделить оборудование, которое может быть полностью размещено на открытых площадках, и то, для которого достаточно соорудить частичное укрытие (например, кубовая часть колонны).

Сгруппировать аппараты и машины, в процессе эксплуатации которых наблюдается значительное выделение пыли, сильная вибрация и выделение веществ, агрессивных по отношению к строительным конструкциям. Объединить в группы аппараты, размещаемые на наружных установках, снабжаемые водой. Полученные группы распределяются по соответствующим производственным помещениям: аппаратным, компрессорным, насосным, наружным установкам и т. п.

Все тяжелое крупногабаритное оборудование должно быть установлено как можно ниже. С этой целью иногда целесообразно менять самотечную систему подачи орошения на принудительную, размещая дефлегматоры на первом или втором этаже. На этом же уровне следует располагать оборудование, нуждающееся в частом ремонте, чистке, регулировке.

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...2,0 м и удобными подходами к каждому агрегату, ширина которых в свету не менее 0,8 м.

Между рядами оборудования создают проходы и проезды, ширину которых устанавливают с учетом действующих норм. Ширина проходов и проездов должна позволять свободно маневрировать напольному и подвесному транспорту и предусматривать площади для временного хранения сырья, полуфабрикатов, продукции, демонтированных деталей (во время ремонта оборудования), удобство обслуживания оборудования, люков, арматуры, трубопроводов, возможность быстрой замены оборудования, его сменных быстроизнашивающихся узлов, оснастки, приспособлений. Размеры главных продольных проходов и проездов, предназначенных для транспортирования материалов и изделий, а также для движения людей, определяют в соответствии с габаритами применяемых транспортных средств при условии, что транспортируемое изделие не должно выходить за пределы габаритов транспортных средств (поперек проезда). Для производств получения и переработки пластмасс установлены следующие нормы ширины проездов (проходов): для прохода рабочих – не менее 1,2...1,6 м; для одностороннего движения транспортных средств и людей – не менее 2,2...2,5 м; для двухстороннего движения транспортных средств и людей – не менее 3,5...4,0 м, для пожарных (магистральных) проездов в начале (в конце) цеха – 5,0...5,5 м.

Оборудование располагают в пролете здания в две, три или четыре ряда (строчное расположение), в зависимости от габаритов оборудования и ширины пролета. При расположении оборудования в два ряда (рис. 2.10.4) посередине оставляют проход для транспорта. При трехрядном расположении продольных проходов для транспорта может быть один (рис. 2.10.5а) или два (рис. 2.10.5б). При расположении оборудования в четыре ряда предусматривают два продольных прохода (рис. 2.10.6).

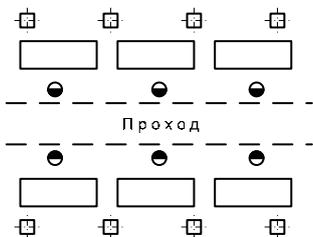


Рис. 2.10.4. Расположение оборудования в два ряда с одним продольным проходом

Строчное расположение оборудования в пролете здания позволяет легко организовать монтаж и демонтаж оборудования, сьем и установку оснастки. Строчное расположение прессов с групповым приводом позволяет удобно подвести к прессам три линии рабочих трубопроводов (рабочая жидкость высокого давления, рабочая жидкость низкого давления, слив использованной рабочей жидкости).

В зависимости от размещения производства в отдельном здании или при блокировании его с другими производствами этот вариант размещения позволяет располагать прессы как вдоль пролета, так и поперек пролета, соблюдая требования перпендику-

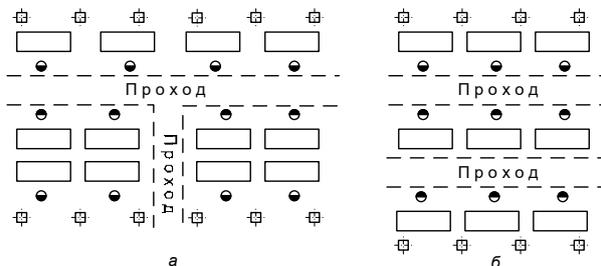


Рис. 2.10.5. Расположение оборудования в три ряда:
а – с одним продольным проходом и несколькими поперечными;
б – с двумя проходами.

лярного размещения прессов по отношению к окнам.

При установке оборудования необходимо предусматривать:

- основные проходы по фронту обслуживания щитов управления (при наличии постоянных рабочих мест) шириной не менее 2 м;
- основные проходы по фронту обслуживания и между рядами машин (компрессоров, насосов и т. п.) при наличии постоянных рабочих мест не менее 1,5 м;
- проходы между компрессорами шириной не менее 1,5 м, а между насосами – не менее 1 м;

- свободный доступ к отдельным узлам управления аппаратами;
- наличие ремонтных площадок с размерами, достаточными для разборки и чистки аппаратов и их частей (без загромождения рабочих проходов, основных и запасных выходов и площадок лестниц).

Машины и аппараты, обслуживаемые подъемными кранами, следует размещать в зоне приближения крюка крана. Размещение технологического оборудования над вспомогательными и бытовыми зданиями и помещениями и под ними не допускается!

10.3. Чертежи объемно-планировочного решения

По мнению специалистов, целесообразен выпуск совмещенных чертежей компоновки и размещения оборудования. Для этого по заданию технологов строители разрабатывают и вычерчивают архитектурно-строительные чертежи (планы и разрезы). На этих чертежах (рис. 2.10.7) 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. Эти чертежи передают в монтажно-технологический отдел в качестве заготовок, на которые проектировщики наносят технологическое оборудование.

На основании размещения оборудования уточняют ширину, длину и число пролетов здания. Ширина пролета – это расстояние между осями колонн. Она зависит от габаритов устанавливаемого оборудования и применяемых транспортных средств (кран-балки, мостового крана), от расстояния между осями подкрановых рельс (табл. 2.10.1).

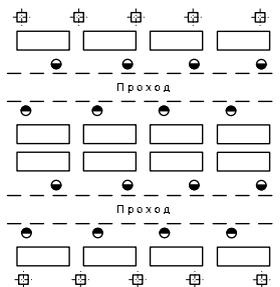


Рис. 2.10.6. Расположение оборудования в четыре ряда с двумя продольными проходами

Таблица 2.10.1

Ширина кран-балки (мостового крана)

Ширина пролета l , м	9	12	15	18	24
Ширина l (м) при грузоподъемности крана до 15 тонн	8	11	14	17	29

Наиболее распространены пролеты шириной 18, 24, 30 и 36 м. Ширина всех пролетов может быть одинаковой, но иногда один-два пролета делают большей ширины для установки крупногабаритного оборудования.

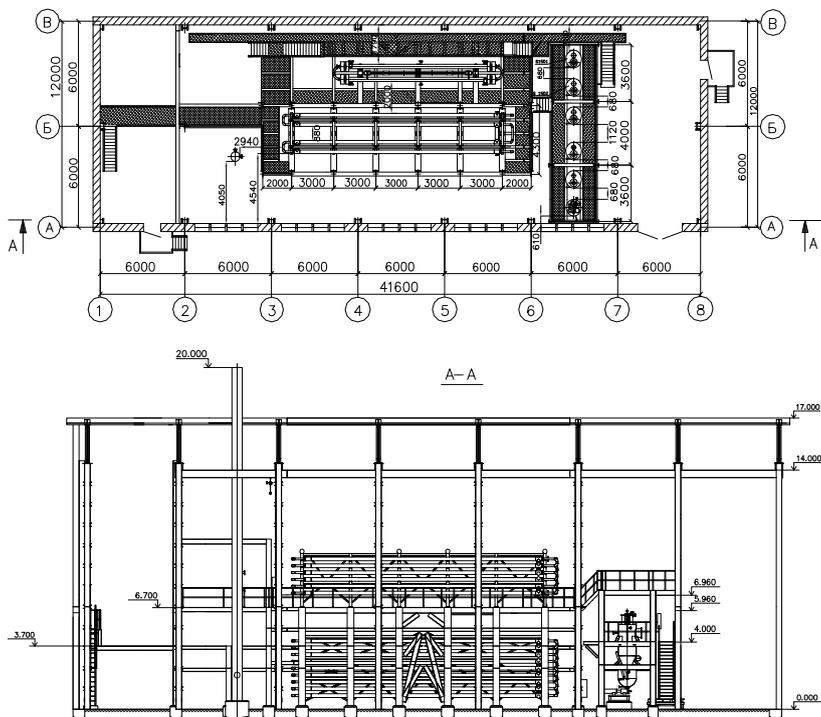


Рис. 2.10.7. Пример компоновочного чертежа

Для производства переработки пластмасс рекомендуют применять унифицированные пролеты с сеткой колонн 18×12 м (для одноэтажных зданий) и 6×6 или 6×9 м (для многоэтажных зданий). Шаг колонн – это расстояние между осями колонн в продольном направлении. Его принимают равным 6, 9 и 12 м. Длина пролета определяется суммой размеров последовательно расположенных производственных и вспомогательных участков (отделений) проходов, проездов и др. Длина пролета должна быть кратной шагу колонн. Если длина пролета при компоновке не получилась кратной шагу колонн, следует внести поправку в компоновку за счет увеличения (или уменьшения) размеров отделений и участков, расположенных вдоль пролета.

Высоту пролета здания определяют исходя из габаритов (по высоте) оборудования, размеров транспортных средств и санитарно-гигиенических требований. Высоту от пола до низа несущих строительных конструкций одноэтажных зданий принимают равной 7,6 м, а для многоэтажных зданий высоту этажей принимают не менее 6 м. Предпочтение следует отдавать одноэтажным зданиям, так как при сетке колонн 6×6 и 6×9 м трудно разместить крупногабаритное оборудование (например, литьевые машины с объемом впрыска более 250 см^3).

При определении высоты следует учитывать санитарно-гигиенические требования:

- на каждого работающего должно приходиться не менее 15 м^3 объема производственного помещения и не менее $4,5 \text{ м}^2$ площади;
- высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м от пола до потолка, а от пола до выступающих частей конструкции здания – не менее 2,6 м.

Высота проектируемого помещения зависит от ширины пролетов: чем шире пролет, тем больше должна быть его высота. Высоту пролета в зданиях без мостовых кранов принимают равной: для пролетов до 12 м – 3,6; 4,2; 4,8; 5,4; 6,8 м; для пролетов 18 и 24 м – 5,4; 6,0; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,6 м; с мостовыми кранами и при пролете 18 и 24 м – 8,4; 9,6; 10,8; 12,6; 14,4; 16,2; 18,0 м.

Одноэтажные здания могут иметь боковое естественное освещение, через фонари (верхнее) или с помощью искусственных источников света. В зависимости от требований можно сочетать боковой свет с верхним, а также с искусственным. Межферменное пространство используют как технический этаж для размещения крупногабаритных воздухопроводов, промышленных разводов, электропроводки и других вспомогательных устройств.

Разрезы следует выполнять так, чтобы каждый аппарат, по крайней мере, один раз попал в разрез.

10.4. Заключение

Компоновка оборудования производств полимеров и решение строительной части являются весьма ответственным этапом их проектирования. При размещении оборудования в цеху и на открытой площадке необходимо предварительно выбрать вариант компоновки.

При выборе открытого варианта компоновки необходимо руководствоваться перечнем технологического оборудования химической промышленности, устанавливаемого на открытых площадках, и характеристикой климатических районов.

При компоновке технологического оборудования необходимо соблюдать строительные нормы и правила, нормы техники безопасности и охраны труда и т. д.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под компоновкой технологического оборудования?
2. Охарактеризуйте варианты закрытой и открытой компоновки.
3. Какие этапы включает разработка объемно-планировочного решения?
4. Каковы принципы группировки оборудования?
5. Приведите эскиз этажерки для размещения технологического оборудования.
6. Как освещаются закрытые производственные помещения?
7. Каковы санитарные нормы, используемые при определении высоты производственных помещений?

11.1. Общие положения

В этой главе речь пойдет об экологическом прогнозировании, которое выполняется с целью предвидения результатов (последствий) взаимодействия намечаемой хозяйственной деятельности, в данном случае – строительства к эксплуатации проектируемого объекта, с компонентами окружающей среды.

Процесс экологического прогнозирования выполняется в следующей последовательности:

- проведение анализа параметров окружающей среды, оценка природных условий района расположения проектируемого объекта и существующей технологичной нагрузки от других видов хозяйственной деятельности;
- определение характера воздействия проектируемого объекта на окружающую среду с учетом данных о его назначении и специфике эксплуатации, видов и интенсивности сброса загрязняющих веществ, параметров предполагаемого нарушения природных условий района строительства и т. п.;
- установление параметров и границ экологической системы и ее компонентов, попадающих под воздействие объекта (выполняется при оценке воздействия на каждый компонент среды);
- определение значимости отдельных природных компонентов, взаимодействующих с проектируемым объектом (зависят от влияния среды на объект);
- разработка прогноза взаимодействия проектируемого объекта с окружающей средой;
- проверка достоверности (верификация) разработанного прогноза.

В процессе строительства и эксплуатации промышленные объекты воздействуют на различные компоненты среды. К их числу относят:

- нарушение территорий и почвенного слоя на участке, отвлеченном для строительства, вырубка леса и кустарников;
- нарушение водного режима территории, при рытье котлованов и водоотлива, изменение условий поверхностного стока, а также обводнение территории за счет утечек из водонесущих коммуникаций;
- использование поверхностных и подземных вод для водоснабжения объекта;
- загрязнение воздушного бассейна, территории, водной среды атмосферными выбросами предприятия, а также взвешенными веществами (пылью), поднимаемыми ветром с поверхности нарушенных земель, карьеров, золоотвалов, хранилищ вредных веществ;
- загрязнение водных объектов сбросом сточных вод;

- радиационное загрязнение окружающей среды;
- выбросы тепла, приводящие к повышению температуры воздуха, вод, изменению сроков ледостава, режимов паводков, образованию туманов;
- шум, вибрации, свет, электромагнитные и другие виды физических воздействий на прилегающую территорию;
- активизация опасных геологических процессов под воздействием нагрузок от сооружений, изменений гидрогеологического режима и условий поверхностного стока территории;
- нарушение растительности (условий обитания животного мира).

Основными факторами, снижающими достоверность экологических прогнозов, являются:

- отсутствие точных данных о воздействии проектируемого объекта на среду и ее ответной реакции;
- несоответствие объемов проводимых инженерно-экологических изысканий видам воздействия и параметрам затрагиваемой среды;
- кратковременность экологических наблюдений;
- несовершенство применяемых способов мониторинга;
- субъективность оценки получаемой информации.

В результате строительства в районе расположения объекта увеличивается техногенная нагрузка на среду, возрастает интенсивность использования природных ресурсов, меняются демографические условия, характер землепользования, условия ведения сельского хозяйства и другие параметры.

Разработка прогноза зависит от видов, форм и интенсивности воздействия проектируемого объекта на окружающую среду, принципов и методов составления прогнозных оценок последствий намечаемой деятельности.

11.2. Разработка прогноза загрязнения воздуха в районе размещения проектируемого объекта

Загрязнение воздушного бассейна при строительстве и эксплуатации промышленного объекта является одним из основных факторов воздействия на окружающую среду. Загрязнение воздушного бассейна определяется по концентрации загрязняющих веществ в приземном слое воздуха высотой 50...100 м. Разработка прогноза загрязнения воздуха основывается по результатам расчетов распределения примесей загрязняющих веществ (пыли и газов) от источника выброса объекта с учетом перспектив изменения инфраструктуры района и условий выброса загрязняющих веществ другими промышленными и жилищно-гражданскими объектами.

Таблица 2.11.1

Климатические характеристики района расположения промышленного объекта

Наименование показателя	Единица измерения	Величина показателя
Температурный режим: <ul style="list-style-type: none"> • средние температуры воздуха по месяцам • средние температуры воздуха наиболее холодного месяца • средняя и максимальная температура воздуха самого жаркого месяца • продолжительность периода с положительными температурами воздуха 	°С °С °С дни	
Осадки: <ul style="list-style-type: none"> • среднее количество осадков за год • распределение осадков в течение года по месяцам 	мм %	
Ветровой режим: <ul style="list-style-type: none"> • повторяемость направлений ветра • средняя скорость ветра по направлению (роза ветров) • максимальная скорость ветра • наибольшая скорость ветра, превышение которой в году для данного района составляет 5% 	% м/с м/с	
Туманы: <ul style="list-style-type: none"> • аэроклиматические характеристики • комплексные характеристики: <ul style="list-style-type: none"> – застойные ситуации – ситуации, благоприятные для образования смога 		

Для подготовки прогноза загрязнения воздушного бассейна района строительства должны быть определены:

- характеристики физико-географических условий района строительства (климатические и иные параметры составляются по форме, представленной в табл. 2.11.1);
- данные о проектируемом объекте (мощность предприятия, перечень основных производств, технологические параметры и характеристики, себестоимость основных видов продукции, численность работающих, наименование выпускаемой продукции, виды энергоносителей);
- величина фонового загрязнения воздушного бассейна (перечень контролируемых веществ, их концентрация, данные о существующих источниках загрязнения воздушного бассейна и т. п.), составляются по данным местных органов Росгидромета;
- характеристики источников выброса загрязняющих веществ проектируемого объекта;

- данные о составе и количестве выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу после газоочистного оборудования и от неорганизованных источников объекта; данные о составе и количестве выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от других объектов инфраструктуры района в перспективе, составляются по материалам местных органов Росгидромета.

Следует заметить, что расчеты выполняются в соответствии с требованием ОНД–86 «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий».

11.3. Прогнозирование состояния поверхностных и подземных вод района расположения объекта

Для разработки прогноза воздействия объекта на состояние поверхностных и подземных вод района должны быть определены:

- гидрологические, гидрогеологические, гидравлические характеристики водных объектов, используемых для водоснабжения или водоотведения проектируемого объекта;
- существующий уровень загрязнения поверхностных и подземных вод;
- объемы водопотребления и водоотведения проектируемого объекта;
- расположение водозаборов и выпуск сточных вод объекта;
- объем водопотребления других водопользователей района в заданном интервале времени;
- количество, состав и характеристики сбрасываемых сточных вод с указанием основных загрязняющих веществ, их концентрации и класса опасности;
- расположение и технические характеристики накопителей сточных вод, других сооружений объекта, воздействующих на состояние водной среды;
- изменения параметров поверхностного стока территории, находящейся под воздействием проектируемого объекта;
- данные о количестве и составе сточных вод, сбрасываемых в реки и водоемы другими объектами района в заданном интервале времени, или перспективный уровень фонового загрязнения водных объектов;
- требования органов водного надзора к режиму водопользования в рассматриваемом районе;
- требования органов рыбоохраны к водопользователям водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

Для разработки прогноза составляют водохозяйственные баланс (ВХБ) перспективных потребностей в воде в заданном интервале времени при изменении режима водопользования, связанного с эксплуатацией объекта и изменением инфраструктуры района.

11.4. Прогноз воздействия объекта при возможных проектных и запроектных авариях

Основными причинами возникновения аварийных ситуаций на объектах различного назначения являются нарушения технологических процессов на предприятиях, технические ошибки обслуживающего персонала, нарушения противопожарных правил, правил техники безопасности, отключение систем энергоснабжения, водоснабжения и водоотведения, стихийные бедствия, террористические акты и т. п.

Различают проектные и запроектные аварии. Проектные аварии подразделяются на три класса:

- максимальная экологическая авария – авария с катастрофически необратимыми последствиями значительного масштаба, наносящая значительный ущерб населенным пунктам и природной среде (например, разрушение плотины гидроэнергетического узла, авария реактора на атомной станции с выбросом радиоактивных веществ);
- крупная экологическая авария – авария с серьезными локальными последствиями для природной среды и населения, причиной таких аварий, как правило, являются разрушение элементов производства (оборудования), неправильные действия обслуживающего персонала (например, авария систем очистки сточных вод промышленного объекта с большой утечкой стоков) и т. п.;
- технологическая экологическая авария – авария элементов технологической схемы, характеризующаяся кратковременностью воздействия и отсутствием необратимых последствий для среды (например, авария электрофильтра на ТЭС, приводящая к выбросу загрязняющих веществ в атмосферу).

Запроектные аварии отличаются от проектных только исходным событием, как правило, исключительным, которое не может быть учтено без специально поставленных в техническом задании на проектирование условий. Запроектные аварии характеризуются разрушениями тех же объектов и теми же экологическими последствиями, что и проектные аварии.

Вероятность возникновения запроектных аварий определяется причинами, связанными с воздействием внешних сил и событий (землетрясение, смерчи, ураганы, террористические акты, попадание бомб в результате военных действий и т. п.).

Определение класса аварий следует выполнять по результатам анализа причин аварийности на конкретных объектах-аналогах примерно равной мощности с близкими характеристиками технологических процессов на основных производствах. Для этого на объекте-аналоге проводят:

- отбор наблюдавшихся ситуаций, имеющих экологические последствия;
- классификацию аварийных ситуаций в соответствии с вышеприведенными признаками;
- описание сценариев выбранных аварийных ситуаций, а также наблюдаемых негативных последствий от них для окружающей среды;
- определение размеров зон аварийных ситуаций и интенсивности их воздействия на окружающую среду;
- оценку вероятности возникновения каждой аварийной ситуации.

Аварийность на объектах-аналогах следует оценивать по показателям риска их неблагоприятного воздействия на окружающую среду, объекты инфраструктуры и население.

Снижение аварийности и повышение уровня надежности предприятий и производств повышенной опасности должны обеспечиваться сейсмостойкостью, взрыво- и пожаробезопасностью проектируемых установок, агрегатов и сооружений.

Системы регулирования опасных технологических процессов на таких предприятиях должны отличаться постоянством параметров работы технологических установок, оборудования (температура, давление, скорость процесса и т. д.), более жесткими требованиями к качеству и составу исходного сырья.

Принципиальные технологические схемы опасных производств должны обеспечивать плавное регулирование технологических режимов, автоматическое отключение оборудования при авариях и пожарах.

11.5. Заключение

Охрана окружающей среды – глобальная проблема, при решении которой главным является создание и внедрение безотходных технологий. В первую очередь необходимо предотвратить появление новых источников загрязнений – предприятий, не имеющих очистных сооружений. Поэтому перед проектированием таких технологий проводится экологическое прогнозирование, включающее в себя разработку прогноза загрязнения окружающей среды в районе размещения проектируемого производства.

Кроме того, разрабатывается прогноз воздействия на окружающую среду в случае возникновения проектных и запроектных аварийных ситуаций.

Вопросы для самоконтроля

1. Что является целью мероприятий по охране окружающей среды?
2. Как воздействуют проектируемые объекты на различные компоненты окружающей среды?
3. Какие данные необходимы для составления прогноза загрязнения воздушного бассейна?
4. Какие данные потребуются для составления прогноза воздействия проектируемого объекта на состояние поверхностных и подземных вод?
5. На какие классы подразделяются проектные аварии?
6. Какие мероприятия проводятся на предприятии для выяснения причин аварийной ситуации?

Часть 3. Оборудование для переработки пластических масс

Переработка пластических масс представляет собой совокупность различных процессов, с помощью которых исходный полимерный материал превращается в изделие с заранее заданными эксплуатационными свойствами. В настоящее время насчитывается несколько десятков разнообразных приемов и методов переработки пластмасс. Выбор метода переработки для изготовления изделия в каждом конкретном случае определяется такими факторами, как конструктивные особенности изделия и условия его эксплуатации, технологические свойства перерабатываемого материала, а также рядом экономических факторов (тиражность, стоимость и т. д.). Известно много разнообразных технических приемов и методов переработки пластических масс. Выбор того или иного способа переработки определяется следующими факторами:

- конструктивные особенности изделия и его эксплуатации;
- технологические свойства перерабатываемого материала;
- экономические факторы (тиражность, стоимость и т. д.).

По назначению методы переработки пластических масс разделяются на подготовительные, основные и завершающие.

Глава 1. Оборудование для предварительной подготовки сырья

Методы предварительной подготовки используются для улучшения технологических свойств перерабатываемого сырья, а также для получения полуфабрикатов и заготовок (гранул, таблеток, листов), применяемых в качестве исходных материалов в основных методах переработки. К методам предварительной подготовки полимерных материалов относятся смешение, дробление и измельчение, вальцевание, гранулирование и т. д.

1.1. Оборудование для измельчения

В промышленности часто применяют процессы дробления или измельчения, т. е. уменьшение кусков твердых материалов механическим воздействием. Измельчение позволяет увеличить поверхность соприкосновения фаз и ускорить проведение многих процессов (растворение, обжиг, химическое взаимодействие и т. д.). Количественно процесс измельчения характеризуется степенью измельчения, т. е. отношением среднего

диаметра кусков до измельчения D к среднему диаметру кусков после измельчения d : $i = \frac{D}{d}$.

Ниже указаны значения D и d при различных видах измельчения:

Дробление:	D , мм	d , мм
крупное	1500...300	300...100
среднее	300...100	50...10
мелкое	50...10	10...2

Помол:		
грубый	1...5	0,1...0,04
средний	0,1...0,04	0,005...0,015
тонкий	0,1...0,04	0,001...0,005
коллоидный	0,1	0,001

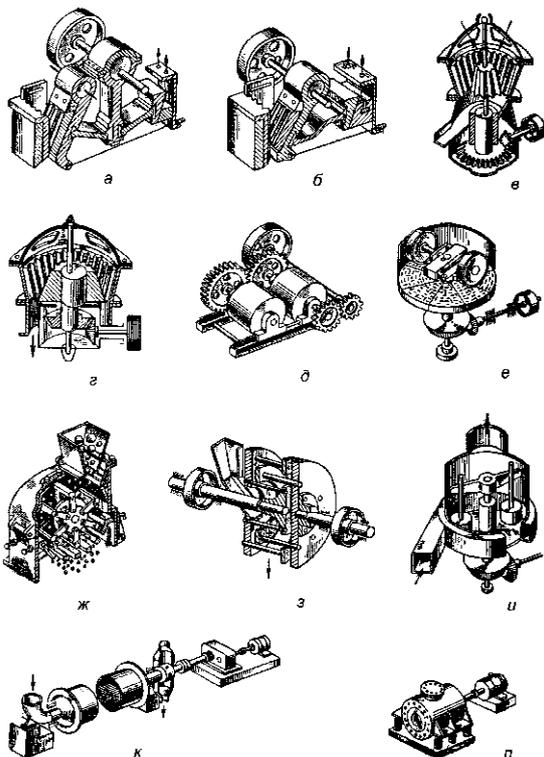


Рис. 3.1.1. Схемы дробильно-помольных машин

Сырье, вводимое в состав пластических масс, измельчается на дробильно-помольных машинах (рис. 3.1.1). Измельчение производят раздавливанием, ударом, раскалыванием, истиранием или совокупностью этих способов измельчения. Выбор способа измельчения зависит от крупности и прочности материалов. На производстве к процессам измельчения прибегают в двух случаях, а именно:

- измельчение полимерных материалов для их использования в специальных технологических процессах, таких как напыление, нанесение покрытий или для повторного использования (дробление отходов).
- измельчение исходных компонентов композиционных материалов (наполнители, красители, твердые реагенты и др.).

По величине конечных кусков различают дробилки – машины, в которых получают куски размером больше 0,5 мм; мельницы – машины, в которых получают продукт с размерами частиц менее 0,5 мм.

По принципу действия и конструкции различают дробилки щековые с простым (рис. 3.1.1а) и сложным (рис. 3.1.1б) движением подвижной щеки, конусные с подвижным валом (рис. 3.1.1е) и неподвижной осью (рис. 3.1.1з), валковые (рис. 3.1.1д), молотковые (рис. 3.1.1ж), бегуны (рис. 3.1.1е), дезинтеграторы (рис. 3.1.1з), а также мельницы кольцевые (рис. 3.1.1и), шаровые (рис. 3.1.1к), вибрационные (рис. 3.1.1л).

1.1.1. Ножевые дробилки

Ножевые дробилки используют для резки заготовок полимерного материала, армирующих наполнителей и различных отходов.

На рис. 3.1.2 представлена дробилка с дисковыми ножами и режущим ротором. Ее используют для получения гранул кубической формы из листовых материалов. Дробилка состоит из продольного резательного устройства с дисковыми ножами 1 и 4, ножевого барабана 9, установленного в кожухе 8 на приводном валу 10. Лист 2 проходит через направляющие 3 и поступает в продольно-резательное устройство, ножи которого 1 и 4 режут лист в продольном направлении на полосы постоянной ширины. Верхний нож 4 укреплен на подвижной опоре поджимаемой пружиной 5. Далее полосы поступают на текущие ролики 6 и 14, которые продвигают их к неподвижному ножу 13. Ролик 6 поджимается пружиной 7. Попадая на него, полосы разрезаются в поперечном направлении ножами 11 барабана 9. Измельченный материал выводится из дробилки через разгрузочную воронку 12.

Размер гранул по ширине и длине может составлять от 2 до 25 мм.

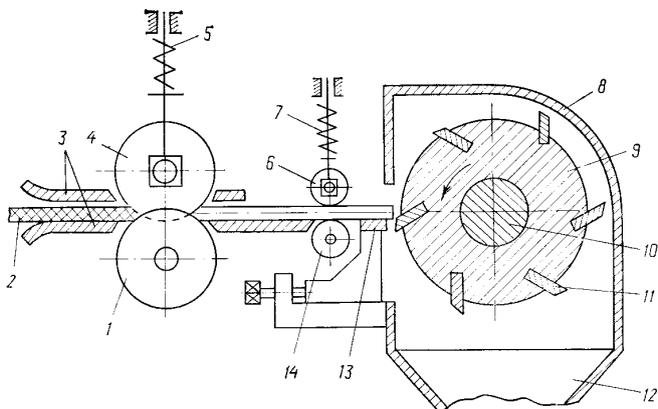


Рис. 3.1.2. Дробилка с дисковыми ножами и режущим ротором (дайсер):
 1, 4 – дисковые ножи; 2 – измельчаемый лист; 3 – направляющие; 5 – подвижная опора; 6, 14 – тянущие ролики; 7 – пружина; 8 – кожух; 9 – барабан; 10 – приводной вал; 11 – вращающиеся ножи; 12 – воронка; 13 – неподвижный нож.

1.1.2. Молотковые и роторные дробилки

Молотковые и роторные дробилки применяются для измельчения мягких и твердых материалов за счет энергии удара молотками, шарнирно подвешенными на вращающемся роторе (молотковые дробилки) или жестко закрепленными билами (роторные дробилки).

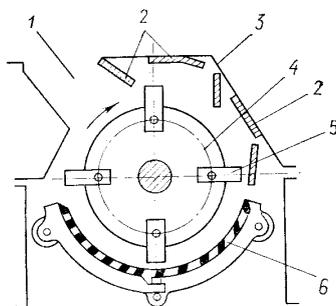


Рис. 3.1.3. Молотковая дробилка:
 1 – воронка-патрубок; 2 – отбойная плита; 3 – корпус; 4 – ротор; 5 – молотки; 6 – колосниковая решетка.

На рис. 3.1.3 показана молотковая дробилка. Она состоит из корпуса 3, внутри которого установлен ротор 4 с шарнирно подвешенными молотками 5. Через загрузочную воронку-патрубок 1 в корпус дробилки загружается материал, который измельчается от удара молотками 5 и

удара летящих частиц материала об отбойные плиты 2. Частицы измельченного материала отбрасываются на колосниковую решетку 6, либо проваливаются через отверстия в ней, либо (если их размер слишком велик) вновь подхватываются молотками ротора, и процесс измельчения продолжается.

Производительность молотковой дробилки Q ($\text{м}^3/\text{г}$) можно рассчитать по формуле

$$Q = 100 \cdot D^p \cdot L^q \cdot n,$$

где D и L – соответственно диаметр и длина ротора, м; если $D > L$, то $p = 2$ с $q = 1$; если $D < L$, то $p = 1$, а $q = 2$; n – частота вращения.

Роторные дробилки состоят из корпуса 1 (рис. 3.1.4), внутри которого установлены подпружиненные отбойные плиты 2 и колосниковая решетка 5. Внутри корпуса вращается ротор 3 с установленными на нем билами 4. Механизм дробления аналогичен измельчению материала в молотковых дробилках.

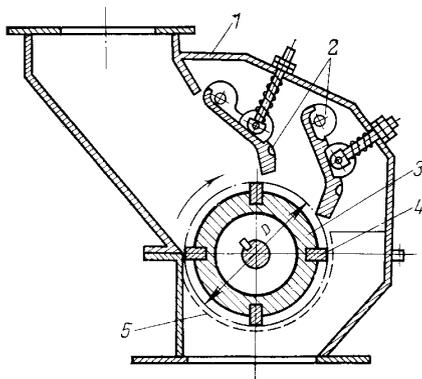


Рис. 3.1.4. Роторная дробилка:

1 – корпус; 2 – отбойная плита; 3 – ротор; 4 – била; 5 – колосниковая решетка.

1.1.3. Струйные мельницы

В струйных мельницах измельчение частиц материала происходит при их движении в высокоскоростном газовом потоке внутри рабочей камеры за счет истирания частиц при их соударении друг с другом и со стенками камеры. Их применяют для измельчения полимеров, красителей и пигментов до частиц размером в несколько микрометров. Следует заметить, что предварительно материал измельчается до размера 0,1–0,5 мм на каком-либо другом оборудовании.

На рис. 3.1.5 показана струйная мельница с горизонтальной размольной камерой. В мельнице предварительно измельченный материал

подается в камеру 1 через штуцер 2 и расположенные по периферии камеры окна, так что направление его движения оказывается тангенциальным к внутренней поверхности камеры. Одновременно в камеру через штуцер 6, распределительное кольцо 7 и сопло 8 поступает под давлением газ или водяной пар. Сопло в камере установлено так, что струи поступающего через них газа подхватывают измельчаемый материал и вовлекают его в круговое движение по concentрическим траекториям со скоростью 150–200 м/с.

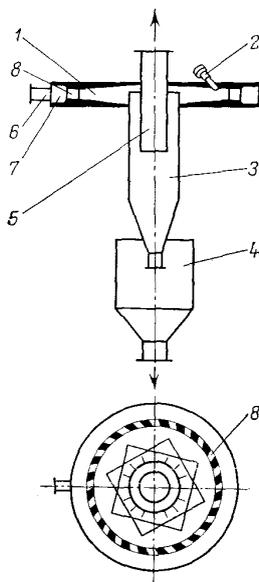


Рис. 3.1.5. Струйная мельница с горизонтальной размольной камерой:
1 – камера; 2, 6 – штуцер; 3 – сепаратор; 4 – сборник; 5 – выводной патрубков;
7 – распределительное кольцо; 8 – сопло.

Частицы большого размера центробежной силой отбрасываются к периферии, где они подвергаются дальнейшему измельчению. Частицы меньших размеров увлекаются газовым потоком к центру камеры и после прохождения сепаратора 3, в котором отделяются более крупные частицы, через выводной патрубков 5 подаются на отделение тонкой фракции в мокром мешочном фильтре или водяном скруббере. Отсеявшиеся более крупные частицы поступают в сборник 4.

Производительность струйных мельниц с горизонтальной камерой составляет от 0,25 до 3000 кг/ч.

1.2. Оборудование для смешения

Смешение – это процесс, цель которого превратить исходную систему с упорядоченным распределением ингредиентов в систему с неупорядоченным, статистически случайным их распределением. В частности, смешение применяют для введения в базовый полимер пластификаторов, наполнителей, стабилизаторов, красителей, пигментов, противостарителей и других добавок.

Существующее оборудование для смешения полимерных материалов может быть классифицировано по назначению на две группы:

- оборудование для смешения сыпучих материалов;
- оборудование для смешения высоковязких жидкостей, паст и тестообразных масс.

Смесители для сыпучих материалов в большинстве случаев относятся к категории смесителей периодического действия и основаны на механическом, пневматическом, гидравлическом и гравитационном способе перемешивания.

Для перемешивания вязких неньютоновских систем используют только механическое перемешивание, обеспечивающее необходимое качество смешения. Наиболее часто применяются лопастные, восковые, червячные и роторные смесители. К высоковязким средам обычно относят расплавы полимеров, пасто- и тестообразные композиции с эффективной вязкостью более 0,01 МПа·с (10^5 Пз). Перемешивание таких сред осуществляется механическими способами и происходит в ламинарном режиме. Смешение высоковязких жидкостей является следствием деформации сдвига и растяжения, под влиянием которых увеличивается поверхность раздела смешиваемых ингредиентов и выравнивается распределение ингредиентов в объеме смеси.

Ниже рассмотрим наиболее распространенные виды оборудования для смешения, их назначение, принцип действия.

1.2.1. Барабанные смесители с вращающимся корпусом

На рис. 3.1.6 приведена схема барабанных смесителей. Простейший по конструкции смеситель (рис. 3.1.6а) представляет собой горизонтально расположенный цилиндрический барабан с цапфами на торцах. При вращении барабана находящийся в нем сыпучий материал пересыпается и благодаря относительному смещению слоев перемешивается в вертикальной плоскости.

Для осуществления продольного (вдоль образующей барабана) смешения материала ось вращения располагают наклонно к образующей барабана (рис. 3.1.6б) или перпендикулярно образующей барабана (рис. 3.1.6в), применяют V-образные барабаны (рис. 3.1.6г), качающиеся

с комбинированным вращением (рис. 3.1.6д), конические (рис. 3.1.6е) и граненные (рис. 3.1.6жс).

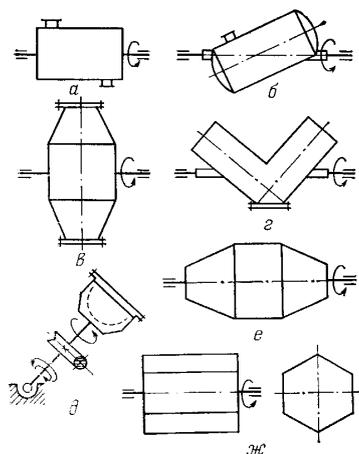


Рис. 3.1.6. Схемы барабанных смесителей:

a – горизонтальный барабанный смеситель; *б* – наклонный барабанный смеситель; *в* – вертикальный барабанный смеситель; *г* – V-образный смеситель; *д* – качающийся смеситель; *е* – конический смеситель; *жс* – граненый смеситель.

При смешивании сыпучих материалов в барабане смесителя протекают одновременно следующие элементарные процессы:

- перемещение слоев материала при увеличении наклона его свободной поверхности до значения, превышающего угол естественного откоса; при этом слои материала скользят друг по другу, рассыпаясь на отдельные частицы, которые внедряются в соседние слои (конвективное смешение);
- постепенное проникновение различных компонентов через вновь образующиеся гранулы раздела (диффузионное смешение);
- скапливание и агломерация частиц одинаковой массы и состава в отдельных частях камеры смесителя (процесс агрегации).

Барабанные смесители считаются тихоходными машинами, так как окружная скорость вращения барабана обычно не превышает 0,17...1,0 м/с. Степень заполнения барабана смесителя с цилиндрическим корпусом должна составлять не менее 30 и не более 70%.

1.2.2. Смесители с псевдооживленным слоем материала

Смесители снабжены быстровращающимися роторами. В таких смесителях используется эффект псевдооживления порошкообразных ма-

териалов, основанный на том, что при большой скорости движения частиц кинетическая энергия отдельной частицы оказывается больше работы, необходимой для преодоления сопротивления сил трения и сил тяжести. Благодаря этому каждая частица приобретает высокую подвижность, и движение ансамблей частиц оказывается подобным движению частиц жидкости.

При быстром вращении ротора с несколькими лопастями в массе сыпучего материала последний переходит в псевдооживленное состояние.

На рис. 3.1.7 представлена схема смесителя с механическим псевдооживлением. Смеситель состоит из камеры 2 с рубашкой 3, укрепленных на сварной раме 6. Теплоноситель подается в рубашку 3 через штуцер 4 и выходит из рубашки через штуцер 11. Такое расположение штуцеров обеспечивает равномерный обогрев всей боковой поверхности камеры смесителя. Внутри цилиндрической камеры 2 вращается ротор 5, на валу которого насажены две мешалки 10. Для управления направлениями потоков материала внутри камеры 2 установлена отражательная лопасть 1, поворачивая которую, можно изменить направление потока смеси. Привод ротора 5 осуществляется от электродвигателя 12 через клиноременную передачу 7.

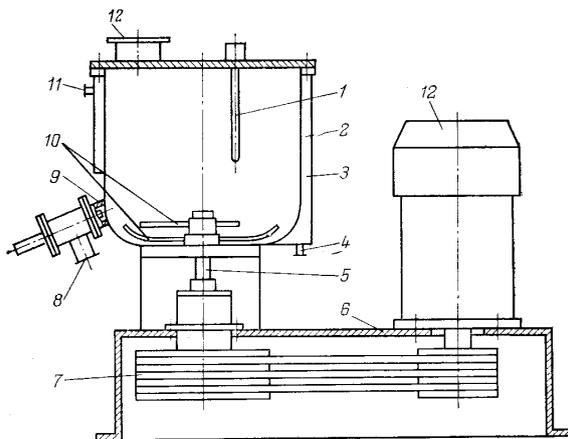


Рис. 3.1.7. Смеситель с механическим псевдооживлением:

1 – отражательная лопасть; 2 – камера; 3 – рубашка; 4, 11 – штуцер; 5 – ротор; 6 – рама; 7 – клиноременная передача; 8, 12 – люк; 9 – затвор; 10 – мешалка.

Загрузка смешиваемых компонентов осуществляется через люк 12, выгрузка готовой смеси – через люк 8, перекрываемый во время работы

смесителя затвором 9, который приводится в действие пневмоцилиндром.

Существуют также и двухкамерные смесители для работы по двухстадийному технологическому циклу.

1.2.3. Центробежные смесители

Центробежные смесители используются для приготовления полимерных композиций, состоящих из порошков, паст и жидкостей. Конструкции смесителей разнообразны. На рис. 3.1.8 показан центробежный смеситель. Рабочим органом центробежного смесителя является полный конический ротор 1, установленный на валу 11 внутри корпуса 2. К днищу ротора 1 жестко прикреплена лопастная мешалка 7, лопасти которой установлены под углом 35° . В нижней части корпуса прорезано два симметрично расположенных окна 13. Загрузка смесителя производится

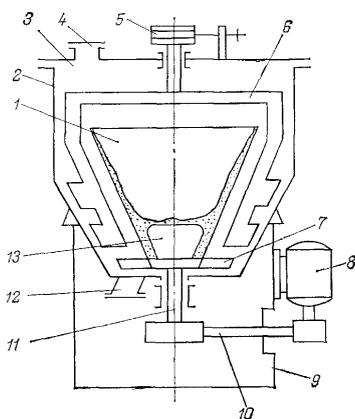


Рис. 3.1.8. Центробежный смеситель:

- 1 – ротор; 2 – корпус; 3 – крышка;
- 4, 12 – люк; 5 – ленточный тормоз;
- 6 – рама; 7 – лопастная мешалка;
- 8 – электродвигатель; 9 – станина;
- 10 – клиноременная передача; 11 – вал;
- 13 – окно.

мешалка 7, вращаясь вместе с ротором, создает эффект псевдооживления и, увеличивая подвижность сыпучего материала, способствует его приходу через окно 13 внутрь ротора.

через люк 4, расположенный на крышке 3, а выгрузка – через перекрытый откидной заслонкой люк 12. Корпус смесителя укреплен на цилиндрической сварной станине 9. Привод ротора 1 осуществляется через клиноременную передачу 10 от электродвигателя 8.

При вращении ротора 1 попавший в него при загрузке материал вследствие трения вовлекается во вращение. Частицы материала под воздействием возникающих при их вращении центробежных сил начинают двигаться по внутренней поверхности корпуса, а затем сбрасываются с нее в кольцевое пространство между конусом и корпусом. Новые порции материала поступают внутрь корпуса через окно 13. Лопастная

Перемешивание материала происходит вследствие его движения по спиральным траекториям, проходящим как по внутренней поверхности конуса, так и в кольцевом пространстве, сопровождающегося соударением частиц друг с другом и со стенками конуса и ротора.

Для смешения материалов с плохой сыпучестью в кольцевое пространство корпуса устанавливают раму *б* с лопастями и острым скребком, который входит внутрь конуса. Регулируя с помощью ленточного тормоза *5* сопротивление вращения, управляют частотой вращения рамы. Из-за разности между окружными скоростями лопастей и материала, часть его, наталкиваясь на лопасти, «нагнетается» через окно *13* внутрь ротора, остальной материал остается в кольцевом пространстве.

1.2.4. Смесительные вальцы

На смесительных вальцах перемешивание материала осуществляется в зазоре между двумя параллельно расположенными, вращающимися навстречу друг другу полыми цилиндрами (втулками).

На рис. 3.1.9 представлена схема двухвалковых вальцов. На фундаментальной плите *4* установлены две станины *2*, в проемах которых в подшипниках *5* и *7* укреплены валки. На конце заднего валка консольно закреплена приводная шестерня *6*. Подлежащие смешению компоненты – полимер, пластификатор, тальк, асбест, мел и др. ингредиенты загружаются в зазор, в котором за счет интенсивной деформации сдвига происходит смешение.

В валки вальцов подается горячий теплоноситель (пар, перегретая вода, нагретое масло и др.). Для регулирования зазора между валками подшипники переднего валка *5* могут перемещаться при помощи регулированных винтов *3* в проемах станины *2*. От смещения вверх подшипники удерживаются траверсами *8*, которые крепятся к станине болтами.

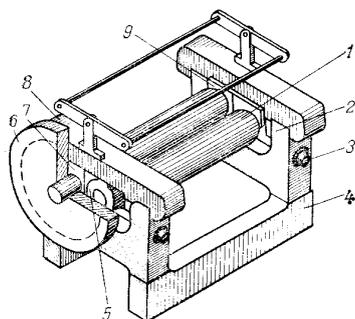


Рис. 3.1.9. Двухвалковые вальцы:

- 1 – валки; 2 – станина;
- 3 – регулировочный винт;
- 4 – фундаментальная плита;
- 5, 7 – подшипник; 6 – приводная шестерня; 8 – траверс; 9 – профильная пластина.

Чтобы материал не попадал в подшипники, на концах валков устанавливают профильные пластины 9. Привод осуществляется от электродвигателя переменного тока.

На вальцах непрерывного действия масса подается с одного конца валков, проходит между валками в течение определенного времени (определяется экспериментально), совершая при этом поступательное и вращательное движение вдоль образующей валка, и непрерывно срезается в виде узкой ленты (рис. 3.1.10).

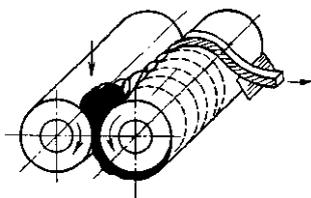


Рис. 3.1.10. Схема обработки полимерной массы на вальцах непрерывного действия

1.2.5. Двухроторные лопастные смесители

На рис. 3.1.11 приведен смеситель с Z-образными роторами. Внутри рабочей камеры 1, которая опрокидывается, располагаются два Z-образных ротора, вращающихся навстречу друг другу с различными частотами вращения (180–200 об/мин). Рабочая камера снабжена крышкой 8 с быстродействующим затвором 7. Роторы приводятся во вращение электродвигателем 4, соединенным цепной передачей 6 через муфту 5 с системой приводных шестерен, установленных во встроенном редукторе 11. Камера смесителя имеет рубашку 3, через которую пропускается пар или смесь пара с конденсатом. В крышке камеры смесителя имеются штуцер 9 для подачи жидких компонентов и отвод 10 для удаления вакуумированием газообразных веществ из камеры.

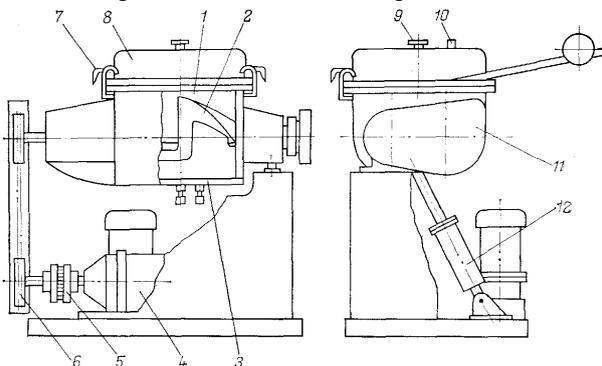


Рис. 3.1.11. Смеситель с Z-образными роторами:

1 – рабочая камера; 2 – Z-образный ротор; 3 – рубашка; 4 – электродвигатель; 5 – муфта; 6 – цепная передача; 7 – быстродействующий затвор; 8 – крышка; 9 – штуцер; 10 – отвод; 11 – редуктор; 12 – механизм опрокидывания.

Когда смешение закончено, вращение роторов прекращается, камера смесителя поворачивается с помощью механизма опрокидывания 12 на угол 110° , крышка камеры открывается и при реверсе направления вращения роторов смесь выгружается.

1.2.6. Двухроторные смесители закрытого типа

Назначение: для смешения полимеров с наполнителями, приготовления полимерных композиций, введения в полимер стабилизаторов, пластификаторов, красителей и других ингредиентов.

На рис. 3.1.12 показан типичный закрытый роторный смеситель (ЗРС). Он состоит из камеры 2, образованной двумя стальными полуцилиндрами и двумя боковыми стенками. Внутри камеры вращаются роторы навстречу друг другу. В боковых стенках установлены роликовые подшипники роторов. Зазор между стенками и шейкой роторов уплотняется специальным устройством.

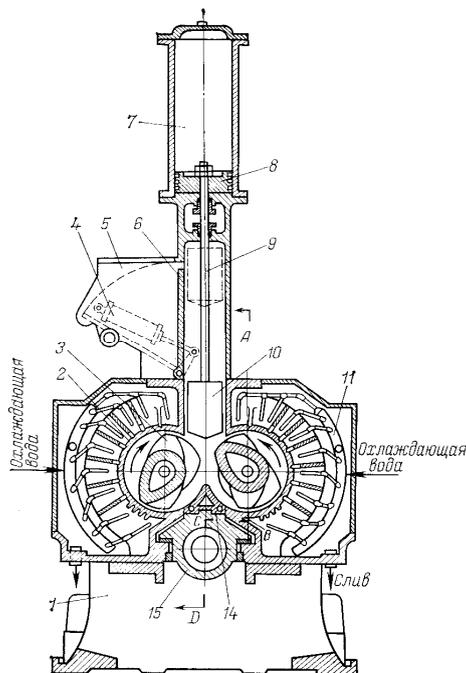


Рис. 3.1.12. Роторный смеситель закрытого типа:

- 1 – станина; 2 – камера; 3 – ротор; 4 – пневмопривод; 5 – загрузочная воронка;
- 6 – заслонка; 7 – воздушный цилиндр; 8 – поршень; 9 – шток; 10 – верхний затвор;
- 11 – коллектор; 12 – воронка; 13 – шток; 14 – нижний затвор; 15 – пневмоцилиндр.

Камера 2 монтируется на станине 1. В верхней части камеры располагается загрузочное окно, на котором установлена загрузочная воронка 5 с откидывающейся заслонкой 6, передвигаемой пневмоприводом 4. При загрузке смесителя заслонка отклоняется к стенке воронки и открывает отверстие в боковой стенке прямоугольной загрузочной шахты, по которой смешиваемые материалы сыплются в смесительную камеру. По окончании загрузки заслонка возвращается в вертикальное положение, перекрывая при этом отверстие в стенке шахты и препятствуя выбросу пылящих компонентов наружу при работе смесителя.

В шахте расположен верхний затвор 10, установленный на штоке 9 воздушного цилиндра 7 с поршнем 8. При загрузке смесителя затвор перемещается в крайнее верхнее положение, открывая доступ в камеру смесителя. По окончании загрузки затвор опускается вниз и через окно в камере смесителя давит на находящийся в камере материал, создавая в нем избыточное давление, равное 0,35–0,7 МПа.

Выгрузка готовой смеси производится через нижнее окно в камере, которое во время загрузки и смешения закрыто нижним затвором 14, состоящим из фигурного клина, укрепленного на корпусе пневмоцилиндра 15. Шток 13, на котором установлен поршень пневмоцилиндра, укреплен на станине. Поэтому при подаче воздуха в одну из полостей цилиндра последний вместе с клином перемещается по направляющим под смесительной камерой, закрывая или открывая камеру снизу. Подача сжатого воздуха в цилиндр осуществляется через каналы, просверленные в штоке 13.

Процесс ламинарного смешения сопровождается интенсивным тепловыделением. Для отвода тепла смеситель имеет систему охлаждения. В ЗРС подается охлаждающая вода по трубам, на которых установлены форсунки. Из роторов охлаждающая вода сливается в воронку 12.

Гребень нижнего затвора 14 и верхний затвор имеют полосы, охлаждаемые водой. В корпусе предусмотрен коллектор 11, к которому присоединены многочисленные патрубки для орошения стенок камеры охлажденным конденсатором снаружи.

Привод ЗРС осуществляется от синхронных электродвигателей через редуктор с помощью шарнирной муфты.

1.2.7. Червячные смесители

Они являются машинами непрерывного действия. Назначение червячных смесителей – подготовка пластических композиций, которые затем перерабатываются в готовые изделия.

Одночервячная экструзионная машина (рис. 3.1.13) состоит из червяка 1 (одного или нескольких), установленного консолью в цилиндре 2,

имеющего как минимум одно загрузочное (бункер 11) и одно выходное отверстие с примыкающим к нему формующим инструментом 5. Внутри корпуса запрессована гильза 3. Обогрев цилиндра происходит обогревателями 4, сгруппированными в несколько тепловых зон.

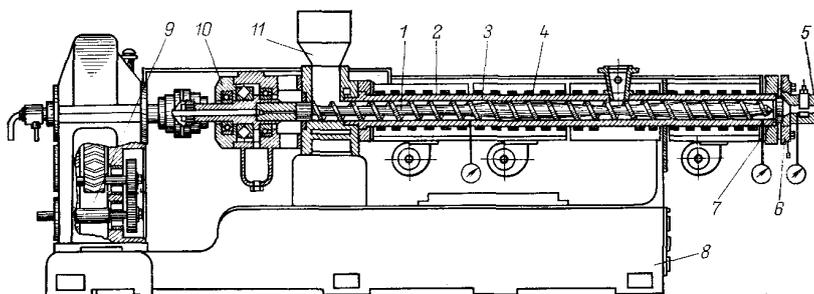


Рис. 3.1.13. Одночервячная экструзионная машина:

- 1 – червяк; 2 – материальный цилиндр; 3 – гильза; 4 – нагреватели;
 5 – профилирующая головка; 6 – адаптер; 7 – фильтрующая сетка; 8 – станина;
 9 – редуктор; 10 – блок упорных подшипников; 11 – бункер.

В любой червячной машине независимо от ее конструктивных особенностей происходит продвижение перерабатываемого материала к выдавливающему концу червяка, нагрев материала, пластификация, смешение, гомогенизация и выдавливание материала через формующий инструмент 5. Профилирующая головка соединяется с корпусом экструдера через адаптер 6. Перед адаптером, как правило, помещают пакет сеток 7. В корпусе экструдера предусмотрены каналы охлаждения.

Корпус закрепляют на станине 8. Осевое усилие червяка воспринимается на блок упорных подшипников 10, а вращение червяку передается от электродвигателя через шестеренчатый редуктор 9.

1.3. Дозаторы для сыпучих материалов

По характеру действия дозаторы подразделяют на устройства непрерывного действия (поточные) и циклического действия (порционные).

По конструкции дозаторы непрерывного действия подразделяют на секторные, лотковые, тарельчатые, ленточные, вибрационные и червячные.

1.3.1. Секторные дозаторы

Секторные дозаторы применяют для отмеривания гранулированных и сыпучих порошкообразных и кусковых материалов с размером частиц до 30 мм.

На рис. 3.1.14 показана схема секторного дозатора. Он состоит из корпуса 1, в котором расположен секционированный ротор 2, имеющий регулируемый электрический привод. Материал, подаваемый в корпус, под действием своего веса сыпается через патрубок 4 из бункера и поочередно заполняет секции ротора. При вращении ротора секции, оказывающиеся над разгрузочным патрубком 3, выгружаются, и материал поступает в приемник. Отверстие А, соединяющее внутреннюю полость ротора с атмосферой, служит для сброса избыточного давления.

Шибер 6, приводимый в действие пневмоцилиндром 5, служит для перекрытия доступа материала к дозатору при его ревизии или ремонте.

Основным их недостатком по сравнению с весовыми дозаторами является меньшая точность дозирования.

1.3.2. Лотковый дозатор

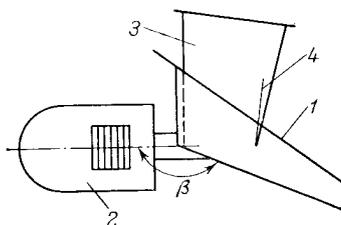


Рис. 3.1.15. Лотковый дозатор:
1 – лоток; 2 – вибратор;
3 – загрузочный патрубок;
4 – заслонка.

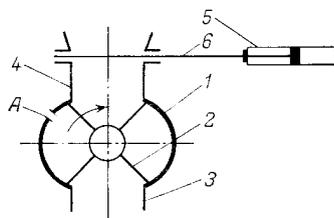


Рис. 3.1.14. Секторный дозатор:
1 – корпус; 2 – секционированный ротор; 3 – разгрузочный патрубок;
4 – загрузочный патрубок;
5 – пневмоцилиндр; 6 – шибер.

Устройство лоткового дозатора приведено на рис. 3.1.15. Дозатор состоит из лотка (или трубы) 1, который закреплен на вибраторе 2. Дозируемый материал поступает на лоток через патрубок 3; в нем расположена заслонка 4, с помощью которой можно регулировать толщину слоя подаваемого материала, меняя ее положение. Вибратор 2 приводит поток в колебательное движение, направление которого составляет угол β с направлением движения материала. Частоту колебаний выбирают таким образом, чтобы вся система работала в режиме резонанса.

Производительность лотковых дозаторов регулируют, изменяя толщину слоя, амплитуду и частоту колебаний.

Недостатками дозатора являются невозможность транспортировать липкие материалы, высокий уровень шума.

1.3.3. Червячные дозаторы

Такие дозаторы применяют для транспортирования и дозирования мелкозернистых, гранулированных и порошкообразных материалов, склонных к сводообразованию.

На рис. 3.1.16 приведена схема одночервячного дозатора. Он состоит из корпуса 7, внутри которого на опорах 2 установлен червяк 1. Дозируемый материал поступает к червяку через загрузочный патрубок 4 и выгружается через разгрузочный патрубок 6. Для предотвращения попадания транспортируемого материала в подшипники червяка на его концах вблизи разгрузочного и загрузочного патрубков располагают отбойную нарезку 3 и 5 длиной $1 \div 1,5$ витка. Шаг винтовой нарезки обычно составляет $0,8 \div 1,5$ диаметра червяка.

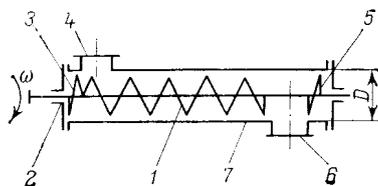


Рис. 3.1.16. Одночервячный дозатор:

1 – червяк; 2 – опора; 3, 5 – отбойная нарезка; 4 – загрузочный патрубок; 6 – разгрузочный патрубок; 7 – корпус.

1.3.4. Весовые дозаторы

Для точного дозирования сыпучих материалов применяют весовые дозаторы, которые бывают непрерывного или периодического действия. Конструктивно весовые дозаторы могут изготавливаться ленточного, червячного или роторного типа. Производительность таких дозаторов контролируют взвешиванием материала, находящегося в бункере или на подающем механизме дозатора. Наиболее распространены весовые дозаторы непрерывного действия с ленточным питателем производительностью от 0,5 до 20 000 кг/ч.

Схема ленточного весового дозатора приведена на рис. 3.1.17. Дозируемый материал из бункера 1 питателем 2 подается на датчик массы потока 3, выполненный в виде ленточного питателя и консольно закрепленный на опоре 5, а затем выгружается через разгрузочную воронку 4.

Производительность дозатора контролируют по массе дозируемого материала, находящегося на ленте транспортера датчика 3, с помощью весового механизма, состоящего из рычажной системы 6, тяги 9, шкалы 7 и дистанционного датчика 8.

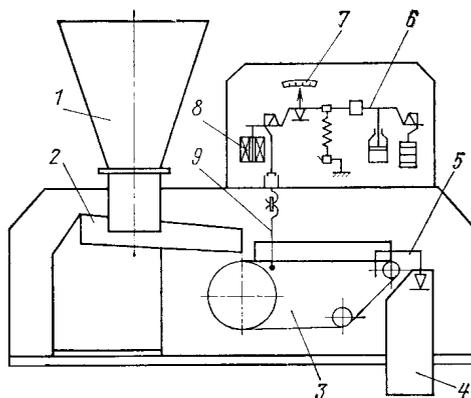


Рис. 3.1.17. Весовой дозатор:

1 – бункер; 2 – питатель; 3 – датчик массы; 4 – разгрузочная воронка; 5 – опора; 6 – рычажная система; 7 – шкала; 8 – дистанционный датчик; 9 – тяга.

1.4. Машины для таблетирования

Таблетированием называется формирование заготовок – таблеток – определенной конфигурации, размеров и плотности из порошкообразных, гранулированных или волокнистых пластмасс – под действием сжимающего усилия. Оно позволяет более точно дозировать материал, а также относительно полно удалять из него воздух.

Обычно таблетирование осуществляют на автоматических таблеточных машинах, которые по виду привода подразделяют на механические (кривошипные или ротационные – кулачковые) и гидравлические. Ниже будут рассмотрены схемы таблеточных машин.

1.4.1. Эксцентриковые таблеточные машины

Такие машины применяют для таблетирования порошкообразных прессовочных материалов. Машины выпускаются с усилием таблетирования от 20 до 1000 кН. Машины обеспечивают одностороннее сжатие материала верхним пуансоном (или пуансонами) в одногнездной (или многогнездной) матрице без выдержки под давлением. Отформованные таблетки выталкиваются нижним пуансоном (или пуансонами).

Принципиальная схема эксцентриковой таблеточной машины представлена на рис. 3.1.18.

Электродвигатель 1 через клиноременную передачу 4 и шестерни 10, 12 осуществляют привод машины. Эксцентриковый вал 15, вращаясь, сообщает через шатун 16 возвратно-поступательное движение ползуну 18 и верхнему пуансону 19. На тыльной торцевой стороне зубчатого колеса 12 установлен внутренний профильный кулачок 11. Ролик 17, перемещаясь по кулачку, обеспечивает возвратно-поступательное движение штанге 31, которая через цапфу 25 соединена с толкателем 26, на котором укреплен нижний пуансон 24. При вращении регулировочной втулки 27 объем камеры засыпки в матрице 23 изменяется. Цапфу 25 устанавливают в зависимости от положения регулировочной втулки при помощи стопорных гаек 30.

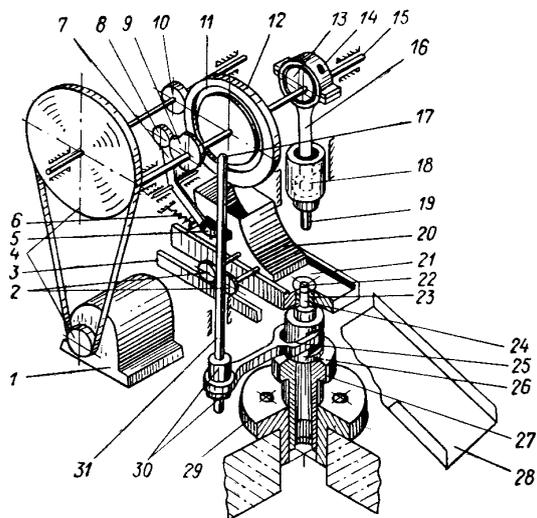


Рис. 3.1.18. Кинематическая схема эксцентриковой таблеточной машины:
 1 – электродвигатель; 2, 10, 12 – шестерни; 3 – зубчатая рейка; 4 – клиноременная передача; 5 – серья; 6 – пружина; 7 – рычаг; 8, 17 – ролики; 9, 11 – кулачки; 13 – эксцентриковая втулка; 14 – головка шатуна; 15 – вал; 16 – шатун; 18 – ползун; 19 – верхний пуансон; 20 – бункер; 21 – стол; 22 – таблетка; 23 – матрица; 24 – нижний пуансон; 25 – цапфа; 26 – толкатель; 27 – регулировочная втулка; 28 – лоток; 29 – резьбовая втулка; 30 – гайки; 31 – штанга.

Кулачок 9, расположенный на консоли эксцентрикового вала, воздействует на ролик 8, вследствие этого рычаг 7 при помощи серьи 5 пе-

редвигает бункер 20 вдоль стола 21. При движении бункера зубчатые шестерни 2 ворошителя передвигаются по рейке 3. На кулачке 9 имеется волнообразный выступ, служащий для встряхивания бункера, что облегчает засыпку порошка в матрицу.

Таблетуемый материал 8 предварительно засыпают в бункер 2 (рис. 3.1.19).

При соприкосновении выступающей части кулачка с роликом бункер перемещается к матрице. После совмещения нижней щели бункера с матрицей материал засыпается в ее гнездо. По окончании засыпки бункер пружиной 6 возвращается в исходное положение, а пуансон 1, опускаясь, входит в матрицу 4 и сжимает находящийся в ней порошок в таблетку.

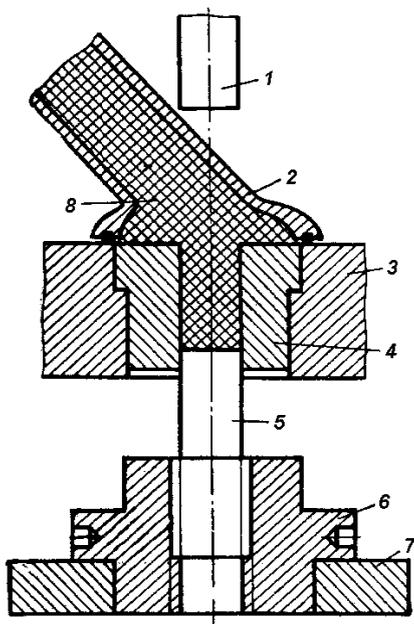


Рис. 3.1.19. Схема дозировочного устройства эксцентриковой таблеточной машины:

1 – верхний пуансон; 2 – бункер; 3 – стол; 4 – матрица; 5 – нижний пуансон; 6 – толкатель; 7 – регулировочная втулка; 8 – таблетуемый материал.

Плотность таблетки зависит от глубины, на которую опускается верхний пуансон 1, и регулируется угловым перемещением эксцентриковой втулки (расположенной в головке шатуна) относительно вала. Когда

верхний пуансон 1 поднимется, таблетка выталкивается из матрицы нижним пуансоном 5. В начале следующего цикла таблетка сталкивается передней частью бункера со стола 3 на наклонный поток, а толкатель 6 с нижним пуансоном 5 опускается в исходное положение. Колебания веса таблетки в процессе работы машины зависят от неравномерности засыпки порошка в матрице, величины зазора между поверхностями нижнего пуансона и матрицы, настройки регулировочной втулки 7 относительно неподвижной резьбовой втулки, надежности крепления пуансона 5 к толкателю 6. В зазор между толкателем и верхней плоскости регулировочной втулки не должны попадать пыль и порошок, так как увеличение зазора вызовет произвольное уменьшение веса таблеток.

Гайки 30 (рис. 3.1.18) должны быть отрегулированы так, чтобы верхний торец пуансона 5 при выталкивании таблетки находился заподлицо с верхним торцом матрицы 4. Зона сближения пуансонов закрыта дверкой, которая заблокирована с конечным выключателем таким образом, что при открытой дверке цепь питания магнитного пускателя электродвигателя размыкается.

1.4.2. Ротационные машины

Ротационные машины обеспечивают одно-, двух-, трех- или четырехкратное таблетирование, при этом из каждого гнезда матрицы за один оборот ротора получают 1, 2, 3 или 4 таблетки.

На рис. 3.1.20 показана кинематическая схема ротационной таблеточной машины. Такая машина предназначена для однопозиционного таблетирования порошкообразных фено- и аминопластов. Она имеет литую станину, внутри которой размещены червячный и цилиндрический зубчатые редукторы, а также фрикционная муфта сцепления. На станине установлена нижняя плита 17, соединенная с верхней плитой 13 колоннами 14. Между плитами смонтирован ротор 9 с пятнадцатью комплектами одногнездных матриц, верхних 15 и нижних 16 пуансонов. Силовые кулачки для таблетирования и выталкивания таблетки установлены на плитах 13 и 17, а вспомогательные кулачки – на колоннах 14.

Крутящий момент передается от электродвигателя 1 на вал 8 ротора 9 через зубчатые передачи 2, сменные шестерни 6, 7, червяк 4 и червячное колесо 5. Взаимная перемена мест шестерней 6 и 7 обеспечивает две скорости вращения ротора: 7,3 и 9,87 об/мин. Муфта 3 позволяет останавливать и пускать в работу машину при включенном электродвигателе. Через шестерни 12 вращение передается на лопасти 10 ворошителя, который облегчает загрузку матриц порошкообразным материалом, находящимся в бункере 11.

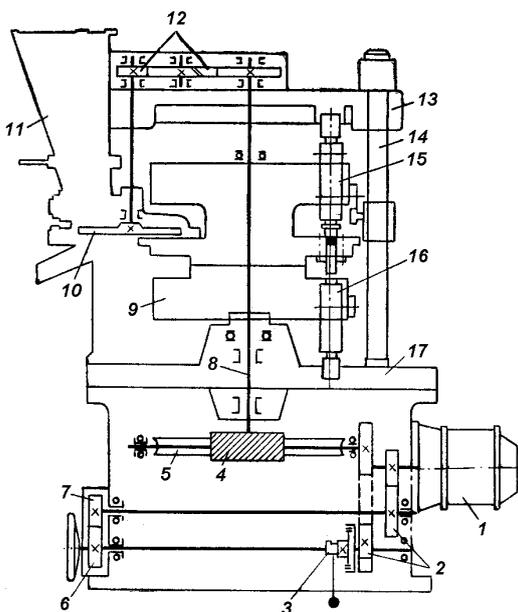


Рис. 3.1.20. Кинематическая схема ротационной таблеточной машины:
 1 – электродвигатель; 2 – зубчатые передачи; 3 – муфта; 4 – червяк; 5 – червячное колесо; 6, 7, 12 – шестерни; 8 – вал; 9 – ротор; 10 – лопасти ворошителя;
 11 – бункер; 13, 17 – плиты; 14 – колонны; 15, 16 – пуансоны.

1.4.3. Гидравлические таблеточные машины

На таких машинах таблетировуют высокодисперсные материалы, а также пластмассы с волокнистым наполнителем. Качество таблеток, получаемых на них, выше, чем у эксцентриковых, что связано с более точной дозировкой материала и возможностью регулирования скорости сжатия, выдержки под давлением и других параметров.

На рис. 3.1.21 показана схема работы горизонтальной гидравлической машины. В исходной позиции *I* формирующие торцы неподвижного *I* и подвижного *5* пуансонов расположены в нижней части бункерного питателя *3*, в котором находится таблетлируемый материал *2*. Зазор между торцами пуансонов соответствует весу таблеток и изменяется при помощи винтового регулятора *10*. Затем находившаяся в бункерном питателе между пуансонами порция материала попадает в матрицу *4* вследствие перемещения питателя *3* и матрицы в среднее положение (позиция *II*). Бункерный питатель приводится в движение плунжером *14*, расположенным в гидравлическом цилиндре *13*.

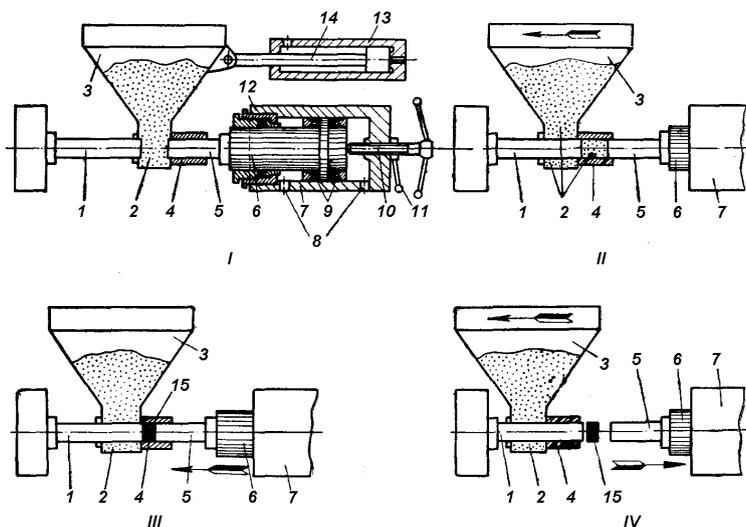


Рис. 3.1.21. Схема работы горизонтальной гидравлической машины:
 1 – неподвижный пуансон; 2 – материал; 3 – питатель; 4 – матрица; 5 – подвижный пуансон; 6 – плунжер; 7, 13 – гидравлические цилиндры; 8 – каналы; 9, 12 – манжеты; 10 – винтовой регулятор; 11 – стопорящее устройство; 14 – плунжер; 15 – таблетка; I–IV – позиции.

В дальнейшем пуансон 5 под действием плунжера 6, расположенного в гидравлическом цилиндре 7, движется влево (позиция III), сжимая в таблетку находящийся в матрице материал. При этом матрица находится в свободном состоянии и может быть несколько смещена по отношению к пуансону 1, вследствие этого, несмотря на неподвижность одного из пуансонов, достигается эффект двухстороннего сжатия. Плунжер уплотняется манжетами 9 и 12. Подвод и отвод масла осуществляется через каналы 8 гидравлического цилиндра. Для фиксации установленного винтовым регулятором 10 веса таблеток предусмотрено стопорящее устройство 11.

В позиции IV бункерный питатель и матрица перемещаются в крайнее левое, а пуансон 5 – в правое положение и таблетка 15 попадает под действие собственного веса в приемный лоток. После удаления таблетки бункерный питатель и матрица перемещаются в исходное положение и цикл таблетирования повторяется.

Гидравлическая машина для таблетирования волокнистых материалов показана на рис. 3.1.22. Она оснащена устройствами для рубки и предварительного уплотнения материала.

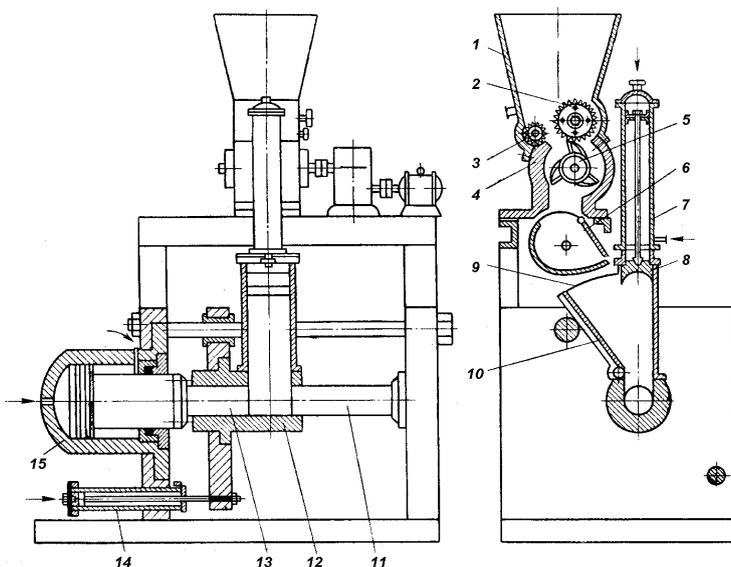


Рис. 3.1.22. Гидравлическая машина для таблетирования волокнистых материалов:

1 – бункер; 2, 3 – валки; 4, 5 – ножи; 6 – дозатор; 7, 14, 15 – гидравлические цилиндры; 8 – поршень; 9 – камера; 10 – крышка; 11, 13 – пуансоны; 12 – матрица.

Загружаемый в бункер 1 материал захватывается валками 2 и 3 и подается между неподвижным 4 и вращающимся 5 ножами. Скорость измельчения волокнистого материала и скорость его подачи в весовой дозатор 6 зависят от скорости вращения валков 2, 3 и ножа 5.

Порция материала заданной массы загружается из дозатора 6 в камеру 9, после чего крышка 10 поворачивается по часовой стрелке в вертикальное положение и предварительно уплотняет материал. Затем под действием поршня 8, соединенного со штоком пневматического или гидравлического цилиндра 7, материал повторно уплотняется и располагается в матрице 12 между торцами пуансонов 11 и 13.

В результате последующего перемещения вправо матрицы 12 под действием гидравлического цилиндра 14 порция материала отсекается и сдвигается в закрытую рабочую часть матрицы. Окончательное формование таблетки осуществляется пуансоном 13 при нагнетании жидкости в цилиндр 15.

1.5. Заключение

В технологии пластмасс подготовительное производство является промежуточным звеном между производством исходных полимеров и их переработкой, т. е. изготовлением из них полуфабрикатов.

Подготовительные методы используют для улучшения технологических свойств перерабатываемого сырья, а также для получения полуфабрикатов и заготовок (таблеток, гранул, листов, профильных изделий и т. д.), применяемых в основных методах переработки пластических масс. Среди подготовительных методов можно выделить измельчение, смешение, вальцевание, таблетирование, сушку и предварительный подогрев, гранулирование.

Основным назначением подготовительных процессов является улучшение перерабатываемости полимеров, модификация их свойств в соответствии с требованиями к конечным продуктам, обеспечение проведения экономически выгодных процессов производства изделий, обладающих хорошими эксплуатационными параметрами. При этом рассматривается главным образом тепло- и массообмен, которые реализуются при смешении и диспергировании под воздействием тепловой и механической энергии.

Наряду с подготовкой исходных компонентов (например, стабилизаторов, пластификаторов, смазывающих веществ, красителей и т. д.) часто требуется удалить низкомолекулярные вещества (остаточные мономеры, влагу, растворители).

Вопросы для самоконтроля

1. Назначение оборудования для предварительной подготовки сырья.
2. Какое оборудование используют для предварительной подготовки сырья?
3. Схема устройства молотковой и роторной дробилки.
4. Классификация дробильно-помольного оборудования.
5. Схема устройства смесителя с механическим псевдоожижением.
6. Схема устройства центробежного смесителя.
7. Классификация оборудования для смешения полимеров.
8. Классификация оборудования для таблетирования.
9. Схемы устройства дозирующего оборудования.
10. Схема устройства червячного смесителя.
11. Схема двухроторного смесителя закрытого типа.

Глава 2. Оборудование для переработки полимерных материалов

Изготовление изделий из полимерных материалов осуществляется главным образом следующими методами: литье под давлением, экструзия, выдувное формование, прессование, каландрование, пневмо- и вакуумформование.

В процессе переработки термопласты претерпевают ряд превращений. Сначала происходит плавление и в процессе пластической деформации создается конфигурация будущего изделия. После охлаждения приданная изделию форма фиксируется. Процесс формования терморезактивных материалов сопровождается нагреванием до температуры отверждения. При этом внутри материала протекают химические реакции, приводящие к образованию пространственной молекулярной структуры.

2.1. Экструдеры

Экструзия – один из наиболее распространенных способов переработки полимерных материалов. Методом экструзии получают трубы, пленки, листы, выдувные изделия, многослойные армированные материалы, кабельная изоляция. Машины, на которых осуществляется этот процесс, называются экструдерами. Термопластичный материал в экструдере, не претерпевая химических превращений, последовательно переходит сначала из твердого состояния (в виде гранул или порошка) в расплав, а затем вновь в твердое состояние – после выхода из профилирующего инструмента. Экструдеры применяются также для дегазации, окрашивания, обезвоживания, смешения, пластикации и пластификации термопластов, реактопластов и эластомеров.

На рис. 3.2.1 показана схема одночервячного экструдера. Видно, что рабочим органом такого экструдера является обогреваемый материальный цилиндр 8, внутри которого вращается червяк 3. Загрузка перерабатываемого материала производится с помощью загрузочного устройства 4, конструктивное оформление которого определяется состоянием и формой частиц перерабатываемого материала. Формующий инструмент 10 устанавливается на фланец 9 материального цилиндра 8, обогреваемого при помощи нагревателей 2. Привод червяка, закрепленного в упорном узле 5, осуществляется от электродвигателя 7 через редуктор 6 и муфту.

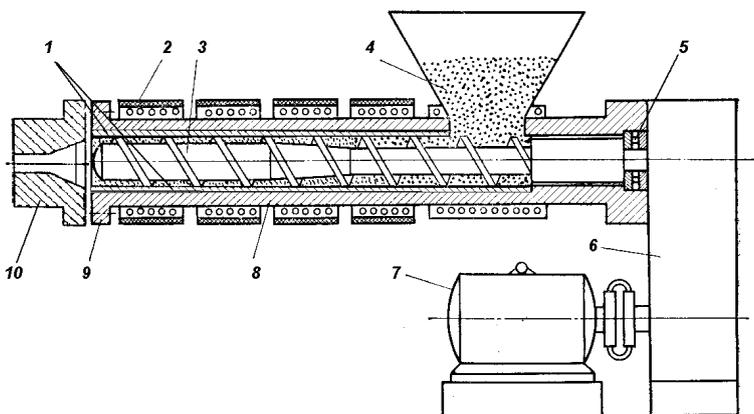


Рис. 3.2.1. Принципиальная схема одночервячного экструдера:
 1 – гильза; 2 – электронагреватель; 3 – червяк; 4 – загрузочный бункер;
 5 – упорный подшипник; 6 – редуктор; 7 – электродвигатель; 8 – материальный цилиндр; 9 – фланец; 10 – профилирующая головка.

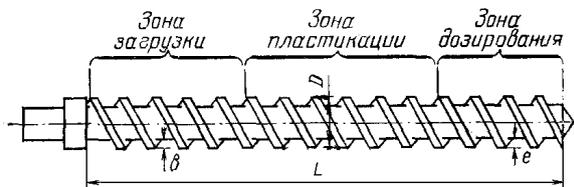


Рис. 3.2.2. Разделение червяка на зоны и его основные параметры

Червяк (рис. 3.2.2) является основным рабочим органом экструдера. Он забирает непластифицированный материал от загрузочного отверстия, пластифицирует его и равномерно подает в виде гомогенного расплава к головке. Основными параметрами червяка являются диаметр D , длина L , глубина канала в зоне питания b и в зоне дозирования e . Червяки применяются с относительной длиной $L/D = 15 \div 35$. По характеру процессов, протекающих на каждом участке червяка, его обычно можно разделить по длине на три основные зоны:

- зона питания (или зона загрузки) – участок, на котором перерабатываемый материал находится в твердом состоянии;
- зона сжатия (или зона пластикации) – участок, на котором почти полностью происходит плавление материала;
- зона дозирования – участок, на котором материал находится в вязкотекучем состоянии.

При выборе экструдера следует учитывать температурный режим, частоту вращения червяка, давление в головке, конкретный вид изделия и производительность.

При переработке полимерных материалов используют следующие типы экструзионных агрегатов:

- грануляторы;
- пленочные агрегаты (для получения рукавной пленки; плоской пленки и т. д.);
- агрегаты для получения дублированных пленок (например – бумага-полиэтилен или фольга-полиэтилен);
- листовальные агрегаты;
- трубные агрегаты;
- агрегаты для экструзии профилей;
- кабельные агрегаты;
- агрегаты для получения волокна.

Остановимся кратко на перечисленных типах экструзионных агрегатов.

2.1.1. Грануляторы

Они предназначены для придания товарной формы – гранул – исходному полимерному материалу и для вторичной грануляции отходов различных производств (литьевого, трубного и т. д.).

Известно, что в производстве полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) грануляторы обычно устанавливают в одну технологическую линию с реакторами для полимеризации этилена или непосредственно под смесителями, в которых готовят композиции на основе полиэтилена.

На рис. 3.2.3 представлена схема агрегата для гранулирования полимерных материалов. Производительность гранулятора от 28 029 т/ч при диаметре червяка 250...600 мм.

Гранулятор состоит из обогреваемого корпуса 6, приемной воронки 8, соединенной непосредственно с отделителем низкого давления 7, червяка 9, гранулирующей головки с фильтром сетчатого или шибберного типа 5, резательного устройства, которое состоит из ножевой головки 4, установленной на подвижной каретке 10, регулируемого привода вала ножевой головки 11, герметичной водяной камеры, где происходит резка гранул, системы трубопроводов 12, по которым вода с гранулами транспортируется к виброситам 3, на которых происходит отделение гранул от охлаждающей конденсатной воды и разделение гранул по размерам. Гранулы, двигаясь по виброситам, разделяются на основной поток и две фракции: остающиеся на сите гранулы слишком большого

размера и проникающие сквозь сито (гранулы слишком маленького размера).

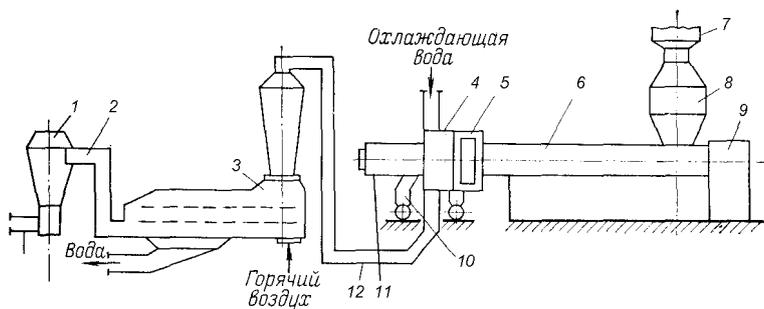


Рис. 3.2.3. Схема агрегата для гранулирования:

1 – осушительный циклон; 2 – пневмотранспортная система; 3 – вибросита; 4 – ножевая головка; 5 – фильтр; 6 – корпус; 7 – отделитель низкого давления; 8 – приемная воронка; 9 – червяк; 10 – подвижная каретка; 11 – привод; 12 – трубопровод

Основной поток гранул поступает в систему пневмотранспорта 2, проходит через осушительный циклон 1 и направляется по пневмопроводу с потоком сухого воздуха в приемные бункера, емкость каждого такого бункера может составлять 150...250 м³.

Что же касается гранул большого и меньшего размеров, то они поступают через свой циклон в систему пневмотранспорта, по которой они направляются в приемный бункер некондиционной продукции, подвергающейся вторичной переработке.

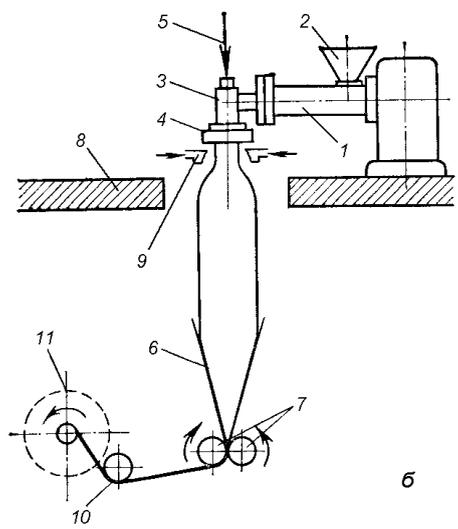
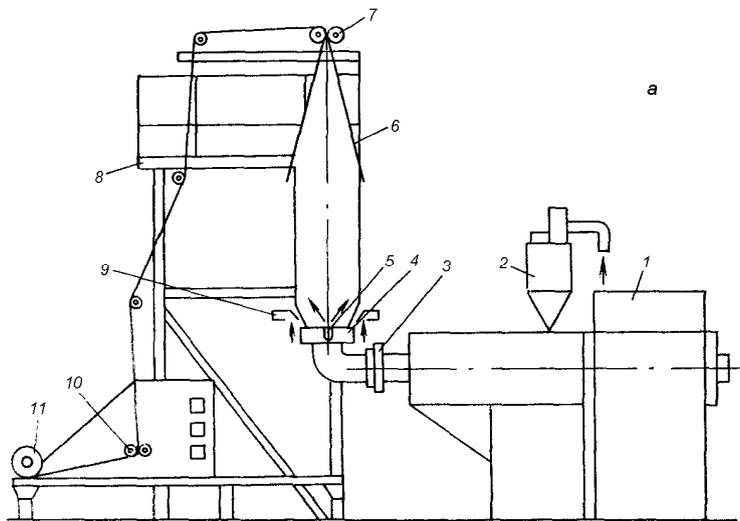
2.1.2. Экструзионные агрегаты для производства рукавных пленок

Они наиболее распространены в производстве.

На рис. 3.2.4 представлены три схемы экструзионных агрегатов для производства рукавных пленок. Агрегат для производства пленки по схеме «снизу-вверх» (рис. 3.2.4а) применяют для изготовления пленок любой толщины шириной до 24 м. Агрегат для изготовления пленки по схеме «сверху-вниз» (рис. 3.2.4б) используют для изготовления тонких узких пленок, а агрегаты для изготовления пленки по горизонтальной схеме (рис. 3.2.4в) применяют при изготовлении толстых пленок (например, газонаполненных).

Следует отметить, что все агрегаты состоят из одного и того же набора функциональных машин и механизмов: экструдера 1 с бункером 2, фильтра 3, рукавной головки 4, охлаждающего кольца 9, складывающих щек 6, тянущего устройства 7, герметизирующего пузырь ру-

кава, эстакады 8, направляющих валков 10, закаточной стойки с приемной бобиной 11. В качестве хладагента используется воздух или жидкость, поступающие по трубопроводу 5.



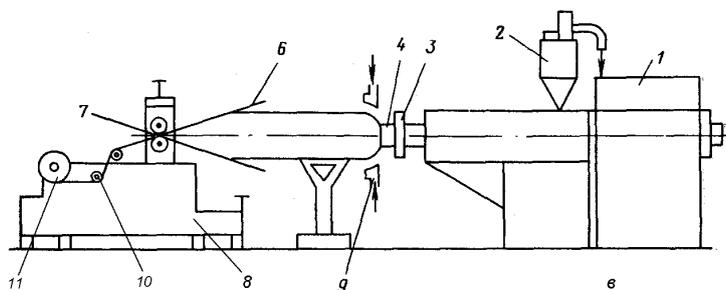


Рис. 3.2.4. Агрегат для производства пленки:

а – по схеме «снизу–вверх»; *б* – по схеме «сверху–вниз»; *в* – по горизонтальной схеме; 1 – экструдер; 2 – бункер; 3 – фильтр; 4 – головка; 5 – воздуховод; 6 – складывающие щеки; 7 – тянущие валки; 8 – эстакада; 9 – охлаждающее кольцо; 10 – направляющие валки; 11 – намоточное устройство.

Гранулы поступают в бункер 2 из устройства для подготовки и подачи сырья. В большинстве случаев для подачи сырья в бункер используют индивидуальные пневмо- или вакуум-загрузчики.

Крайне важными для производства рукавных пленок являются формирующие головки. В настоящее время наиболее широко распространены стационарные угловые головки с центральным подводом расплава и винтовым распределительным каналом. Конструкция такой головки показана на рис. 3.2.5.

Головка состоит из корпуса 1, в котором на центрирующем конусе 3 вставлен дорн 7 с коническим наконечником. Кольцевой канал 6, где формируется рукав, образован нижним и верхним формирующими кольцами. На входном участке корпуса по ходу движения расплава установлена центрирующая втулка, внутри которой монтируются решетки с пакетом фильтрующих сеток 8. Обогрев головки осуществляется при помощи пластинчатых нагревателей 2. Температура в зоне каждого нагревателя контролируется термодарами, вставляемыми в карманы 5. Температура расплава контролируется термопарой 9. Толщину пленки можно регулировать с помощью регулировочных винтов 4.

Расплав из цилиндра экструдера поступает снизу в симметричный канал и выдавливается вверх через кольцевую щель между дорном и мундштуком. Протекая в зазоре между дорном и мундштуком, расплав рассекается на отдельные потоки, которые далее сливаются в единый поток. Продольные полосы, образующиеся в местах соединения рассеченных потоков расплава, остаются и в раздутом пленочном рукаве. Эти полосы являются причиной разнотолщинности готовой пленки.

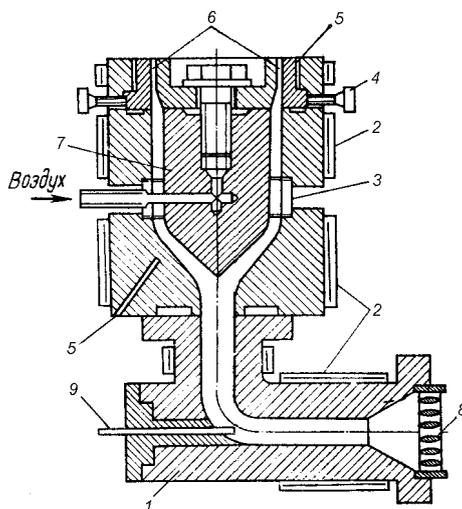


Рис. 3.2.5. Схема угловой кольцевой головки для экструзии рукавной пленки: 1 – корпус; 2 – нагреватели; 3 – дорнодержатель; 4 – регулировочный болт; 5 – пазы для термопар; 6 – профилирующий канал; 7 – дорн; 8 – решетка и сетки; 9 – термопара для расплава.

2.1.3. Экструзионные агрегаты для изготовления труб

Агрегат для изготовления труб (рис. 3.2.6) состоит из экструдера 3, прямоточной трубной головки 4, калибрующей насадки 5, охлаждающей ванны 6, маркирующего приспособления 7, тянущего устройства 8, отрезного устройства (качающейся циркулярной пилы) 10, бункера с устройством для подсушки и подогрева гранул 2 и пневмозагрузчика 1.

При работе агрегата расплав полимера выдавливается из головки экструдера в виде непрерывной трубчатой заготовки, которая тянущим устройством протягивается через калибрующую насадку, где труба калибруется (по наружному и внутреннему диаметру) и частично охлаждается. Затем труба поступает в охлаждающую ванну, в которой она окончательно охлаждается водой. После прохождения через маркирующее устройство 7 готовая труба 9 разрезается на куски и укладывается в штабель 11 (или наматывается в бухту).

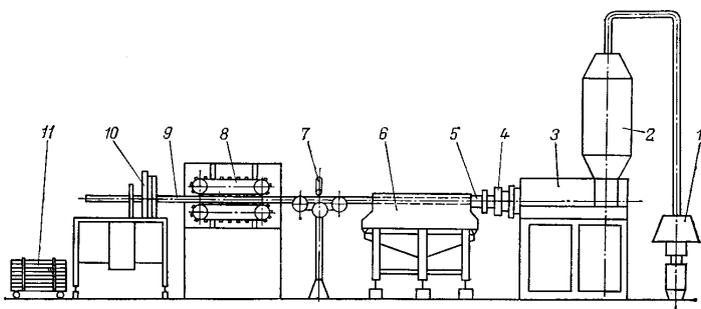


Рис. 3.2.6. Экструзионный агрегат для изготовления труб:

1 – пневмозагрузчик; устройство для подсушки и подогрева гранул; 3 – экструдер; 4 – прямоочная трубная головка; 5 – калибрующая насадка; 6 – охлаждающая ванна; 7 – маркирующее приспособление; 8 – тянущее устройство; 9 – готовая труба; 10 – циркулярная пила; 11 – штабель.

На рис. 3.2.7 показана конструкция трубной головки. Она состоит из корпуса 14, внутри которого смонтирован дорн 7, закрепленный в дорнодержателе 5 при помощи рассекателя 13. Формующая матрица 6 центрируется относительно дорна при помощи установочных винтов 9 и крепится в головке посредством фасонной гайки 8. Крепление головки к корпусу экструдера 14 производится при помощи фланца 1, притянутого к корпусу головки болтами 16. На входе в головку установлена решетка 3 с пакетом сеток 2. Штуцер 11 служит для подвода сжатого воздуха во внутреннюю полость заготовки через канал 12.

Головка обогревается тремя ленточными нагревателями сопротивления 15. Отверстия 4 предназначены для установок термомпар. Дорнодержатель 5 обычно представляет собой плоское перфорированное кольцо, через отверстия которого расплав проходит от экструдера к формующему зазору. Для того чтобы отдельные струи могли слиться друг с другом и образовать сплошной кольцевой поток, дорнодержатель не должен быть расположен слишком близко к формующему зазору.

Для предотвращения сплющивания заготовки, а также для создания прижимающего усилия при калибровании труб по наружному диаметру внутрь заготовки через имеющейся в дорне каналы 10 подается сжатый воздух.

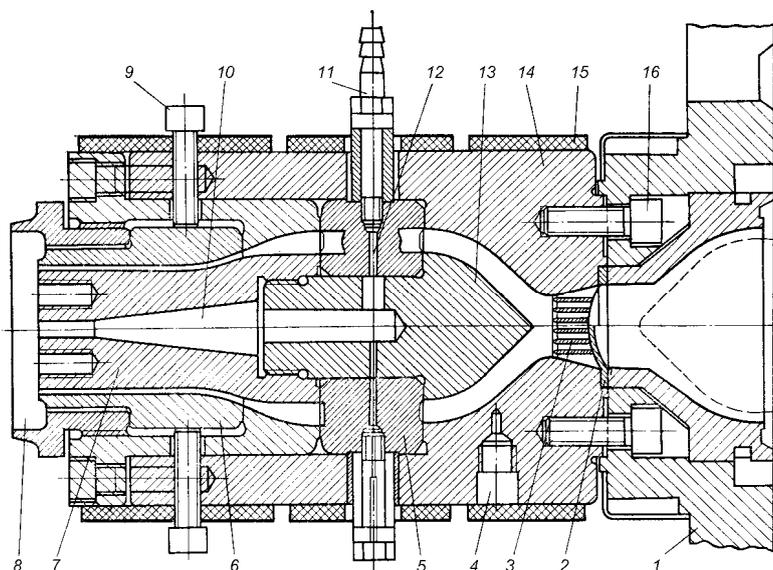


Рис. 3.2.7. Прямоточная трубная головка:

1 – фланец; 2 – пакет сеток; 3 – решетка; 4 – паз для термопары; 5 – дорнодержатель; 6 – формирующая матрица; 7 – дорн; 8 – гайка; 9 – установочный винт; 10, 12 – канал; 11 – штуцер; 13 – рассекатель; 14 – корпус; 15 – нагреватель; 16 – болт.

Устройство для калибровки труб по наружному диаметру избыточным давлением представлено на рис. 3.2.8. Оно состоит из дорна 6, к концу которого прикреплена штанга 3 с пробкой 1, уплотняющей резиновыми манжетами внутреннюю полость экструдированной трубы 2. Труба, выходящая из фильтра 7, попадает в охлаждаемый калибрующий стакан 5, укрепленный внутри цилиндрического корпуса 4.

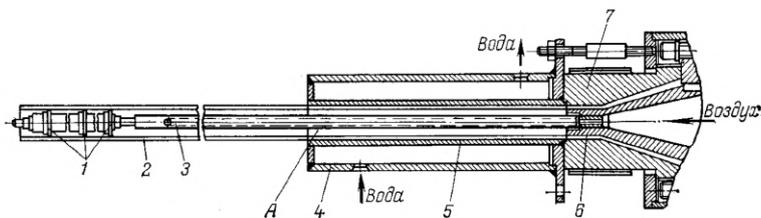


Рис. 3.2.8. Устройство для калибровки труб по наружному диаметру:

1 – пробка; 2 – труба; 3 – штанга; 4 – корпус; 5 – калибрующий стакан; 6 – дорн; 7 – фильера; А – полость.

К стенкам стакана труба прижимается изнутри избыточным давлением воздуха, подаваемого в полость *A* через дорн и отверстия в штоке. По выходу из калибрующего устройства труба попадает в охлаждающую ванну, а затем поступает на тянущее устройство.

2.1.4. Экструзионно-кабельные агрегаты

Такие агрегаты применяются для наложения изоляции на металлические жилы и для нанесения полимерной оболочки на пучок (скрутку) отдельных ранее изолированных проводов (рис. 3.2.9).

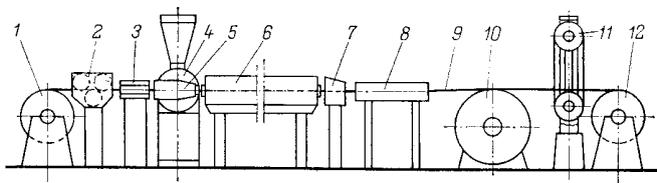


Рис. 3.2.9. Схема установки для нанесения кабельной изоляции:

1 – барабан; 2 – натяжные ролики; 3 – кондуктор; 4 – экструдер; 5 – угловая головка; 6 – охлаждающие ванны; 7, 8 – контрольные устройства; 9 – готовый кабель; 10 – кабестан; 11 – распределительное устройство; 12 – приемный барабан.

При наложении изоляции металлическая жила, сматываемая с бобины *1*, проходит через приспособления *2* и *3*, которые устраняют неровность жилы, и подогревается до 90...100°C, а затем поступает в угловую головку *5* экструдера *4*, в которой на жилу наносится слой расплава. Вышедшая из головки изолированная жила поступает в серию последовательно установленных охлаждающих ванн *6*, где охлаждается водой. Далее готовый кабель *9* проходит устройство *7* для контроля изоляции на пробой и устройство *8* для контроля диаметра, кабестан *10* для вытягивания перед намоткой, а также распределительное устройство *11* и наматывается в готовом виде на приемный барабан *12*.

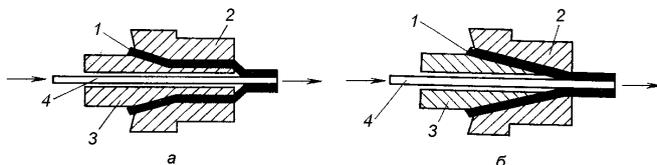


Рис. 3.2.10. Конструкции кабельных головок:

а – напорного типа; *б* – трубного типа;

1 – расплав полимера; 2 – мундштук; 3 – дорн; 4 – жила кабеля.

На рис. 3.2.10 приведена конструкция кабельной головки. Головка состоит из мундштука *2*, внутри которого концентрично укреплен полый

дорн 3. Металлическая жила 4 проходит через отверстие в дорне и попадает в кольцевую полость, в которую от экструдера по кольцевому каналу нагнетается расплав полимера 1, образующий на проводе изоляционный слой необходимой толщины.

Обычно в производственной практике используют головки двух видов – напорные (рис. 3.2.10а) и трубные (рис. 3.2.10б). В головке напорного типа основная функция направляющего вкладыша (дорна) – предотвращение противотока расплава. Расположение дорна таково, что покрытие наносится вне формующего инструмента. По этой причине дорн мало влияет на центровку жилы кабеля в наносимой оболочке. В кабельной головке трубного типа направляющий вкладыш (дорн) приближен к выходному отверстию головки, поэтому покрытие наносится внутри формующего инструмента. В этом случае дорн хорошо центрирует жилу кабеля, но не позволяет использовать давление, развиваемое червяком, для опрессовки экструдата вокруг провода.

2.2. Каландры

В промышленности используют главным образом вальцово-каландровые линии, в которых на вальцах выполняются подготовительные операции, а на каландрах происходит окончательное формование полимерного материала в листы или пленки. При каландровании происходит непрерывное продавливание полимерного материала через зазор между вращающимися навстречу друг другу обогреваемыми полыми цилиндрами, в результате которого образуется бесконечный тонкий лист или пленка. Каландрование широко применяется в резиновой промышленности и промышленности переработки пластмасс для получения пленок, а также для наложения слоя полимерного материала на ткань.

На рис. 3.2.11 представлена схема каландрового агрегата для изготовления пленки из поливинилхлорида.

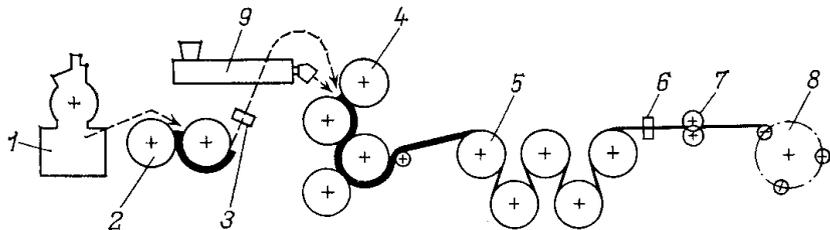


Рис. 3.2.11. Принципиальная схема каландровой линии:

1 – смеситель; 2 – вальцы; 3 – детектор металла; 4 – каландр; 5 – охлаждающие барабаны; 6 – толщиномер; 7 – устройство обрезания кромок; 8 – приемное устройство; 9 – экструдер.

Готовая смесь выгружается из смесителя *1* на валки питательных вальцов *2*, срезаемая с валков лента направляется в верхний зазор каландра *4*. По пути к каландру лента проходит мимо головки детектора металла *3*, прекращающего подачу массы в случае присутствия в ней крупных металлических включений. Этим предотвращается опасность повреждения валков попадающими в полимер металлическими предметами. Если питание каландров осуществляется от экструдера *9*, на нем устанавливается стренгирующая головка, решетка которой не пропускает никаких твердых предметов. Выходящая из каландра *4* пленка поступает на охлаждающие барабаны *5*, затем пленка проходит через толщиномер *6*, приспособление для обрезания кромки *7* и принимается на бобину закаточного устройства *8*.

Общее устройство современного четырехвалкового каландра представлена на рис. 3.2.12.

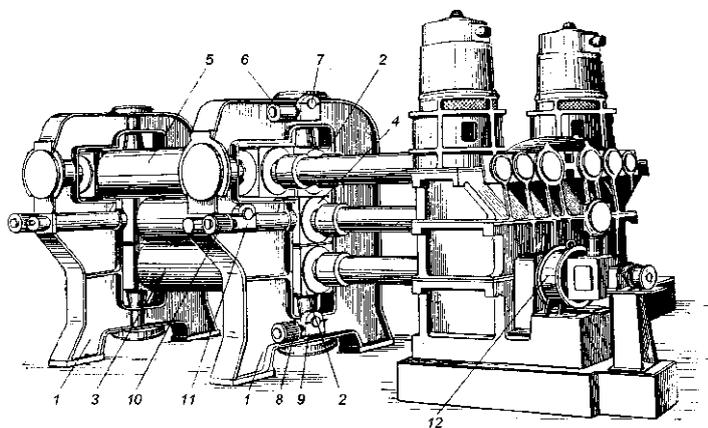


Рис. 3.2.12. Четырехвалковый каландр:

1 – станина; *2, 4* – подшипники; *3, 5* – валки; *6, 8, 10, 12* – электродвигатель;
7, 9, 11 – редуктор.

Каландр состоит из двух литых чугунных (или стальных) станин *1*, установленных на чугунной плите и соединенных сверху траверсой. В пазах станины установлены корпуса подшипников *2* валков *3*. Рабочая поверхность валка тщательно шлифуется и полируется до зеркального блеска. Подшипники *4* среднего валка установлены неподвижно, в то время как подшипники верхнего и нижнего валков, а также подшипники бокового валка *5* могут перемещаться по направляющим, чем обеспечи-

вается возможность установки требуемого зазора между валками. Величина зазора для верхнего валка регулируется при помощи винтовых устройств с приводом от электродвигателей 6 через червячные редукторы 7, а для нижнего валка – при помощи таких же устройств, приводимых в действие от электродвигателей 8 через червячные редукторы 9. Положение бокового валка регулируется при помощи электродвигателей 10 через редуктор 11. Электродвигатели могут включаться либо попарно, либо каждый в отдельности. Привод валков каландра осуществляется от электродвигателя 12 через редуктор и систему зубчатых передач.

Для термостатирования валок каландра имеет внутреннюю полость (рис. 3.2.13а), в которую при работе подают пар или пароводяную смесь. В современных каландрах применяют валки, в которых теплоноситель циркулирует по просверленным непосредственно у поверхности валка периферийным каналам диаметром 38...50 мм (рис. 3.2.13б). Центральная полость служит в таких валках только для подвода и отвода теплоносителя. При использовании периферийных каналов практически обеспечивается равномерный прогрев поверхности валка, что важно для получения равнотолщинных изделий.

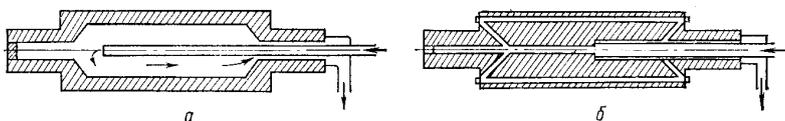


Рис.3.2.13. Валки каландров:

a – с центральным каналом для подвода теплоносителя; *б* – с периферийными каналами для подвода теплоносителя.

2.3. Литьевые машины

2.3.1. Общие положения

Литьевые машины широко применяются при производстве самых различных изделий из термопластичных и термореактивных материалов – от предметов повседневного обихода до деталей машин и аппаратов.

Переработка пластмасс литьем под давлением состоит из операций подготовки материала и формования. Подготовка материала в литьевой машине заключается в разогреве его до вязкотекучего состояния.

Литьевая машина состоит из инжекционной и прессовой частей, гидравлического или механического привода и электропривода.

Инжекционная часть машины обеспечивает пластикацию материала, т. е. разогрев до требуемой температуры, и создание заданного режима приложения давления на всех стадиях цикла формования изделия, а прессовая часть – перемещение формы и ее запираание во время формования изделия. С помощью гидравлического или механического привода осуществляется перемещение узлов и деталей машины.

На современных литьевых машинах можно изготавливать изделия разными способами:

- литьевым;
- интрузионным;
- инъекционно-прессовым.

Литьевой способ заключается в впрыске материала в литьевую форму с поступательно перемещающимся поршнем или червяком и выдержке материала под давлением в форме.

Интрузионный способ состоит в заполнении литьевой формы червяком, совершающим только вращательное движение или совместное вращательное и поступательное движения.

Инжекторно-прессовый способ заключается в заполнении не полностью сомкнутой формы литьевым или интрузионным способом. Дальнейшее формование материала происходит под действием усилия, создаваемого прессовым механизмом.

Современные литьевые машины рассчитаны на формование как очень малых изделий (масса 2 г), так и очень крупных (до 170 кг).

На рис. 3.2.14 представлена принципиальная схема литьевой машины. В бункер 2 загружается полимерный материал, который нагревается в цилиндре 6 и проталкивается литьевым плунжером вдоль корпуса. В корпусе установлена торпеда 7. Материал поступает в форсунку 8 и далее в форму, состоящую из отдельных частей и раскрывающуюся в момент удаления изделия. Литьевой плунжер 5 приводится в движение с помощью гидравлического цилиндра впрыска 3.

Литьевая машина снабжена замыкающим прессом. Кроме того, она включает аппаратуру управления отдельными параметрами цикла (температурой расплава, температурой пресс-формы, объемом впрыска, продолжительностью цикла и т. д.), вспомогательную аппаратуру, устройства, обеспечивающие безопасность работы (системы диэлектрической и механической блокировки и т. п.).

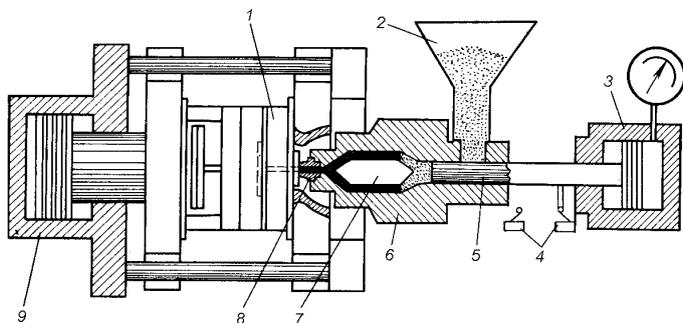


Рис. 3.2.14. Принципиальная схема литьевой машины:
 1 – форма; 2 – бункер; гидравлический цилиндр впрыска; 4 – конечные выключатели; 5 – литьевой плунжер; 6 – нагревательный цилиндр; 7 – торпеда; 8 – форсунка; 9 – замыкающий пресс.

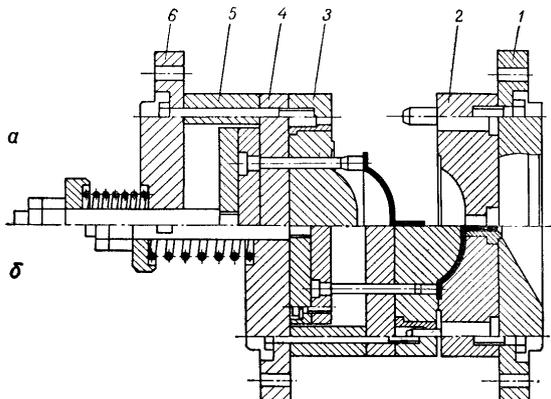


Рис. 3.2.15. Литьевая форма в раскрытом (а) и сомкнутом (б) состояниях:
 1 – неподвижный фланец; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – опорная плита;
 5 – опорные брусья; 6 – подвижный фланец.

Литьевая форма – главный рабочий орган литьевой машины. Для изделий из термопластов литьевые формы отличаются большим разнообразием конструкции. Основными деталями форм (рис. 3.2.15) являются следующие:

- установочные или крепежные фланцы – неподвижный 1, который служит для закрепления формы на неподвижной плите узла смыкания машины, и подвижный фланец 6 для закрепления формы на по-

движной плите. Фланцы имеют центрирующие выступы и отверстия или пазы, увязанные с установочной характеристикой определенной литейной машины;

- оформление детали – матрица 2 и пуансон 3, в собранном виде и при закрытой форме образующие полость, в которой формируется изделие;
- обоймы, в которых закрепляются оформляющие детали, опорная плита 4, опорные брусы 5 – вспомогательные детали формы;
- конструктивные системы: литниковые, выталкивающие и охлаждения.

2.3.2. Литевая головка и пластикатор

Литевые головки с пластикаторами бывают плунжерного и червячного типа. На рис. 3.2.16 представлена схема плунжерного пластикатора.

Для увеличения площади обогреваемой поверхности в нагревательной камере пластикатора устанавливается специальное приспособление – торпеда.

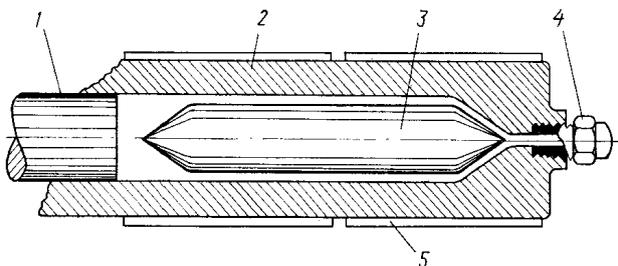


Рис.3. 2.16. Схема плунжерного пластикатора:

1 – поршень; 2 – обогреваемый цилиндр; 3 – торпеда; 4 – литевое сопло (форсунка); 5 – нагреватель.

В пластикаторах плунжерного типа нагрев материала осуществляется за счет теплопередачи от стенок цилиндра 2 и торпеды 3 к расплаву. Поэтому пластикаторы такого типа не могут обеспечить высокой температурной однородности расплава, ибо во всех случаях для создания теплого потока необходим перепад температур.

В литьевых головках с червячным пластикатором плавление – гомогенизация полимера осуществляется в червяке. На рис. 3.2.17 показана

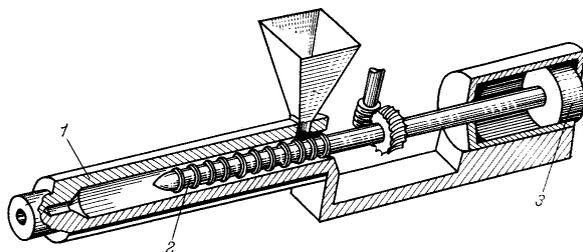


Рис. 3.2.17. Схема червячного пластикатора:
1 – материалный цилиндр; 2 – червяк; 3 – поршень.

схема червячного пластикатора с осевым перемещением червяка при впрыске. В головках такого типа впрыск осуществляется за счет осевого перемещения червяка 2 поршнем 3. Затем в течение времени, необходимого для затвердевания материала в форме, червяк пластикатора вращается и нагнетает материал в переднюю полость камеры 1, одновременно перемещаясь назад.

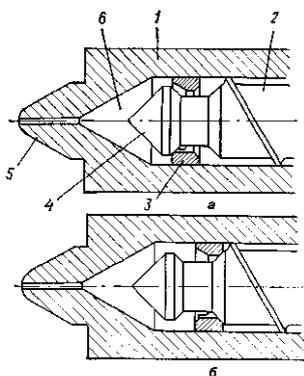


Рис. 3.2.18. Схема обратного клапана:

- a* – клапан в открытом состоянии;
- б* – клапан в закрытом состоянии;
- 1 – корпус; 2 – червяк; 3 – клапан;
- 4 – наконечник; 5 – сопло; 6 – полость головки.

При переработке полимеров, расплавы которых обладают сравнительно невысокой вязкостью (полиэтилен, полипропилен и др.), развивающимся в момент впрыска давлением расплав нагнетается не только в форму, но и в винтовой канал червяка. Чтобы предотвратить это обратное течение расплава, которое ухудшает условия дозирования и формования изделия, на конце червяка пластикатора устанавливают специальный обратный клапан (рис. 3.2.18), открывающийся под действием давления расплава и пропускающий расплав в переднюю полость 6, образуемую перед концом червяка при его отходе назад.

Для ускорения нагрева полимера в цилиндре расплав дробят на отдельные струи с помощью торпеды-рассекателя. Предпочтение следует отдавать конструкции торпеды, представленной на рис. 3.2.19, так как она имеет увеличенную поверхность нагрева и обеспечивает удовлетворительную температурную однородность расплава.

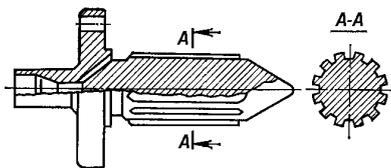


Рис. 3.2.19. Торпеда нагревательного цилиндра плунжерных пластикаторов

Работает на два ряда шариков 3 и 4, расположенных по окружности аналогично шарикам в шариковых подшипниках. Обогрев цилиндра осуществляется электрическими нагревателями сопротивления 5. Перерабатываемый полимер поступает из питателя по каналу *a* в пространство перед плунжером б, который продавливает его через нагревательный цилиндр. Проходя по наклонным пазам торпеды, материал приводит ее во вращение. Взаимное наложение поступательного и вращательного движения заставляет расплав двигаться по винтовой траектории. При этом происходит перемешивание расплава и достигается его высокая температурная однородность.

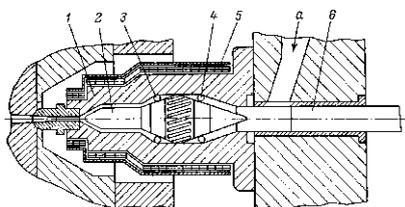


Рис. 3.2.20. Пластикатор с вращающейся торпедой:

- 1 – нагревательный цилиндр; 2 – торпеда;
- 3, 4 – шарики; 5 – нагреватели; б – плунжер.

Для повышения температурной однородности расплава применяют пластикатор с вращающейся торпедой (рис. 3.2.20).

В центре полости нагревательного цилиндра 1 устанавливается цилиндрическая торпеда-рассекатель 2, на поверхности которой профрезерованы наклонные пазы. Рассекатель опи-

рается на два ряда шариков 3 и 4, расположенных по окружности аналогично шарикам в шариковых подшипниках. Обогрев цилиндра осуществляется электрическими нагревателями сопротивления 5. Перерабатываемый полимер поступает из питателя по каналу *a* в пространство перед плунжером б, который продавливает его через нагревательный цилиндр. Проходя по наклонным пазам торпеды, материал приводит ее во вращение. Взаимное наложение поступательного и вращательного движения заставляет расплав двигаться по винтовой траектории. При этом происходит перемешивание расплава и

достигается его высокая температурная однородность.

Наконечники червяков имеют различную конструкцию (рис. 3.2.21) в зависимости от полимерных материалов. Так, для полистирола и сополимеров стирола, полиэтилена и различных сополимеров этилена применяют гладкие наконечники со смесительной торпедой (рис. 3.2.21а) и наконечники с обратным клапаном (рис. 3.2.18).

В случае переработки высококристаллических жидких пластмасс (полиамиды, поликарбонаты) не используют наконечники с обратным клапаном, для таких материалов, как полиформальдегид, используют

гладкие конические наконечники (рис. 3.2.21б), и, наконец, для пластикаторов машин, работающих в режиме интрузии, применяют конические наконечники со спиральной нарезкой (рис. 3.2.21в). В случае переработки реактопластов червяки используют наконечники со скребками (рис. 3.2.21г). Угол при вершине конуса наконечника соответствует внутреннему профилю входа в сопло и обычно составляет $40 \dots 60^\circ$. Недостатком такой конструкции является необходимость периодического удаления собирающегося между ножами соскребаемого со стенок материала, не удаляющегося из цилиндра при впрыске.

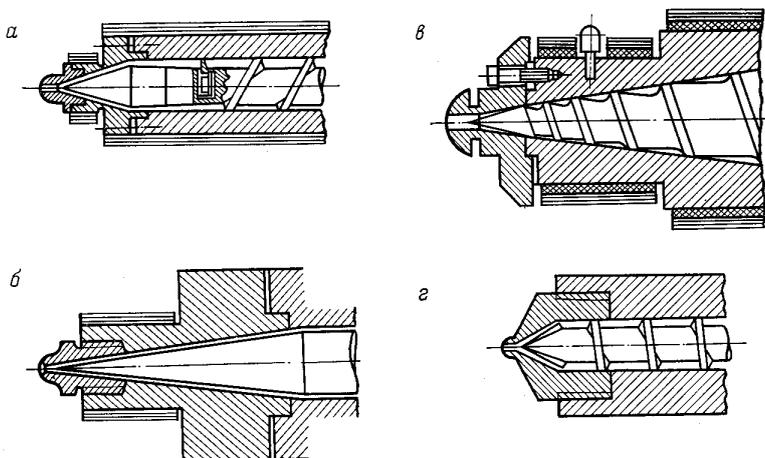


Рис. 3.2.21. Наконечники червяков:

а – гладкий со смесительной торпедой; *б* – гладкий конический; *в* – конический со спиральной нарезкой; *г* – конический со скребками.

Прессовая часть литьевой машины предназначена для смыкания и размыкания литьевой формы и создания усилия, необходимого для удержания формы в замкнутом состоянии при впрыске – формовании материала.

2.3.3. Многопозиционные машины

Такие машины имеют несколько позиций впрыска и смыкания форм и отличаются большей производительностью по сравнению с однопозиционными. В промышленности применяются револьверные, револьверно-роторные и роторные многопозиционные литьевые машины. На рис. 3.2.22 представлена схема револьверной литьевой машины.

На вращающемся столе 1 укреплено несколько форм. В позиции I форма сомкнута, и в нее подается расплавленный материал, подготовленный в инжекционном узле 2. Происходит выдержка материала под внешним давлением. После ее окончания давление формования снимается и вращающийся стол поворачивается в следующую позицию. В позиции I устанавливается другая форма и вновь производится впрыск материала в форму и т. д. В позиции VI форма раскрывается и из нее извлекается готовое изделие. Далее цикл повторяется.

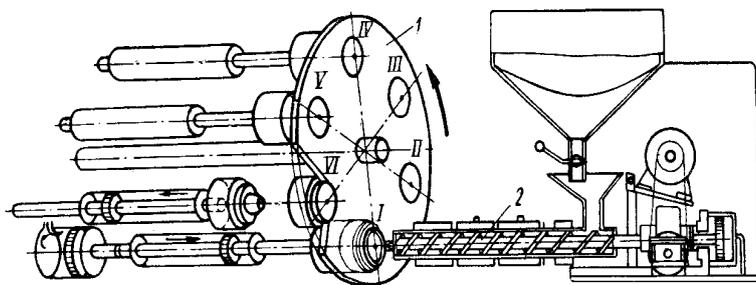


Рис. 3.2.22. Схема многопозиционной револьверной литейной машины: 1 – вращающийся стол; 2 – инжекционный узел; I–VI – позиции формования.

2.4. Прессы

2.4.1. Устройство прессов

Прессование термо- и реактопластов – это формование изделий под давлением из пресс-материалов, нагретых до пластично-вязкого состояния непосредственно в полости формующего инструмента – между матрицей и пуансоном. В течение сравнительно короткого времени пребывания в пластично-вязком состоянии к материалу прикладывается давление, действующее вплоть до окончательного отверждения расплава и оформления детали.

Прессование реактопластов – один из самых распространенных методов их переработки в изделия. В частности, прессование реактопластов осуществляется двумя основными способами: *прямым* (или *компрессионным*) и *литьевым* (или *трансферным*). При прямом прессовании (рис. 3.2.23) давление непосредственно воздействует на массу, находящуюся в полости формы. При литьевом прессовании загрузочная камера (тигель) отделена от формующей полости, которая с момента заполнения ее расплавом пресс-материала находится в замкнутом состоянии. Этот способ имеет две разновидности, особенности плунжерного литьевого

прессования показаны на рис. 3.2.24. Таким образом, отличие способов прессования заключается в конструктивных особенностях формующего инструмента. Прямому прессованию отдают предпочтение при изготовлении несложных изделий и изделий весом более 1 кг. Литьево прессование рационально применять для изготовления армированных изделий сложной конфигурации, с тонкими стенами, и для изделий, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров.

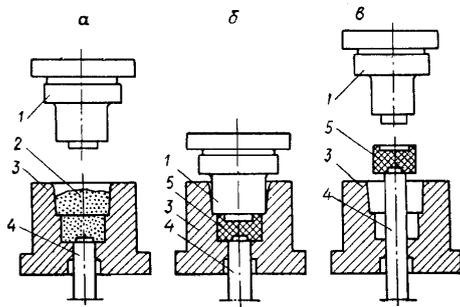


Рис. 3.2.23. Схема прямого прессования:

а – заполнение формы сырьем; *б* – формование; *в* – выталкивание изделия;
 1 – пуансон; 2 – пресс-материал; 3 – матрица; 4 – выталкиватель; 5 – деталь.

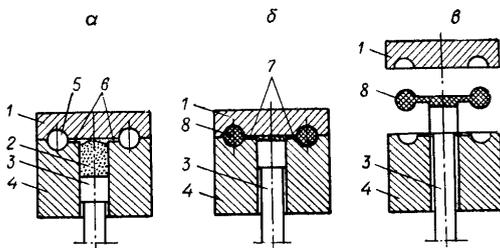


Рис.3.2.24. Схема литьевого прессования:

а – заполнение формы сырьем;
б – формование; *в* – выталкивание изделия; 1 – пуансон; 2 – пресс-материал;
 3 – поршень; 4 – матрица; 5 – гнездо формы; 6 – литниковые каналы;
 7 – литники; 8 – деталь.

Гидравлические прессы по конструктивным признакам подразделяются на колонные и рамные.

Четырехколонный одноэтажный пресс (рис. 3.2.25) состоит из замкнутой силовой рамы, образованной нижней 17 и верхней траверсами и

соединяющими их четырьмя цилиндрическими колоннами 10. Крепление колонн к траверсам осуществляется при помощи массивных гаек 4. Главный цилиндр 1 неподвижно закреплен в верхней траверсе. К плунжеру 2 главного цилиндра 1 при помощи болта 18 крепится подвижная траверса (плита) 9, которая перемещается по колонному прессу, как по направляющим. На краях подвижной траверсы укреплены штоки 19 возвратных (ретурных) цилиндров 12, закрепленных в гнездах нижней траверсы 17.

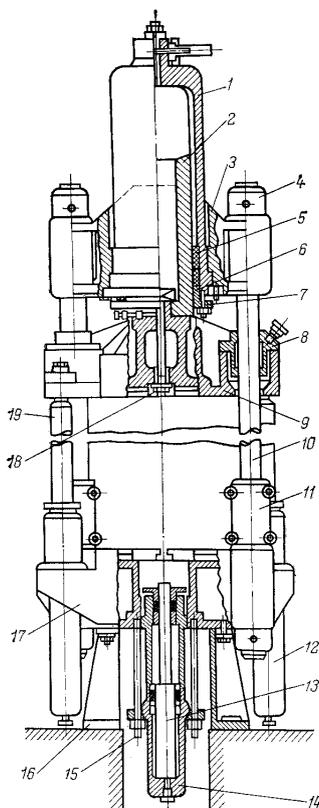


Рис. 3.2.25. Колонный пресс:

- 1 – главный цилиндр; 2 – плунжер; 3, 17 – траверсы; 4 – гайка; 5 – грундбуksа;
 6 – манжета; 7 – фланец; 8 – направляющая втулка; 9 – плита; 10 – колонна;
 11 – упор; 12 – возвратный цилиндр; 13 – дифференциальный плунжер;
 14 – цилиндр выталкивателя; 15, 16 – стойка; 18 – болт; 19 – шток.

В отверстиях подвижной траверсы запрессованы направляющие втулки 8, которые при движении траверсы скользят по колоннам. Крайнее нижнее положение траверсы ограничивается съемными упорами 11, предотвращающими выталкивание главного плунжера из цилиндра. В проточке главного цилиндра установлены грундбукса (направляющая втулка) 5 и уплотняющая манжета 6. Для защиты поверхности плунжера и манжет от попадания на них мелких абразивных частиц перед манжетами устанавливают эластичный пыльник. Манжета и пыльник удерживаются в гнезде при помощи втулки с фланцем 7.

Движение плунжера вниз (рабочий ход) происходит под давлением жидкости, подаваемой в главный цилиндр пресса. При этом полости возвратных цилиндров соединяют со сливом. Открытие пресса происходит под давлением усилия, развиваемого возвратными цилиндрами. В это время рабочую полость главного цилиндра соединяют со сливом. На поверхность стола подвижной траверсы и на опорную поверхность неподвижной обычно устанавливаются обогреваемые плиты с паровым или электрическим обогревом. Пресс-форма с подлежащим формованию материалом устанавливается на поверхность нагретой плиты, и пресс закрывается под действием давления жидкости, подаваемой в рабочую полость цилиндра. Тепло, подаваемое к материалу от горячей плиты, расплавляет его, и расплав вдавливается пуансоном в матрицу формы.

Цилиндр выталкивателя 14 укреплен в центральном окне на нижней траверсе на стойках 15. Выталкивание изделия производит дифференциальный плунжер 13, перемещающийся во время выталкивания вверх под действием давления жидкости, подаваемой в нижнюю полость цилиндра. Пресс крепится к фундаменту при помощи литых стоек 16.

На рис. 3.2.26 показан общий вид рамного гидравлического пресса с индивидуальным приводом. Пресс состоит из сварной рамы 11, главного 9 и выталкивающего цилиндров с дифференциальным плунжером 8 и 1, нижнего стола 4, подвижной плиты 7 и направляющих призм 5. Сзади пресса установлен гидропривод. Электроаппаратура управления прессом смонтирована в нижних нишах стоек пресса и герметически закрыта крышками 13. В верхней нише левой стойки пресса расположены регулируемые по высоте кулачки и три конечных выключателя 6. Остальные конечные выключатели смонтированы в нижней части рамы пресса и заблокированы с выталкивателем. На нижней панели стоек пресса установлены пульт управления 14, арматура местного освещения, манометр 10 с дроссельным вентиляем и один терморегулятор 3. Второй терморегулятор 12, регулирующий температуру пуансона пресс-формы, во избежание излишних перегибов капиллярной трубки смонтирован на подвижной плите пресса.

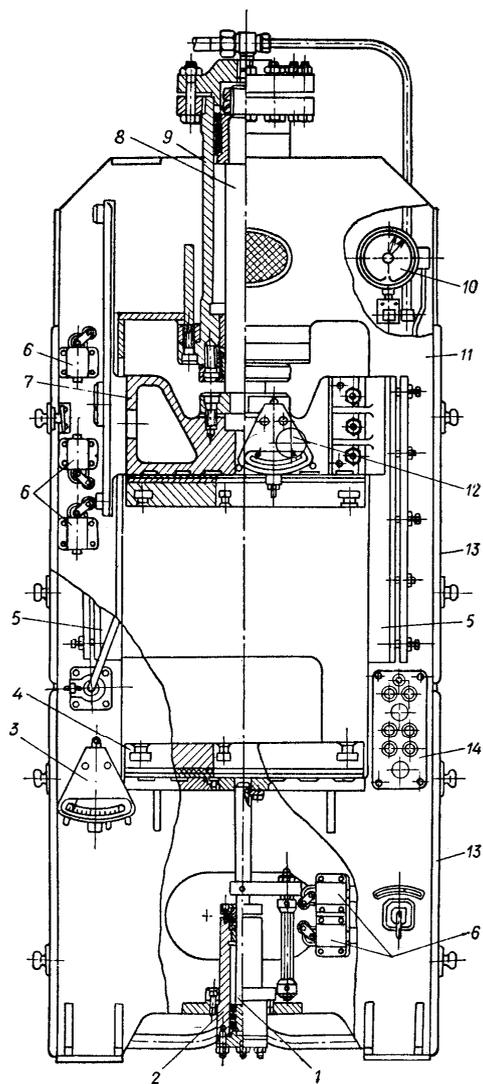


Рис. 3.2.26. Общий вид рамного гидравлического пресса:
 1, 8 – дифференциальный плунжер; 2 – выталкивающий цилиндр;
 3, 12 – терморегулятор; 4 – нижний стол; 5 – направляющие призмы;
 6 – выключатель; 7 – подвижная плита; 9 – главный цилиндр; 10 – манометр;
 11 – сварная рама; 13 – крышки; 14 – пульт управления.

Прессы работают от гидроприводов: группового (насосно-аккумуляторный) и индивидуального (насосный и насосно-аккумуляторный). В частности, групповым называют такой привод, который обеспечивает рабочей жидкостью несколько (от двух до десяти) прессов от централизованной насосно-аккумуляторной станции. На рис. 3.2.27 представлена схема группового аккумуляторного привода. Насосы 1 подают рабочую жидкость из бака 2 через управляющие дистрибуторы 5 к прессам 6 и аккумулятору 4. Во время рабочего хода пресса жидкость поступает в главный цилиндр пресса как от насосов, так и из аккумулятора 4. Во время выдержки материала под давлением насосы нагнетают жидкость в аккумулятор через клапан 3, создавая запас рабочей жидкости для следующего цикла.

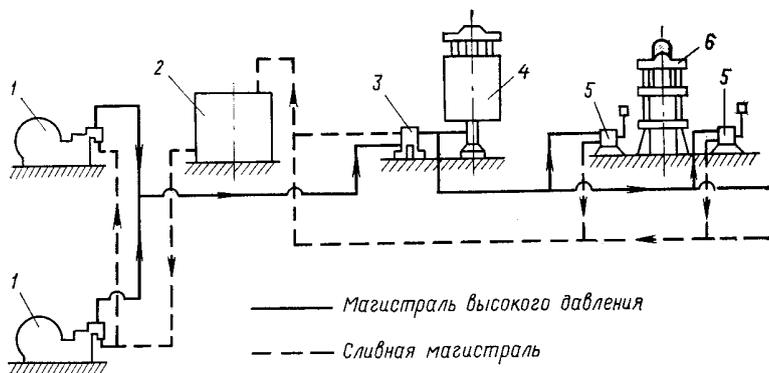


Рис. 3.2.27. Схема группового аккумуляторного привода:
 1 – насосы; 2 – бак; 3 – клапан; 4 – аккумулятор;
 5 – дистрибутор; 6 – пресс.

По принципу поддержания давления различают грузовые, пневмопоршневые, пневмобеспоршневые и пневмогидравлические аккумуляторы. Так, на рис. 3.2.28 представлена конструкция грузового аккумулятора. Он представляет собой установленный вертикально стальной гидравлический цилиндр 3 за плунжером 7, нагруженным чугунными грузами 4.

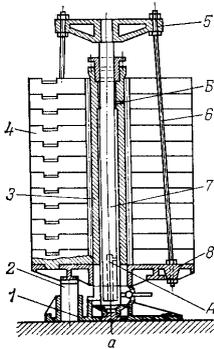


Рис. 3.2.28. Грузовой аккумулятор:

- 1 – опорная плита; 2 – упор;
 3 – гидравлический цилиндр;
 4 – грузы; 5 – крестовина; 6 – тяга;
 7 – плунжер; 8 – плита; А – каналы;
 В – отверстие.

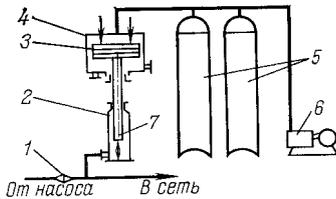


Рис. 3.2.29. Пневмопоршневой аккумулятор:

- 1 – клапан; 2 – гидравлический цилиндр; 3 – поршень;
 4 – пневматический цилиндр;
 5 – воздушные баллоны;
 6 – компрессор; 7 – плунжер.

баллонах подкачивается компрессором 6. Рабочая жидкость от насоса поступает в гидроцилиндр через обратный клапан 1, воздействуя при этом на плунжер 7, вследствие чего поршень 3 сжимает воздух в пневмоцилиндре 4 и воздушных баллонах 5. Жидкость к работающим прессам выдавливается сжатым воздухом. Недостаток установки – громоздкость.

Цилиндр установлен на опорной плите 1. На верхнюю часть плунжера посажена крестовина 5, к которой при помощи тяг 6 подвешена плита 8 с грузом. Давление, передаваемое на плунжер, регулируется количеством грузов 4. При опускании груза в крайнее нижнее положение плита опирается на упоры 2. В нижней части плунжера имеются каналы А, прекращающие его подъем путем вывода из-под него жидкости через кольцевую расточку у отверстия В в цилиндре. Грузовые аккумуляторы способны поддерживать практически постоянное давление, однако они весьма громоздки.

Пневмопоршневой аккумулятор представлен на рис. 3.2.29. Он состоит из цилиндра 4 с поршнем 3 и гидравлического цилиндра 2 с плунжером 7. Плунжер и поршень жестко связаны между собой, вследствие чего при движении плунжера в пневмоцилиндре 4 возникают резкие колебания давления воздуха, а следовательно, становится переменным и давление рабочей жидкости, поступающей к прессам. Для снижения этих колебаний увеличивают объем воздушной части путем подсоединения к цилиндру 4 воздушных баллонов 5. Воздух в баллонах подкачивается компрессором 6. Рабочая жидкость от насоса поступает в гидроцилиндр через обратный клапан 1, воздействуя при этом на плунжер 7, вследствие чего поршень 3 сжимает воздух в пневмоцилиндре 4 и воздушных баллонах 5. Жидкость к работающим прессам выдавливается сжатым воздухом. Недостаток установки – громоздкость.

На рис. 3.2.30 представлена схема беспоршневого пневматического аккумулятора. Последний состоит из баллона 1 для аккумулируемой жидкости и баллонов 2 для сжатого воздуха. Воздух в баллонах подкачивается компрессором 4 по трубопроводу 3. Вытесняемая воздухом рабочая жидкость из баллона 1 по трубопроводу 8 через клапан 9 направляется к гидравлическим прессам. Жидкость в аккумулятор поступает от насоса 6 по трубопроводу 12 через обратный клапан 10

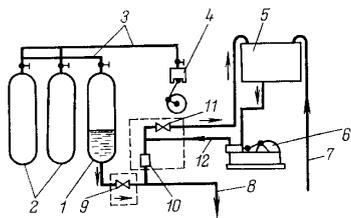


Рис. 3.2.30. Пневмобеспоршневой аккумулятор:

1, 2 – баллоны; 3, 8, 12 – трубопровод; 4 – компрессор; 5 – резервуар; 6 – насос; 7 – магистраль; 9 – клапан; 10 – обратный клапан; 11 – перепускной клапан.

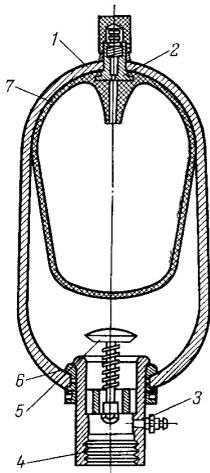


Рис. 3.2.31. Пневмо-гидравлический аккумулятор:

1 – баллон; 2, 5 – клапан;
3 – пробка; 4 – штуцер; 6 – прокладка; 7 – резиновый мешок.

клапан 10. Отработанная жидкость от прессов по магистрали 7, а также избыток жидкости от насоса через перепускной клапан 11 направляется в резервуар 5.

При работе такого аккумулятора не возникает гидравлических ударов. Недостатком этого аккумулятора является колебание давления в гидросистеме.

Пневмогидравлический аккумулятор представлен на рис. 3.2.31. Он состоит из металлического баллона 1 с резиновым мешком 7 и имеет два клапана. Один из клапанов 2 служит для подачи воздуха, а второй клапан 5 – для нагревания рабочей жидкости и удержания резинового мешка при его расширении. Для предотвращения повышения давления сверх допустимого в нижней части баллона

имеется эластичная прокладка 6, которая при достижении максимального давления выжимается из зазора и тем самым предохраняет аккумулятор от перегрузки. Пробка 3 предназначена для удаления воздуха из гидросистемы.

При работе аккумулятор в начале заполняют сжатым воздухом. При этом резиновый мешок расширяется и плотно прилегает к внутренней поверхности баллона 1. По мере нагнетания масла через штуцер 4 воздух в мешке сжимается, и объем мешка уменьшается. При падении давления в системе воздух в мешке расширяется, вытесняя масло из аккумулятора в гидросистему.

2.4.2. Аппаратура управления гидропрессами с групповым приводом

Назначение системы управления – соединять в необходимой последовательности рабочие и возвратные полости гидравлических цилиндров с источником жидкости под давлением или со сливной магистралью. В таких системах распространены различные распределительные механизмы – дистрибуторы, которые подразделяются по конструкции на крановые и золотниковые. Последние применяются при полуавтоматическом и автоматическом управлении прессом.

На рис. 3.2.32 представлен золотниковый дистрибутор. Он приводится в действие от электродвигателя 1 через реечную передачу, состоящую из шестерни 2 и рейки 3. Дистрибутор состоит из корпуса 4 и золотника 5, перемещаемого рейкой 3, зубья которой нарезаны на хвостовике шестерни золотника.

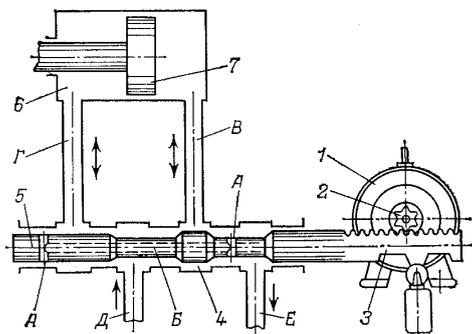


Рис. 3.2.32. Золотниковый дистрибутор:

1 – электродвигатель; 2 – шестерня; 3 – рейка; 4 – корпус; 5 – золотник; 6 – цилиндр; 7 – поршень.

Золотник имеет два вертикальных канала А, соединенных центральным каналом В. Рабочая жидкость из магистрали Д по каналу В поступает в цилиндр б и давит на поршень 7, но, так как магистраль Г перекрыта золотником, поршень не может двигаться. При перемещении золотника вправо жидкость из штоковой полости цилиндра через каналы Г,

A и *B* начнет поступать в сливную *E*, и поршень передвигается влево. При перемещении золотника влево поршень передвигается вправо.

2.4.3. Пресс-формы

Пресс-формы бывают съемными, полустационарными и стационарными.

В съемных пресс-формах отсутствуют крепления к плитам пресса, собственные нагреватели и т. д. Они применяются при мелкосерийном производстве и экспериментальных исследованиях.

Отличительными признаками полустационарных и стационарных пресс-форм являются: закрепления на плитах-прессах, существование собственных нагревателей и т. д.

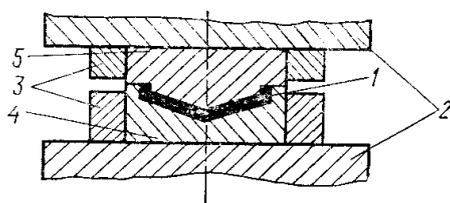


Рис. 3.2.33. Пресс-форма открытого типа:

1 – изделие; 2 – нагревательные плиты; 3 – обоймы; 4 – матрица; 5 – пуансон.

Полустационарные пресс-формы применяются для прессования изделий с резьбовыми отверстиями с металлической арматурой, а также в мелко- и среднесерийном производствах. Стационарные пресс-формы главным образом применяются в крупносерийном и массовом производствах. Съемная пресс-форма открытого типа приведена на рис. 3.2.33, а примеры полустационарной и стационарной пресс-форм – на рис. 3.2.34.

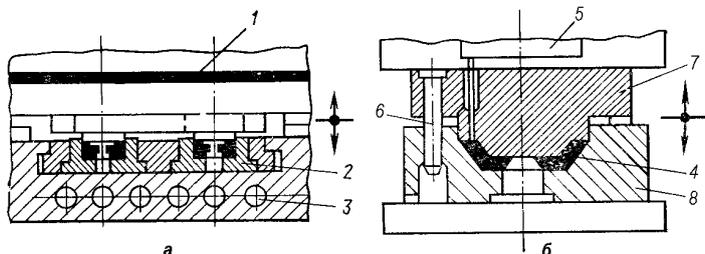


Рис. 3.2.34. Полустационарная (*a*) и стационарная (*б*) пресс-формы:

1 – теплоизоляционная прокладка; 2 – съемная кассета; 3 – каналы для нагревательных элементов; 4 – изделие; 5 – выталкиватели; 6 – направляющая колонна; 7 – пуансон; 8 – матрица.

Большинство пресс-форм для прямого и литьевого прессования имеют горизонтальные полости разъема. Для изготовления изделий с боковыми сквозными отверстиями, с резьбовыми металлическими втулками и штифтами применяют пресс-формы с вертикальной плоскостью разъема.

2.5. Оборудование для формования изделий из листовых термопластов

2.5.1. Основные методы формования из листов термопластов

Такое оборудование применяют для изготовления полых изделий. Их можно изготавливать механической вытяжкой, вакуумным и пневматическим формованием, а также комбинированными методами. Перед формованием лист термопласта нагревают до температуры высокоэластического состояния (выше температуры стеклования), а затем закрепленную по контуру заготовки устанавливают над формовочной камерой. Формование изделия происходит под действием перепада давления, создающегося между внутренней и внешними поверхностями листа.

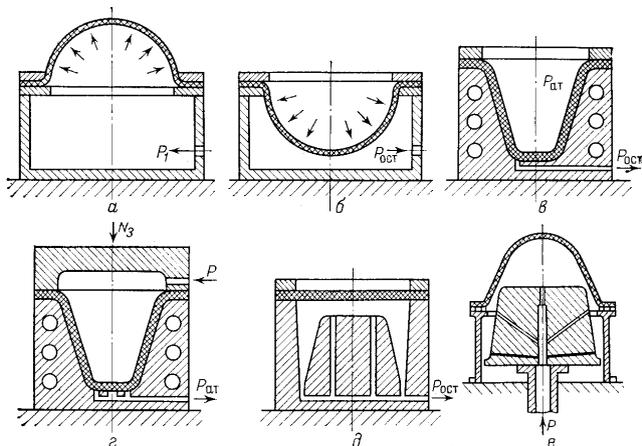


Рис. 3.2.35. Основные методы формования из листовых термопластов

Различают несколько основных методов формования, которые представлены на рис. 3.2.35. Это, прежде всего, свободное формование, при котором нагретой заготовке придают сферическую форму, создавая перепад давлений на ее поверхности (рис. 3.2.35а); негативное вакуум-формование (рис. 3.2.35б); негативное вакуум-формование с предварительной вытяжкой пуансоном, при котором нагретую заготовку вначале вытягивают при помощи специального пуансона, а затем придают

ей окончательную конфигурацию, создавая разрежения в полости формы (рис. 3.2.35в); позитивное вакуумформование, при котором нагретый лист прижимается к пуансону перепадом давления, возникающим из-за разности давления, действующих на противоположных сторонах листа (атмосферное на наружной и остаточное – на вакуумируемой) (рис. 3.2.35з); позитивное с предварительной вытяжкой воздухом (рис. 3.2.35д) и позитивное с предварительной вытяжкой пуансоном (рис. 3.2.35е).

2.5.2. Основные виды формирующего оборудования

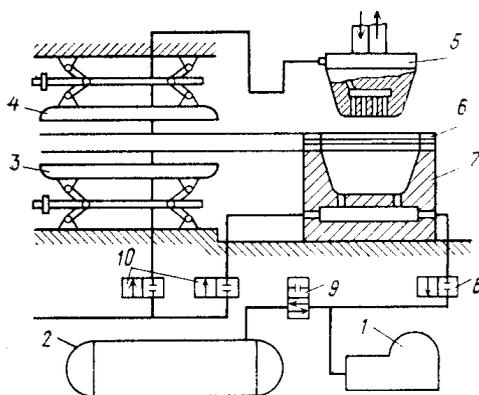


Рис. 3.2.36. Однопозиционная машина для пневмовакuumформования:
 1 – вакуум-насос; 2 – ресивер; 3, 4 – инфракрасные нагреватели; 5 – пуансон;
 6 – рамка; 7 – матрица; 8, 9 – клапан; 10 – клапанный распределитель.

На рис. 3.2.36 показана схема однопозиционной универсальной машины для пневмовакuumформования. Машина состоит из вакуум-насоса 1, ресивера 2, инфракрасных нагревателей 3 и 4, верхнего пуансона 5, рамки 6 и формы 7. Лист термопласта закладывают при работе в рамку, которую затем перемещают на позицию нагрева между нагревателями 3 и 4. Рамку с нагретым до высокоэластического состояния листом устанавливают над формой 7 и приступают к формованию. Пуансон 5 может использоваться как для предварительной механической вытяжки, так и для позитивного формования. При использовании пневматической вытяжки или формовании с воздушной подушкой к пуансону через клапанный распределитель 10 подводят сжатый воздух. Затем открывается

клапан 8, полость формы соединяется с ресивером и из нее быстро отсасывается воздух. Когда давление в ресивере и форме сравняется, клапан 8 закрывается и открывается клапан 9, соединяющий форму с вакуум-насосом 1, создающим в форме окончательное разрежение. Нагрев листа до температуры формования может осуществляться инфракрасными нагревателями, расположенными с одной или с обеих сторон нагревательного листа.

2.5.3. Многопозиционные машины ленточного и барабанного типа

Формование изделий из рулонных термопластичных материалов может производиться на многопозиционных машинах ленточного и барабанного типов.

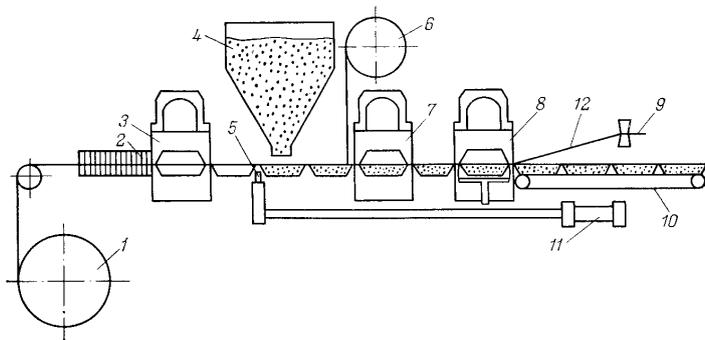


Рис. 3.2.37. Многопозиционный агрегат ленточного типа:

- 1, 6 – рулон; 2 – нагреватели; 3 – механизм формования; 4 – дозатор;
 5 – протяжный механизм; 7 – блок сварки; 8 – вырубной пресс; 9 – намоточный механизм; 10 – приемный транспортер; 11 – пневмоцилиндр;
 12 – перфорированная лента термопласта.

Машина ленточного типа (рис. 3.2.37) для производства мелкой тары состоит из раскаточной стойки, на которой устанавливается рулон перерабатываемого материала 1, блока двухсторонних нагревателей 2, механизма формования 3, дозатора 4, механизма протяжки 5, раскаточной стойки с рулоном материала для крышки 6, сварочного блока 7, на котором к заполненному контейнеру приваривается крышка, вырубного механизма 8, механизма намотки отходов 9 и приемного транспортера 10. С раскаточной стойки полотно термопласта попадает в зону нагрева, где оно останавливается и находится в течение времени, необходимого для нагрева. Затем шаговый двигатель механизма протяжки 5, приводимый пневмоцилиндром 11, перемещает ленту на один шаг, и нагретый участок

ленты попадает на позицию формования, где происходит оформление контейнеров и их охлаждение.

Лента с оформленными контейнерами подается к дозатору 4, где они заполняются жидким или сыпучим продуктом. Следующий ход механизма протяжки перемещает заполненные контейнеры в сварочный блок 7, где к ним термоимпульсной сваркой по контуру приваривается слой фольги, дублированной полимерной пленкой. На вырубном прессе 8 готовые упакованные контейнеры вырезаются из ленты термопласта и попадают на разгрузочный транспортер 10, перемещающий их в приемный бункер. Перфорированная лента термопласта 12 скатывается в рулон механизмом пометки отходов 9.

На рис. 3.2.38 показан агрегат с барабанным вакуум-формовочным устройством для формования и заполнения мелкой тары. Полотно пленки, поступающей с раскаточной стойки 1, огибая ролик 2, прижимается им к поверхности медленно вращающегося барабана 7, на котором выполнены формирующие гнезда. Попадающая на барабан пленка плотно обтягивает его, поскольку она прижимается к нему с противоположной стороны роликом 6. Двигаясь вместе с барабаном, пленка проходит под инфракрасным нагревателем 3, нагреваясь при этом до температуры формования. Дальнейшее вращение барабана приводит к тому, что отверстия в формирующих гнездах совмещаются с имеющейся на неподвижной оси 5 выточкой А, которая, в свою очередь, соединяется с вакуумной линией агрегата.

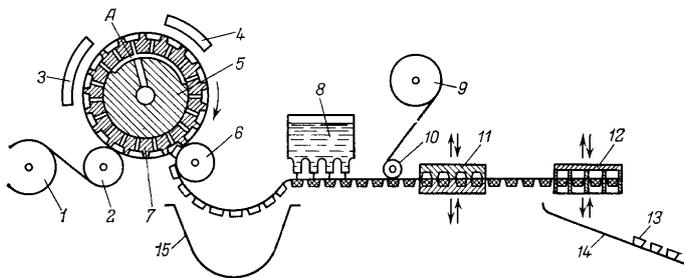


Рис. 3.2.38. Многопозиционный агрегат барабанного типа:

- 1, 9 – рулон; 2, 6, 10 – ролик; 3 – инфракрасные нагреватели; 4 – охладитель;
- 5 – неподвижная ось; 7 – вращающийся барабан; 8 – дозировочное устройство;
- 11 – сварочное устройство; 12 – вырубной пресс; 13 – готовые упаковки;
- 14 – приемный лоток; 15 – компенсатор.

Воздух из гнезд откачивается в ресивер, и атмосферное давление, вдавливая пленку в гнезда барабана, формирует контейнеры. Проходя мимо

охлаждающего воздушного душа 4, контейнеры охлаждаются, затем, огибая ролик 6, лента отделяется от барабана и поступает в компенсатор 15, в котором она свешивается длинной петлей, обеспечивающей возможность сочетания периодического смещения ее в дозировочных 8 и сварочных 11 устройствах с непрерывным вращением барабана. Дальнейшее движение ленты осуществляется движителем периодического типа, последовательно перемещающим ее к дозатору 8, где контейнеры наполняются сыпучим или порошкообразным материалом, прижимному ролику 10, прижимающему к поверхности ленты тонкую пленку дублированной фольги, поступающей с раскаточной стойки 9. Накрытая пленкой фольги лента с контейнерами попадает к сварочному устройству 11, где к контейнерам герметично привариваются крышки. Далее лента движется к вырубному прессу 12, на котором готовые упаковки 13 вырубаются из ленты и соскальзывают в приемный лоток 14.

2.5.4. Специализированные агрегаты для термоформования

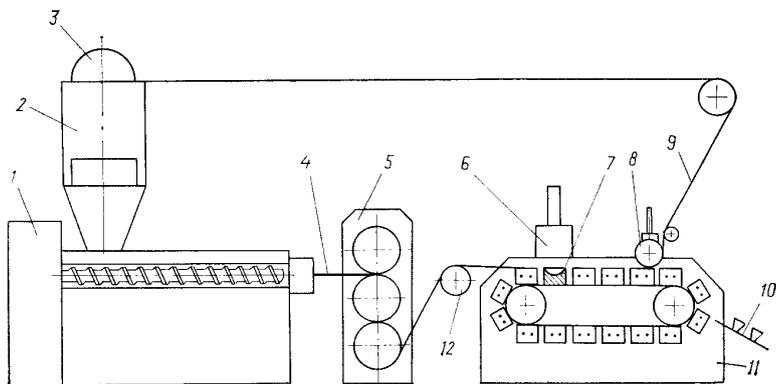


Рис. 3.2.39. Комплексный экструзионно-формовочный агрегат:
 1 – экструдер; 2 – бункер; 3 – дробилка; 4 – листовой материал; 5 – каландр;
 6 – формовочный агрегат; 7 – формы; 8 – вырубной механизм; 9 – отходы ленты;
 10 – лоток; 11 – формовочная машина; 12 – компенсатор.

При переработке полимерных материалов используются комплексные агрегаты (рис. 3.2.39), в состав которых входит экструдер 1, производящий листовой материал 4 и формовочная машина конвейерного типа 11. Питание агрегата осуществляется гранулами термопласта, поступающими из систем пневмотранспорта в бункер 2. Отформованное

полотно листа проходит через охлаждающие валки гладильного каландра 5, где температура листа снижается до температуры формования, а затем лист подхватывается цепным транспортом формовочной машины 11. Установленные на транспорте формы 7 подходят к позиции формования 6, на которой происходит формование изделия. Отформованные в матрицах изделия, двигаясь с транспортером, охлаждаются и вырубаются на позиции 8. Готовые изделия по лотку 10 соскальзывают в приемную тару, а отходы листа 9 возвращаются на повторную переработку, попадая в начале в дробилку 3, а оттуда – в бункер экструдера.

Для согласования непрерывного движения экструдированного листа с периодическим движением транспортера формующей машины агрегат снабжен компенсатором 12.

2.4.5. Оборудование для формования полых изделий методом раздува

Объемные изделия из термопластов можно изготовить тремя способами:

- склеиванием или свариванием из двух половинок, полученных литьем под давлением или вакуумформованием;
- раздуванием сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной литьем под давлением;
- раздуванием сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной выдавливанием в открытое пространство.

Первый метод не получил широкого распространения в промышленности из-за низкой производительности, остальные два широко используются для получения объемных изделий из термопластов.

Для формования полых глубоких изделий (флаконов, бутылок и т. п.) из полимерных материалов (полиэтилен и др.) используют выдувные машины. Изготовление полых изделий методом раздува осуществляется в две стадии: вначале формуют трубчатую заготовку, а затем переносят ее в форму и, раздувая заготовку сжатым воздухом, придают ей соответствующую конфигурацию готового изделия.

По способу изготовления трубчатой заготовки различают два основных метода: литьевое формование заготовки в специальной форме и свободная экструзия трубчатой заготовки. В обоих случаях окончательное формование изделия производят в охлаждаемой форме, в которую помещают нагретую до температуры высокоэластичности трубчатую заготовку, герметично закупоривают ее концы и раздувают заготовку сжатым воздухом, придавая ей конфигурацию готовых изделий.

В настоящее время наиболее широкое распространение получил экструзионно-выдувной способ формирования, при котором трубчатая заготовка экструдруется из головки экструдера в полость открытой формы (рис. 3.2.40 I). Когда заготовка достигает заданной длины, полуформы смыкаются, обжимая верхний конец заготовки по контуру формирующего горловину ниппеля. Нижний конец заготовки при этом сплющивается и герметично заваривается (рис. 3.2.40 II). Затем внутрь заготовки подается свежий воздух, который раздувает ее до соприкосновения со стенками охлаждаемой формы.

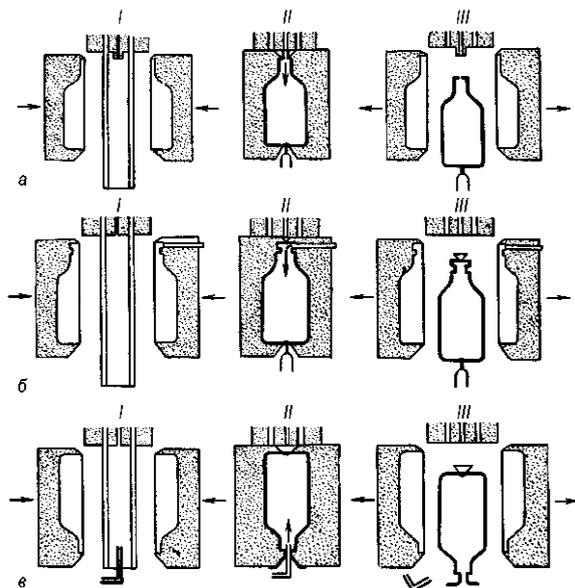


Рис. 3.2.40. Схема формирования полых изделий методом раздува:
а – подача воздуха сверху через дорн; *б* – подача воздуха через боковое отверстие в форме; *в* – подача воздуха через нижний центральный ввод;
 I – экструзия заготовки; II – раздув; III – выгрузка готового изделия.

После охлаждения изделия до температуры теплостойкости форма раскрывается и готовое изделие удаляется (рис. 3.2.40 III). Обычно сжатый воздух нагнетают в заготовку через полый дорн одновременно используемый для формирования горловины сосуда (рис. 3.2.40*а*). В некоторых случаях воздух в заготовку вводят при помощи специальной иглы, которая прокалывает стенку или доньшко заготовки (рис. 3.2.40*б*).

Кроме того, подача сжатого воздуха внутрь трубы-заготовки может осуществляться через центральную трубку снизу формы при перевернутом размещении в ней изделия (рис. 3.2.40в).

Экструзионно-выдувной агрегат состоит из трех основных частей: экструдера с головкой, предназначенного для формования одной или нескольких заготовок; выдувной машины с одной или несколькими формами; аппарата управления и систем пневмо- или гидропривода.

При изготовлении объемных изделий раздуванием из полимерных заготовок применяют формы, состоящие из двух половинок (рис. 3.2.41). Каждая полуформа 5, 13 имеет полость для формования изделия. Основным назначением формы в производстве изделий методом раздувания является оформление изделия. Однако форма выполняет и ряд других функций:

- зажим заготовки 4 пресс-кантами 3;
- калибровку горловины изделия ниппелем 8;
- регулировку направления подачи воздуха 9 для раздувания;
- заварку отверстий;
- удаление облоя пресс-кантами 1 и т. д.

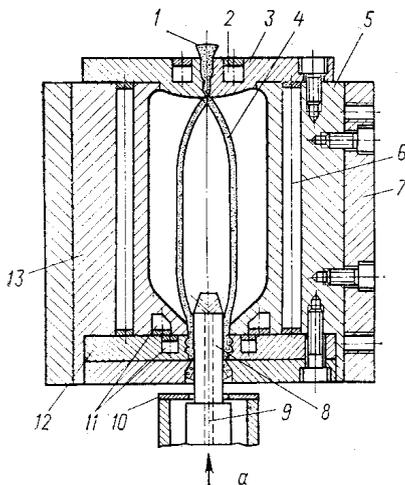


Рис. 3.2.41. Форма для изготовления объемных изделий:

1 – облой; 2, 6, 11 – каналы охлаждения; 3 – днище полуформы; 4 – заготовка; 5, 13 – полуформы; 7 – плита; 8 – риппель; 9 – канал для подачи сжатого воздуха на раздувание; 10 – съемная планка; 12 – крышка полуформы.

Качество раздуваемого изделия в значительной мере определяется конструкцией пресс-кантов и зажимных карманов. Длину пресс-кантов и объем зажимных карманов следует выбирать так, чтобы при закрывании формы не образовывалась пленка в плоскости разъема формы. Сварные кромки не должны быть острыми, их ширина выбирается в зависимости от вида перерабатываемого материала, толщины стенки изделия, величины зажимного угла, скорости и усилия запирания формы.

Зажимной карман, расположенный за пресс-кантом, образуется обеими половинами формы при их смыкании. Глубина кармана в каждой половине формы должна составлять около одной толщины стенки изделия. Применяются также формы с односторонними зажимными карманами.

2.5. Заключение

Полимеры обладают поразительно удачным сочетанием химических, физических и электрических характеристик, которые обеспечивают наиболее широкую сферу их применения по сравнению со всеми другими видами сырья, известными человечеству. Более того, способность термопластичных полимеров деформироваться при повышенных температурах и терморезистивных – до того, как произошло их отверждение, позволяет изготавливать из полимеров множество готовых изделий, имеющих иногда очень сложную конфигурацию.

Большинство методов переработки полимерных материалов заключается в формовании изделий из полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии. Главным образом это следующие методы: литье под давлением, экструзия, выдувное формование, прессование, каландрование, пневмо- и вакуумформование.

Выбор метода переработки полимеров в изделия в каждом конкретном случае определяется такими факторами, как конструктивные особенности изделия и условия его эксплуатации, технологические свойства перерабатываемого изделия, экономические факторы.

Применяемые для формования изделий технологические приемы сравнительно просты. При помощи этих методов можно достаточно быстро производить большое количество изделий высокого качества, обладающих привлекательным внешним видом. Глубокое внедрение полимеров в современную жизнь, конечно же, обусловлено не только комплексом присущих им свойств, но и многообразием известных методов формования изделий из них.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите схему экструдера.
2. Какие факторы следует учитывать при выборе экструдера?
3. Какие типы экструзионных агрегатов вы знаете?
4. Каково устройство каландров?
5. Приведите схему устройства литьевой машины.
6. Приведите способы изготовления изделий из пластмасс и их характеристики.
7. Особенности аппаратуры для литья реактопластов.
8. Сущность прямого и литьевого прессования.
9. Схема и устройство колонного пресса.
10. Классификация оборудования для прессования полимеров.
11. Приводная аппаратура для прессового оборудования.
12. Назначение и устройство пресс-форм.
13. Виды формующего оборудования.
14. Перечислите оборудование для формования полых изделий методом раздува.

Глава 3. Оборудование для завершающей обработки изделий из пластмасс

Основное назначение этой группы оборудования – придание готовым изделиям определенного внешнего вида, создание неразъемного соединения отдельных элементов изделия. Для этого применяют следующие методы:

- механическая обработка изделий;
- сварка и склейка деталей из пластмасс;
- нанесение декоративных покрытий.

3.1. Оборудование для механической обработки и отделки изделий из пластмасс

Обработка изделий из пластмасс – это комплекс технологических операций, в результате выполнения которых изделия, предварительно изготовленные формованием, приобретают окончательную форму и внешний вид, соответствующий техническим условиям. Различают собственно обработку, зачистку и отделку изделий. Остановимся кратко на них.

Обработка связана со снятием стружки на станках с целью получения требуемой конфигурации изделия, невыполнимой по каким-либо причинам при формовании, и для обеспечения определенной точности обрабатываемых элементов изделия, которая во многих случаях оказывается более высокой (2, 2е, 3 класса точности), чем достигаемая при формовании.

При зачистке с поверхности изделий удаляются неизбежно образующиеся при их изготовлении излишки материала – грат, облой. Отделка изделий предусматривает:

- восстановление первоначального состояния поверхности участков изделий, подвергавшихся механической обработке и зачистке;
- повышение чистоты всей поверхности изделия, если к последнему предъявляются повышенные требования в отношении внешнего вида;
- создание специфического качества поверхности (полимер, повышение декоративности металлизацией и т. д.).

Следует заметить, что принципиально для обработки изделий применимы любые металлорежущие станки, на которых могут быть осуществлены практически все необходимые технологические операции – точение, резбонарезание, шлифование и т. д. При этом необходимо назначить определенные режимы обработки и геометрии режущего инструмента.

3.1.1. Механизированные приспособления и станки для обработки и зачистки изделий

На рис. 3.3.1 показано горизонтально-зачистное приспособление. Оно применяется для зачистки вертикального грата и литников на наружной поверхности, а также для притирки плоскостей крупных изделий любой конфигурации из термореактивных пластмасс.

Шпиндель 1 с металлическим диском, на котором крепится шлифовальный круг 2, приводится во вращение электродвигателем 3.

Подлежащее обработке изделие прижимается к вращающемуся кругу вручную.

Для снятия фасок с плоских изделий, удаления горизонтального грата и литников, расположенных на наружной поверхности, используется шлифовальное зачистное приспособление (рис. 3.3.2).

Шлифовальный круг 1 приводится в движение с помощью электродвигателя через ременную передачу. Зачищаемое изделие 3 помещается на планку 4 стола 5 и прижимается к упору 2.

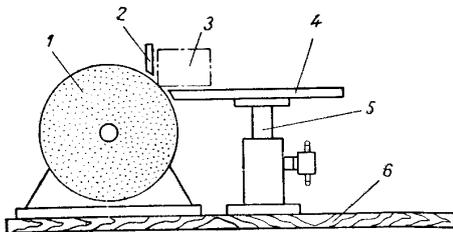


Рис. 3.3.2. Шлифовальное зачистное приспособление:

- 1 – шлифовальный круг; 2 – упор;
- 3 – зачищаемое изделие; 4 – планка; 5 – стол;
- 6 – верстак.

Широкое применение на заводах нашли сверлильные станки, которые предназначены для зачистки горизонтального и вертикального грата и удаления литников по наружному и внутреннему контуру пластмассовых изделий, а также для сверления в них сквозных и глухих отверстий.

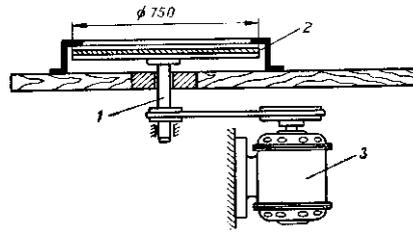


Рис. 3.3.1. Горизонтально-зачистное приспособление:

- 1 – шпиндель; 2 – шлифовальный круг;
- 3 – электродвигатель.

Принцип сверлильного станка используется во многих специальных станках и устройствах. Например, на рис. 3.3.3а показан настольный станок для одновременной зачистки или сверления семи отверстий на сферических поверхностях изделий. Изделие устанавливают на площадку 2 и при помощи рукоятки 1 поднимают его до соприкосновения сферической части с гнездом кондуктора 3. На сверла вращение передается от электродвигателя 6 через горизонтальный резиновый диск 5, который имеет фрикционное сцепление с наклонными ведомыми дисками 4.

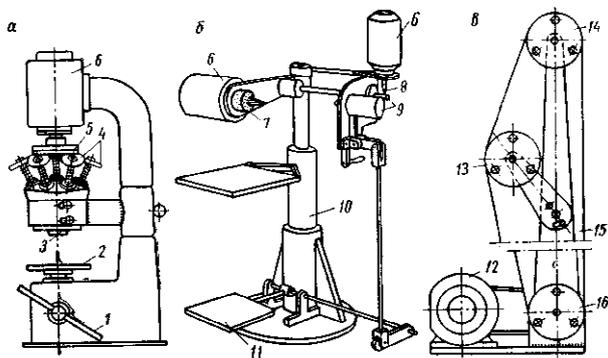


Рис. 3.3.3. Станки для механизированной обработки и зачистки изделий:
а – многошпиндельный сверлильный станок; *б* – сверлильно-фрезерный станок;
в – вертикальный ленточно-шкурочный станок;
 1 – рукоятка; 2 – площадка; 3 – кондуктор; 4 – ведомые диски; 5 – резиновый диск; 6, 12 – электродвигатель; 7, 8 – инструмент; 9 – оправка; 10 – стойка; 11 – педаль; 13, 14, 16 – барабан; 15 – наждачная лента.

Агрегат, представленный на рис. 3.3.3б позволяет на одном рабочем месте выполнять ряд операций обработки и заменяет несколько настольных станков – сверлильный, токарный, зачистной.

Электродвигатель 6 вращают инструменты 7 и 8 со скоростью до 2800 об/мин. Кронштейны электродвигателей установлены на вертикальной стойке 10. К комбинированному инструменту 7 изделие подводится вручную. Изделие, обрабатываемое фрезой или сверлом 8, вначале вручную устанавливают на одной из оправок 9, а затем с помощью ножной педали 11 через систему рычагов его подводит к инструменту. При необходимости вращение на оправки 9 может передаваться одним из электродвигателей через клиноременную передачу. В этом случае можно обрабатывать на изделиях круговой грат.

Изделия сложной конфигурации с криволинейным периметром зачистки удобно обрабатывать на ленточно-шкурочочных станках (рис. 3.3.3в). Станок состоит из электродвигателя 12, ведущего барабана 16 и ведомых барабанов 13, 14, установленных на вертикальных стойках. На барабаны натянута наждачная лента 15, натяжение которой осуществляется поворотом рычага барабана 13. Концы наждачной ленты шириной 150–200 мм склеиваются. Линейная скорость ленты – 6 м/с. Изделие перемещают относительно наждачной ленты вручную.

Для повышения производительности труда и культуры производства используют типовые универсальные рабочие места (рис. 3.3.4) или слесарные верстаки с набором средств малой механизации.

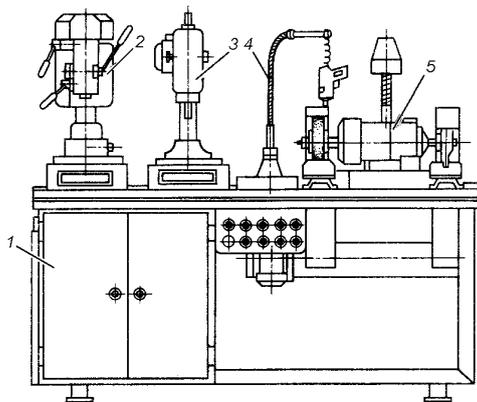


Рис. 3.3.4. Типовое универсальное рабочее место:

- 1 – стол; 2 – настольно-сверлильный станок; 3 – резбонарезной станок;
4 – бормашинка; 5 – шлифовально-отрезная головка.

В заключение отметим, что в промышленности применяются различные специализированные и универсальные станки. Наиболее эффективными являются высокопроизводительные полуавтоматические станки с непрерывной загрузкой изделия.

Рассмотрим схему автоматического станка для обработки и зачистки цилиндрических изделий, представленную на рис. 3.3.5. Обрабатываемые изделия загружают в бункер 12. При вращении подающего диска 11 изделия попадают в его гнезда 10. Из гнезда этого диска изделия перегружаются в желоб 9 и поступают в пространство между двумя рабочими дисками 6. Диски 6 вращаются в противоположных направлениях с различной скоростью, вследствие чего обрабатываемым изделиям сообщается вращательное и одновременно поступательное движение. По

мере опускания вращающихся изделий на них крутящимся шлифовальным камнем 5 обрабатывается грат. Отработанные изделия падают на лоток 4.

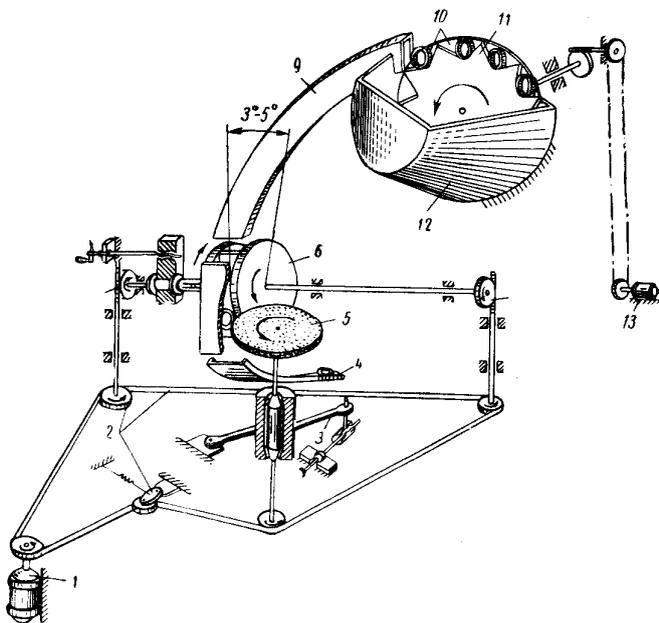


Рис. 3.3.5. Схема автоматического станка для обработки и зачистки изделий: 1, 13 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – регулирующее устройство; 4 – лоток; 5 – шлифовальный круг; 6 – рабочие диски; 7 – червячный редуктор; 8 – регулятор; 9 – желоб; 10 – гнезда; 11 – подающий диск; 12 – бункер.

Подающий диск 11 вращается электродвигателем 13 мощностью 0,2 кВт через клиноременную передачу и червячный редуктор. Привод рабочих дисков 6 и шлифовального камня 5 осуществляется электродвигателем 1 через передачу 2 и червячные редукторы 7. Зазор между рабочими дисками изменяют в зависимости от диаметра обрабатываемых изделий при помощи регулятора 8. Размер обрабатываемой на изделии фаски регулируют при помощи устройства 3.

3.2. Оборудование для сварки

Чтобы соединить детали пластмасс прибегают к сварке. При сварке соединяемые поверхности нагреваются и затем совмещаются под давлением.

Процессы сварки делят на диффузионные и химические.

Диффузионная сварка достигается в результате взаимного диффузионного проникновения макромолекул соединяемых материалов в зоне контакта. Это достигается увеличением внутренней энергии макромолекул путем их нагревания или ослабления межмолекулярного взаимодействия введением растворителя в зону сварки.

Химическая сварка достигается путем введения в зону контакта химически активного вещества по отношению к соединяемым материалам. При этом происходит химическое взаимодействие соединяемых материалов (в основном реактопластов).

Наиболее широко распространены процессы диффузионной тепловой сварки для термопластов. Диффузионная тепловая сварка подразделяется на:

- термоконтактную;
- термоимпульсную;
- газовую;
- ультразвуковую;
- сварку расплавом полимера.

Выбор метода сварки определяется свойствами полимерного материала, конструкцией свариваемых изделий, требованием, предъявляемым к сварному соединению и т. д. Все эти методы описаны ниже.

3.2.1. Термоконтактная сварка

На рис. 3.3.6 представлена схема машины для термоконтактной сварки пленочных материалов. На станине машины размещены контрольно-измерительные приборы и головка с прессующим роликом 3.

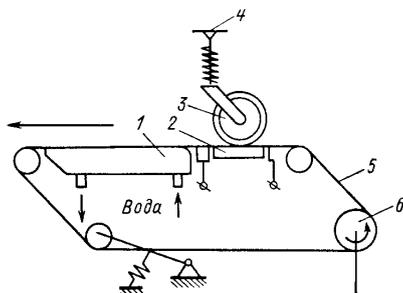


Рис. 3.3.6. Схема термоконтактной сварки пленок:

- 1 – устройство для охлаждения ленты; 2 – устройство для нагревания ленты;
3 – прессующий ролик; 4 – регулятор давления; 5 – транспортер; 6 – приводной ролик.

Усилия прижима прессующего ролика регулируется рукояткой 4. Материал с помощью ленточного транспорта 5 на приводных роликах 6

подается к устройству для нагревания ленты 2 и под прессующий ролик 3. После сварки материал охлаждается с помощью устройства 1.

3.2.2. Термоимпульсная сварка

На рис. 3.3.7 показана схема машины для термоимпульсной сварки. Свариваемые материалы 4 помещают между столом 5 и верхним сварочным электродом 3. При нажатии на рычаг 6 на электрод подается ток большой величины, что приводит к возникновению теплового импульса, который передается свариваемым поверхностям. Одновременно с этим начинает действовать реле, с помощью которого по истечении заданного времени напряжение отключается.

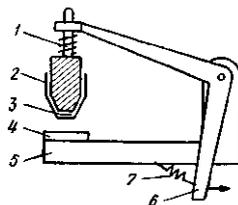


Рис. 3.3.7. Схема термоимпульсной сварки:
1, 7 – пружина; 2 – прокладка; 3 – электрод; 4 – свариваемый материал; 5 – стол; 6 – рычаг.

3.2.3. Высокочастотная сварка

Она более производительная по сравнению с вышесказанным. Машина для высокочастотной сварки пластмасс показана на рис. 3.3.8.

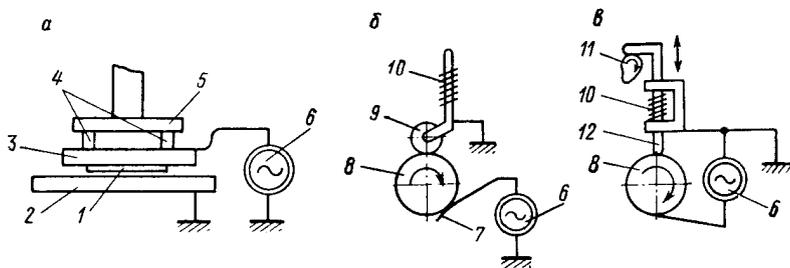


Рис. 3.3.8. Схема высокочастотной сварки:

- а – сварка по плоскости; б – роликовая сварка; в – точечная сварка;
1 – пунсон; 2 – нижний стол; 3 – электрододержатель; 4 – изолятор; 5 – верхний стол; 6 – генератор; 7 – щетка; 8, 9 – ролики; 10 – пружина; 11 – кулачок; 12 – наконечник.

Сварка по плоскости осуществляется на машине, схема которой приведена на рис. 3.3.8а. В машине на нижнем столе 2 закрепляется пунсон. На верхнем столе 5 закрепляются изоляторы 4, электрододержатель 3 и прессующий пунсон 1. Верхний стол перемещается под дей-

ствием гидроцилиндра. Свариваемый материал помещается под пуансоном *1*, к которому подается напряжение высокой частоты от генератора *б*.

При такой сварке нагревание деталей осуществляется за счет электрических потерь в свариваемых материалах. При этом тепло генерируется по всему объему материала, чем достигается равномерный его прогрев по всей толщине.

На рис. 3.3.8б показана схема машины для роликовой сварки пластмасс токами высокой частоты. Полимерный материал помещается между нижним роликом и верхним прижимным роликом *9*. К нижнему ролику от генератора *б* через щетки *7* подводится ток высокой частоты. Ролик *8* имеет привод для протяжки материала. Усилие прижима верхнего ролика регулируется пружиной *10*.

На рис. 3.3.8в приведена схема машины для точечной высокочастотной сварки. Протяжка материала осуществляется нижним приводным роликом *8*, к которому от генератора *б* через щетки подается ток высокой частоты. Прижим материала осуществляется наконечником *12*. Поступательное движение наконечника вниз достигается за счет усилия пружины *10*. Поднятие наконечника *12* производится с помощью кулачка *11*. В момент прижима наконечника *12* к материалу движение приводного ролика *8* прекращается.

3.2.4. Ультразвуковая сварка

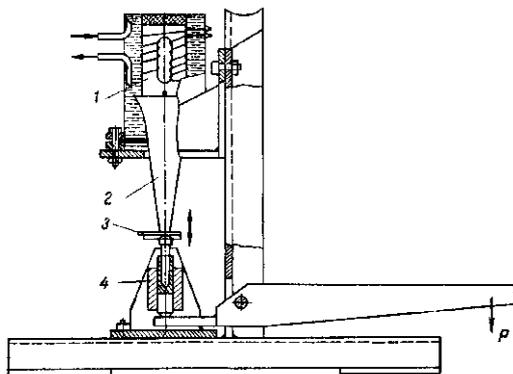


Рис. 3.3.9. Схема ультразвуковой сварки пластмасс:

1 – вибратор; *2* – волновод; *3* – свариваемый материал; *4* – отрагатель.

На рис. 3.3.9 показана схема ультразвуковой сварочной установки. Сварка заключается в обработке соединяемых частей изделий или заго-

товок звуковым колебанием большой частоты с одновременным приложением усилия в зоне контакта.

Ток высокой частоты от генератора подается на преобразователь 1, который генерирует механические колебания, передающиеся на волновод 2 и на свариваемые детали 3. Образуется акустическая цепь: волновод 2, свариваемые детали 3 и отражатель 4. В результате ультразвуковых колебаний свариваемые детали разогреваются и свариваются. Преобразователь помещается в корпус, охлаждаемом проточной водой.

3.2.5. Газовая сварка

Газовая сварка производится с помощью присадочных прутков или без них. На рис. 3.3.10 представлена схема сварочных горелок. В сварочной горелке газового типа (рис. 3.3.10а) нагрев воздуха или газа осуществляется в трубчатом змеевике 2. Воздух подается к наконечнику из канала 4, проходит змеевик 2 (который обогревается газами, поступающими в полость горелки 1 через патрубок 3), нагревается и через наконечник поступает в зону сварки.

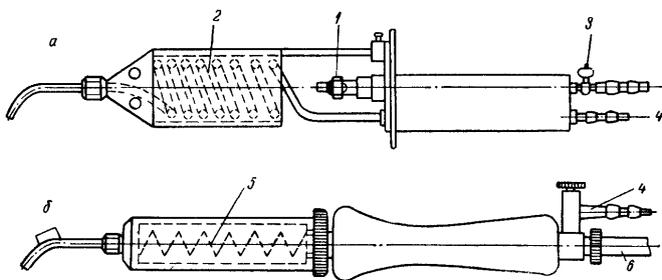


Рис. 3.3.10. Схемы сварочных горелок:

а – газового типа; б – электрического типа;

1 – горелка; 2 – змеевик; 3 – патрубок для ввода газовой смеси; 4 – патрубок для ввода воздуха; 5 – спираль сопротивления; 6 – токоподвод.

Электрическая сварочная горелка (рис. 3.3.10б) состоит из наконечника, нагревательной спирали 5 и корпуса, в котором предусмотрены каналы соответственно для подачи воздуха 4 (или газа) и подвода проводов к спирали нагревателя 6. Нагреватель включается после подачи воздуха. Поступающий холодный воздух омывает накаленную спираль и нагревается. Температура воздуха регулируется путем изменения расхода воздуха и напряжения тока, подаваемого на нагреватель.

3.2.6. Сварка расплавом полимера

Схема метода сварки расплава полимера приведена на рис. 3.3.11. Заготовки *1* помещаются в замкнутую литевную форму, которая одновременно фиксирует заготовки в требуемом положении. Затем проводится впрыск расплавленного полимера в полость *3* формы *2*, как при обычном способе литья под давлением. После охлаждения материала форма раскрывается, и полученная таким образом соединенная конструкция извлекается.

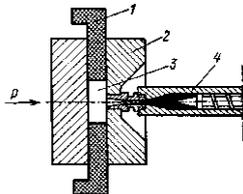


Рис. 3.3.11. Схема сварки расплавом полимера:

1 – заготовки; 2 – литейная форма; 3 – полость формы; 4 – цилиндр литейной машины.

3.3. Оборудование для нанесения покрытий

В настоящее время разработаны разнообразные способы нанесения покрытий на детали, с некоторыми из них мы познакомимся ниже. Так, например, нанесение покрытий с помощью порошков осуществляется несколькими методами, наиболее распространенными из которых являются вихревой, вибрационный, вибро-вихревой, электростатический. Выбор метода для практического использования зависит от типоразмера и конфигурации изделия, на которое наносится покрытие.

Схемы аппаратов для вихревого нанесения пластмасс приведены на рис. 3.3.12.

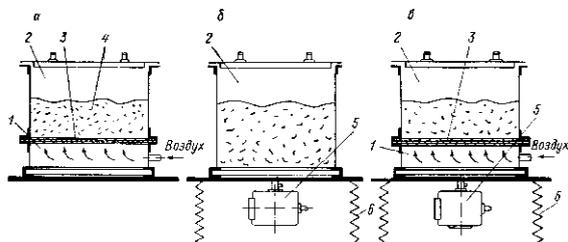


Рис. 3.3.12. Схемы пневматического (*а*), вибрационного (*б*) и пневмовибрационного (*в*) аппаратов для вихревого напыления пластмасс:

1 – поддон; 2 – резервуар; 3 – днице; 4 – материал; 5 – вибратор; 6 – пружины.

В пневматическом аппарате (рис. 3.3.12*а*) воздух под давлением 0,2...0,4 МПа подается в поддон *1* резервуара *2*, в который загружается порошок. Воздух, проходя через пористое днице *3* (войлок толщиной

30...45 мм, пористая керамика или специальный пористый поливинилхлорид), приводит полимерный порошкообразный материал 4 во взвешенное состояние. Предварительно нагретая деталь помещается в «кипящий» слой материала и в зависимости от времени пребывания в этом слое (обычно 5...10 с) покрывается пленкой различной толщины. Толщина покрытия составляет 0,2...0,8 мм.

Устройство для виброожижения порошкообразного материала (рис. 3.3.12б) состоит из вибратора 5 и резервуара 2, который заполняется порошком для покрытия. Укреплено устройство на пружинах 6.

На рис. 3.3.12в приведена схема устройства, в котором ожигание порошка достигается совместным действием вибрации и проходящего воздуха. Устройство состоит из резервуара 2 с порошком, поддона 1 и ложного днища 3, через которое в резервуар поступает воздух, вибратора 5 и амортизационно-крепежных пружин 6.

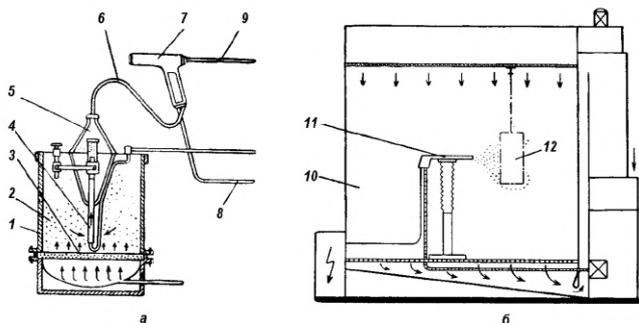


Рис. 3.3.13. Схема аппаратов для нанесения покрытий полимеров:
a – газопламенным методом; *б* – струйным методом;

1, 10 – камера; 2 – порошок; 3 – пористое днище; 4, 6, 8, 9 – шланги; 5 – жиклер; 7 – распылительный пистолет; 11 – аппарат для напыления; 12 – покрываемая деталь.

К числу наиболее распространенных бескамерных методов нанесения покрытий относятся газопламенный и струйный. На рис. 3.3.13а показан аппарат для газопламенного напыления пластмасс. Камера 1 заполняется порошком 2. Через пористое днище 3 поступает воздух, переводящий порошок во взвешенное состояние. По шлангу 4 подается сжатый воздух. Воздух проходит жиклер 5, через который захватывается порошок из емкости, и по шлангу 6 поступает в распылительный пистолет 7. В пистолет по шлангу 8 подается воздух для горения, а по шлангу 9 – горючий газ. При холоднотруйном нанесении (рис.3.3.13б) полимер в пистолете 11 не нагревается, а в виде порошка напыляется на предварительно нагретую поверхность изделия.

3.4. Заключение

Для придания полимерным изделиям законченного вида используют различные методы. Назначение этих методов – придание готовым изделиям определенного внешнего вида, создание неразъемного соединения отдельных элементов изделия. Важнейшими из этих методов являются механическая обработка изделий, сварка и склейка, нанесение декоративных покрытий.

В результате технологических операций обработки изделие, предварительно изготовленное прессованием, литьем под давлением, экструзией и т. д., приобретает внешний вид, качество поверхности, форму, предусмотренные чертежом или техническими условиями на поставку готовой продукции.

Вопросы для самоконтроля

1. Схемы оборудования, предназначенного для обработки и зачистки изделий из полимерных материалов.
2. Приведите схему высокочастотной сварки изделий из пластмасс.
3. Какие процессы протекают при сварке расплавом полимеров?
4. Охарактеризуйте оборудование для нанесения покрытий на полимерные материалы.
5. Какое оборудование применяется для газовой сварки изделий из полимерных материалов?

Заключение

Для химико-технологического образования существенное значение имеет практическое освоение студентом основ проектирования и методов расчета реакторов. Для облегчения работы в этом направлении и предлагается настоящее учебное пособие, в котором рассмотрены общие вопросы проектирования производств полимерной химии, составления материальных и тепловых балансов, расчета объемов полимеризаторов и другие вопросы.

Следует помнить, что расчет объема реактора не сводится к определению его основных геометрических размеров с целью подбора на этой основе стандартного или проектирования и заказа нестандартного оборудования. Инженерный расчет – это творческая работа, включающая определение размеров реакторов лишь как составную и, пожалуй, не самую главную часть. Он предусматривает прежде всего сравнительный количественный анализ различных вариантов технологических схем получения полимеров с применением различного оборудования. Для этого необходимы расчеты материальных и тепловых балансов, из которых определяются затраты материалов, теплоты, электроэнергии и других ресурсов. Необходим также предварительный выбор материала и конструкции и определение размеров аппаратов, что дает возможность оценить сложность изготовления, потребность в материалах и др.

Прежде чем приступить к конструированию реактора, необходимо выбрать его тип, определить его основные размеры, произвести предварительный анализ тех данных, которые непосредственно связаны с конструированием реакционной аппаратуры. Речь идет, прежде всего, о конструкционных материалах, о факторах, влияющих на конструкцию аппаратов, о деталях и узлах реакторов и вспомогательной химической аппаратуры.

Главное, что требуется от студента, – разобраться в этих вопросах на основе материалов, приведенных в данном учебном пособии и в специальной литературе.

Расчетные формулы не следует рассматривать как основной инструмент расчетов. Прежде всего надо разобраться в их выводе и оценить, насколько они пригодны для расчета предполагаемых реакторов. Следует также внимательно проанализировать приведенные в пособии задачи и их решения и только после этого приступать к конкретным расчетам в курсовых и дипломных проектах.

Выполнение курсовых и дипломных проектов, близких к реальным условиям производства, потребует от студента применения инженерных знаний, целью которых является конструирование реакционной аппаратуры. Важно уяснить, что правильное конструирование полимеризатора имеет первостепенное значение для обеспечения наилучших технологических и экономических показателей производства полимеров.

Эти и другие вопросы, связанные с конструированием химико-технологических процессов и их аппаратурного оформления, изложены в данном учебном пособии. И если оно облегчит работу студента над курсовым и дипломным проектами, поможет ему при изучении данной дисциплины, то авторы будут считать, что они не зря потратили время на написание этого учебного пособия.

Литература

1. Основная

- 1.1. В.М. Сутягин, А.А. Ляпков. Основы проектирования и оборудование производства полимеров: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2005. – 392 с.
- 1.2. Н.А. Козулин, А.Я. Шапиро, Р.К. Гавурина. Оборудование для производства и переработки пластических масс. – Л.: ГХИ, 1963. – 784 с.
- 1.3. Я.И. Гринберг. Проектирование химических производств. – М.: Химия, 1970. – 268 с.
- 1.4. С.А. Вольфсон. Основы создания технологического процесса получения полимеров. – М.: Химия, 1987. – 264 с.
- 1.5. С.С. Иванчев. Радикальная полимеризация. – Л.: Химия, 1985. – 280 с.
- 1.6. А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, Н.С. Ениколопан. Кинетика полимеризационных процессов. – М.: Химия, 1978. – 320 с.
- 1.7. Дж.А. Байзенберг, Д.Х. Себастиан. Инженерные проблемы синтеза полимеров. – М.: Химия, 1988. – 688 с.
- 1.8. П.А. Кирпичников, В.В. Береснев, Л.М. Попова. Альбом технологических схем основных производств промышленности синтетического каучука. – Л.: Химия, 1986. – 224 с.
- 1.9. В.М. Сутягин, А.А. Ляпков. Общая химическая технология полимеров: учебное пособие – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 195 с.
- 1.10. Л.Б. Зубакова, М.Е. Огнева, Г.М. Цейтлин. Методическое пособие к технологической части дипломного проекта. – М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1972. – 36 с.
- 1.11. В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков. Графическая часть курсовых и дипломных проектов: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 99 с.
- 1.12. В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков. Основы проектирования предприятий органического синтеза: методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 72 с.
- 1.13. О. Левеншпиль. Инженерное оформление химических процессов. – М.: Химия, 1969. – 624 с.
- 1.14. Н.М. Ровкина, А.А. Ляпков. Технологические расчеты в процессах синтеза полимеров. Сборник примеров и задач: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 167 с.

- 1.15. А.А. Ляпков, Е.И. Ионова. Техника защиты окружающей среды: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 317 с.
- 1.16. Л.М. Батунер. Процессы и аппараты органического синтеза и биохимической технологии. – Л.: Химия, 1966. – 520 с.
- 1.17. В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков. Оптимизация процессов химической технологии органических веществ: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 96 с.
- 1.18. Л.И. Турчак. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
- 1.19. А.Е. Мудров. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «Раско», 1991. – 272 с.
- 1.20. А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 1.21. А.А. Лашинский. Конструирование сварных химических аппаратов. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
- 1.22. Л.З. Альперт. Основы проектирования химических установок. – М.: Высшая школа, 1970. – 328 с.
- 1.23. А.Э. Генкин. Оборудование химических заводов. – М.: Высшая школа, 1970. – 352 с.
- 1.24. Г.Д. Кавецкий. Оборудование для производства пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 224 с.
- 1.25. О. Шварц, Ф. Эбелинг, Б. Фурт. Переработка пластмасс / под общ. ред. А.Д. Пониматченко. – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
- 1.26. Производство изделий из полимерных материалов: учебное пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Пониматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
- 1.27. Техника переработки пластмасс / под ред. Н.И. Басова и В. Броя. – М.: Химия, 1985. – 528 с.
- 1.28. В.Е. Гуль, М.С. Акутин. Основы переработки пластмасс. – М.: Химия, 1985. – 400 с.
- 1.29. Р.В. Торнер, М.С. Акутин. Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
- 1.30. В.С. Ким, В.В. Скачков. Оборудование подготовительного производства заводов пластмасс. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.

2. Дополнительная

- 2.1. В.М. Сутягин, В.П. Лопатинский, А.А. Ляпков. Основы проектирования и оборудование производства полимеров: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, Часть 1. – 1998. – 118 с., Часть 2. – 1999. – 114 с., Часть 3. – 2004. – 68 с.
- 2.2. С.А. Вольфсон. От колбы до реактора. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
- 2.3. Б.Е. Беркман. Основы технологического проектирования производств органической химии. – М.: Химия, 1970. – 368 с.
- 2.4. Д.А. Гуревич. Проектные исследования химических производств. – М.: Химия, 1976. – 280 с.
- 2.5. М.Г. Рудин, Г.Ф. Смирнов. Проектирование нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. – Л.: Химия, 1984. – 256 с.
- 2.6. Г.Н. Иванов. Основы проектирования и оборудование предприятий органического синтеза: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПИ им. С.М. Кирова, 1991. – 112 с.
- 2.7. Г.Н. Иванов, В.М. Сутягин. Основные методы расчета химических реакторов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПИ им. С.М. Кирова, 1986. – 89 с.
- 2.8. В.П. Перевалов, Г.И. Колдобский. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. – М.: Химия, 1987. – 288 с.
- 2.9. Реакции в полимерных системах / под ред. С.С. Иванчева. – Л.: Химия, 1987. – 304 с.
- 2.10. В.А. Кабанов, Д.А. Топчиев. Полимеризация ионизирующихся мономеров. – М.: Наука, 1975. – 224 с.
- 2.11. Н.М. Ровкина, А.А. Ляпков. Основы химии и технологии клеящих полимерных материалов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 104 с.
- 2.12. Н.М. Ровкина, А.А. Ляпков. Полимеры на основе целлюлозы и ее производных: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 128 с.
- 2.13. В.В. Бочкарев, А.А. Ляпков. Оптимизация химико-технологических процессов органического синтеза. Сборник примеров и задач. – Томск: Изд-во ТПУ, 1998. – 112 с.
- 2.14. С.А. Вольфсон, Н.С. Ениколопан. Расчеты высокоэффективных полимеризационных процессов. – М.: Химия, 1980. – 312 с.
- 2.15. С.А. Бесков. Технохимические расчеты. – М.: Высшая школа, 1962. – 468 с.
- 2.16. В.П. Будтов, В.В. Консетов. Тепломассоперенос в полимеризационных процессах. – Л.: Химия, 1983. – 256 с.

- 2.17. И.А. Грязнов, И.Г. Дигуров, В.В. Кафаров, М.Г. Макаров. Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1995. – 256 с.
- 2.18. В.О. Рейхсфельд, В.С. Шеин, В.И. Ермаков. Реакционная аппаратура и машины заводов основного органического синтеза и синтетического каучука. – Л.: Химия, 1985. – 264 с.
- 2.19. О. Флореа, О. Смигельский. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 448 с.
- 2.20. Р. Арис. Оптимальное проектирование химических реакторов. – М.: ИЛ, 1963. – 238 с.
- 2.21. В.Е. Краскевич, К.Х. Зеленский, В.И. Гречко. Численные методы в инженерных исследованиях. – Киев: Вища шк., 1986. – 263 с.
- 2.22. Х. Розенброк, С. Стори. Вычислительные методы для инженеров-химиков. – М.: Мир, 1968. – 444 с.
- 2.23. Ю.И. Макаров, А.Э. Генкин. Технологическое оборудование химических и нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Машиностроение, 1976. – 368 с.
- 2.24. Полимеризационные процессы. Аппаратурно-технологическое оформление и математическое моделирование. Сборник статей. – Л.: ОНПО Пластполимер, 1974. – 257 с.
- 2.25. Н.П. Козин. Оборудование заводов полимерной химии: учебное пособие. – Казань: КХТИ им. С.М. Кирова, 1971. – 104 с.
- 2.26. Н.П. Козин. Оборудование заводов производства полимеров. Аппараты поликонденсационных процессов: учебное пособие. – Казань: КХТИ им. С.М. Кирова, 1972. – 52 с.
- 2.27. В.К. Крыжановский, В.Н. Соколов. Оборудование для производства полимеров: учебное пособие. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1991. – 52 с.
- 2.28. И.И. Чернобыльский, Б.Ш. Хайтин. Полимеризационные аппараты. – Киев: Техника, 1968. – 164 с.
- 2.29. В.К. Завгородний, Э.Л. Калинин, Е.Г. Махаринский. Оборудование предприятий по переработке пластмасс. – Л.: Химия, 1972. – 263 с.
- 2.30. В.А. Холмс-Уолкер. Переработка полимерных материалов. – М.: Химия, 1979. – 304 с.
- 2.31. Е.А. Брачихин, С.С. Миндлин, К.Н. Стрельцов. Переработка пластических масс в изделия. – М., Л.: Химия, 1966. – 400 с.
- 2.32. З.Г. Гиберов. Механическое оборудование заводов пластических масс. – М.: Машиностроение, 1967. – 240 с.

*Владимир Михайлович СУТЯГИН,
Алексей Алексеевич ЛЯПКОВ,
Владимир Григорьевич БОНДАЛЕТОВ*

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ ПОЛИМЕРОВ

Учебное пособие

Издание четвертое, стереотипное

Зав. редакцией
естественнонаучной литературы *Н. И. Осмоловская*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com;
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, 1, лит. А.
Тел.: (812) 412-92-72, 336-25-09.
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 22.12.20.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 60×90^{1/16}.
Печать офсетная. Усл. п. л. 29,00. Тираж 30 экз.

Заказ № 1695-20.

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета
в АО «Т8 Издательские Технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.