

**В.Ф. Каблов, В.Г. Кочетков**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
УСТАНОВОК ПРЕДПРИЯТИЙ ОТРАСЛИ**

Волгоград

2017

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волжский политехнический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Волгоградский государственный технический университет»

В.Ф. Каблов, В.Г. Кочетков

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК ПРЕПРИЯТИЙ ОТРАСЛИ**

*Электронное учебное пособие*



Волгогра,  
2017

УДК 678.4(07)  
ББК 35.71я73  
К 122

Рецензенты:  
*к.т.н., технолог ООО «Комед»,  
Провоторова Д.А.  
главный технолог АО Волтайр-Пром  
Тиркашева О.В.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Каблов, В.Ф.

Основы проектирования установок предприятий отрасли [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Ф. Каблов, В.Г. Кочетков; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Электрон. Текстовые дан. (1 файл: 853 КБ). – Волгоград, 2017. Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-2759-8

В учебном пособии рассмотрены основные принципы и нормативная база проектирования современного оборудования химических производств, представлены исходные данные, необходимые для конструирования промышленного оборудования, приведена классификация основного и вспомогательного оборудования, описаны способы его защиты.

Предназначено для студентов вузов направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Технология и переработка полимеров» при изучении дисциплины «Основы проектирования установок предприятий отрасли» и 18.04.01 «Химическая технология», профиль «Технология и переработка эластомеров» при изучении дисциплины «Оборудование производств по переработке полимеров»

Ил. 14, библиограф.: 6 назв.

ISBN 978-5-9948-2759-8

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2017

© Волжский политехнический  
институт, 2017

## Содержание

Введение.....	5
1 Общие направления в проектировании оборудования химических производств.....	6
1.1 Проектирование и конструирование промышленного оборудования.....	6
1.2 Основные этапы подготовки конструкторской документации.....	9
1.3 Приемы конструирования промышленного оборудования.....	11
2 Нормативная база для проектирования оборудования.....	13
3 Исходные данные, которые необходимы при проектировании промышленного оборудования.....	14
3.1 Исходные данные для расчёта и обоснования выбора промышленного оборудования, используемого для процессов фильтрации.....	14
3.2 Исходные данные, используемые при проектировании промышленного оборудования для процессов абсорбции, перегонки, ректификации.....	15
3.3 Данные, используемые при расчете теплового и материального балансов для процессов абсорбции, перегонки, ректификации.....	16
3.4 Исходные данные, используемые при расчёте и выборе промышленного оборудования для установок выпаривания.....	17
3.4.1 Исходные данные, используемые при проектировании процессов кристаллизации.....	17
3.4.2 Исходные данные, требующиеся при проектировании технологических узлов, обеспечивающих дозировку, смешение и размол.....	18
3.4.3 Исходные данные, используемые при проектировании установок термообезвреживания кубовых остатков и промышленных стоков на химических производствах.....	19
4 Прочностные расчеты оборудования.....	21
4.1 Расчет корпусов.....	21
4.2 Тонкостенные цилиндрические обечайки.....	25
4.3 Станины, корпуса и рамы.....	32
5 Основное промышленное оборудование химических производств и его выбор.....	38
5.1 Описание и классификация машин.....	41
5.2 Общие направления в проектировании оборудования химических производств.....	42
6 Вспомогательное промышленное химическое оборудование: общее описание.....	44
6.1 Общие сведения о вспомогательном оборудовании, классификация.....	44
6.2 Ёмкости для жидкостей. Общие сведения.....	45

7	Защита оборудования химических производств .....	58
7.1	Выбор защитного покрытия и футеровок для изоляции химического оборудования .....	59
7.2	Окраска химического оборудования.....	60
8	Основные требования, которые предъявляются к промышленному оборудованию .....	63
9	Классификация процессов химической технологии .....	67
10	Общие принципы, применяемые при расчётах процессов и оборудования химической технологии.....	70
	Список рекомендованной литературы.....	79

## Введение

Отрасль химических производств обеспечивает сырьем все остальные отрасли народного хозяйства, поэтому создание современной, экологически и экономически целесообразной технологии производств химических продуктов является основной задачей химиков-технологов. К инженерам химикам-технологам предъявляются высокие требования в различных областях знаний. Именно они должны уметь выбирать наиболее приемлемые варианты производства того или иного химического продукта. Химик-технолог должен знать основы специальной технологии, особенно ее общие методы и принципы, владеть методикой экономических и экологических расчетов, так как в процессе разработки технологии необходимо оценивать различные пути синтеза химических продуктов, методы их производства, варианты технологических схем и оценивать среди них оптимальные, выбирать наиболее необходимое оборудование и надежную систему контроля и регулирования производства. Для этого он должен в достаточной мере знать основу конструирования реакторов синтеза химических веществ.

Основной задачей проектирования производств является соединение химической идеи с инженерным поиском, диктуемых экономическими, экологическими факторами. Курс «Основы проектирования установок предприятий отрасли» базируется на знаниях, полученных студентами при изучении следующих дисциплин: «Безопасность жизнедеятельности», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии», «Введение в ХТ полимеров», «Инженерная графика» и является завершающим в общехимической подготовке бакалавров.

Целью дисциплины является подготовка специалистов к эксплуатации и проектированию установок предприятий отрасли с предварительным анализом производства и безопасной эксплуатации с использованием передового опыта и последних достижений науки и техники.

# 1 Общие направления в проектировании оборудования химических производств

## 1.1 Проектирование и конструирование промышленного оборудования

Инженерным проектированием называется процесс создания определенного технического проекта. Конструкционное проектирование является одним из направлений инженерного проектирования (технического проектирования/конструирования). Результатом завершеного процесса конструирования является конструкторский проект, который создается инженером-конструктором. Конструкторский проект определяет:

- элементы изделия;
- устройство изделия;
- принцип работы изделия;
- сведения, необходимые для производства изделия, его использования, обслуживания и ремонта.

При создании современного промышленного оборудования для химических производств используют такие направления, как унификация, интенсификация, повышение надежности, эргономика и укрупнение оборудования.

*Унификация* – использование в различных отраслях химической промышленности аналогичных (очень похожих) по конструкции машин и оборудования (аппаратов). Такой подход дает возможность сделать однообразными не только какие-либо отдельно взятые детали, узлы и сборочные единицы, но и целый ряд машин и аппаратов.

Унификация химического оборудования в значительной мере облегчает не только работу на этапе проектирования машин и оборудования (аппаратов), но и еще делает более легким их изготовление и эксплуатацию. Ко всему прочему, введение унификации в значительной мере повышает эффективность их использования по назначению. К примеру, если унифицировать на химических производствах теплообменные аппараты, это позволит значительно снизить затраты на их ремонт, ТО (техническое обслуживание) и замену, а так же несколько сократит время того же ремонта или аварийного простоя. Кроме этого, унификация помогает совершенствовать методы проведения необходимых ремонтных работ, уменьшает отходы материалов и деталей и сокращает число персонала, занимающегося обслуживанием и ремонтом данных машин и оборудования (аппаратов);

*Интенсификация* – резкое повышение интенсивности и эффективности производственного оборудования в силу некоторого увеличения масштаба того или иного химического производства. Это достигается, как правило, путем преобразования технологического процесса за счет исполь-

зования более высоких температур и давления, увеличения скорости, применения более активно действующих катализаторов, положительных изменений гидравлических режимов в машинах и в оборудовании (аппаратах) и так далее. К примеру, сегодня многие российские химические предприятия уже освоили процесс синтеза таких продуктов, как аммиак, метанол, бутиловый спирт и карбамид, которые осуществляются в оборудовании (аппаратах) под давлением.

Стоит отметить, что осуществлять интенсификацию химических отечественных производств сегодня помогает так же внедрение новейших технологий, в основу которых легли плазменные, мембранные, импульсные, электронно-лучевые и другие химические и физические тонкие процессы. Например, применение плазменной технологии позволяет сложные химические реакции, которые требуют высокой температуры, давления и длительного времени, осуществлять в минимально короткие сроки.

Мембранную технологию нередко используют в промышленных системах газоразделения (для обогащения воздуха кислородом и азотом), а так же при изготовлении таких продуктов, как каустическая сода (едкий натр) и хлор. Также мембранным биполярным электролизером оснащаются новые и модернизирующиеся ртутные производства.

Импульсную технологию сегодня довольно часто применяют в промышленных измельчителях и других установках, выполняющих тонкое измельчение промышленных материалов, а так же в рукавных фильтрах и оборудовании для вакуумных систем.

Ультразвуковое воздействие получило применение в акустических фильтрах, используемых для очистки жидкостей от механических взвесей.

*Повышение надежности* – механическую надежность, бесперебойную и длительную работу химического оборудования определяют такие свойства оборудования, как прочность, жесткость, герметичность, устойчивость и долговечность. Надежность в установках химических производств очень тесно связана с температурами, давлением и агрессивностью рабочих сред, одним словом, со специфическими условиями работы производственного оборудования.

Сегодня очень важно повышать надежность современного промышленного оборудования, установок и оборудования (аппаратов), так как они нередко работают при очень высоких или, наоборот, очень низких температурах, давлениях, больших скоростях и могут обрабатывать самые различные среды, в том числе токсичные, взрывоопасные и пожароопасные.

При проектировании такого химического оборудования, как оборудование (аппараты) высокого давления, прочность и надежность ставят на первое место. Особое внимание при их создании уделяют тому, чтобы в процессе эксплуатации сосуда и внутренние устройства оборудования (аппаратов) высокого давления не нужно было вскрывать, осматривать и ремонтировать. Особенно таких действий не должны требовать агрегаты



большой единичной мощности, так как их даже небольшие простои ведут к громадным потерям выпускаемой продукции.

Еще одним немаловажным условием надежной работы химического оборудования является герметизация. Особенно важна герметичность тех машин и оборудования (аппаратов), которые работают с токсичными, взрывоопасными и пожароопасными средами, так как любая утечка из них перерабатываемой жидкости или газа в окружающую среду может привести к самым печальным последствиям – может случиться взрыв, возгорание, пожар или отравление рабочего персонала.

Избежать таких ситуаций помогает использование герметичного оборудования. Сегодня надежные и герметичное оборудование (аппараты) находят все более широкое применение в самых различных отраслях отечественной промышленности;

*Эргономика* – в связи с тем, что технологические процессы постоянно механизуются и автоматизируются, изменяя условия труда, очень важно, чтобы человеку было удобно работать с новым оборудованием. Поэтому при проектировании химических агрегатов, обязательно учитываются свойства и возможности людей, которые будут заниматься обслуживанием этого промышленного оборудования. Самыми главными элементами эргономики являются эстетические, гигиенические и физиологические требования к конструкции химического оборудования. О качестве машин, устройств и оборудования (аппаратов) нельзя судить только по их эффективности, проектируемые агрегаты не должны создавать на производстве неблагоприятные гигиенические условия труда. Управление и обслуживание оборудования должно быть максимально простым и легким. Человек не должен выполнять на химическом оборудовании слишком много операций, не должен прилагать слишком большие усилия, делать резкие движения и работать в неудобной для него рабочей позе. Производственное оборудование своим внешним видом, окраской и пропорциями должно вызывать у человека только приятные эмоции;

*Укрупнение оборудования* – в связи с тем, что сегодня многотоннажные производства все больше требуют увеличения единичной мощности химического оборудования, появляется необходимость создания укрупненных, то есть крупногабаритных машин, комбинированных устройств и совмещенного оборудования (аппаратов). Использование на производстве укрупненного химического оборудования позволяет в разы увеличить его производительность и значительно снизить все капитальные затраты и эксплуатационные расходы, так как сокращается количество машин и оборудования (аппаратов), контрольно-измерительных приборов, уменьшается протяженность производственных коммуникаций и площадей и убавляется количество рабочего персонала.

Проектировщики при создании крупногабаритного химического оборудования обязательно должны учитывать то обстоятельство, что его

нужно будет еще и транспортировать. Увеличение производительности машин и оборудования (аппаратов), как сказано выше, неизбежно ведет к их укрупнению, поэтому ранее вполне транспортабельное оборудование может стать совершенно непригодным к перевозке в готовом собранном виде, особенно это касается его транспортировки по железной дороге в силу ограниченных размеров подвижного состава.

Поэтому еще на стадии проектирования оборудования разработчики должны обязательно позаботиться о том, чтобы все отдельные части (узлы и блоки) агрегатов были транспортабельны и имели наименьшие размеры в верхней и боковой части.

## **1.2 Основные этапы подготовки конструкторской документации**

К основным этапам подготовки конструкторской документации относятся следующие пять:

- техническое задание;
- техническое предложение;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочая документация.

На стадии технического задания разработчик проекта формулирует основные требования к будущему изделию. Стадия технического предложения является первоначальным проектированием. На данном этапе проектировщик отвечает на задачи, сформулированные в техническом задании. Эскизный проект предполагает разработку документации, определяющую:

- основные параметры изделия;
- принцип работы изделия;
- чертежи вида и внутренние схемы и т.п.

В определенных случаях эскизный проект согласовывается с заказчиком и контролирующими органами.

Технический проект предусматривает разработку подробных и окончательных технических решений, которые дают подробное и полное представление об изделии. На этих данных полностью основывается рабочая документация, которая представляет собой конструкторскую документацию, необходимую для изготовления всех элементов изделия и его сборки.

### **Очередность этапов проектирования**

Проектирование оборудования и объектов более высокой иерархии начинается с технического задания, в котором заказчик излагает назначение оборудования (объекта), основные технические характеристики и особые условия. Содержание и оформление технического задания должно соответствовать установленным требованиям.

В ответ на техническое задание проектировщик готовит техническое предложение, в котором на основе анализа собранной по ТЗ информации указывает на целесообразность требований заказчика, возможные технические и технологические способы решения поставленных задач и другие предварительные итоги. Документы, оформляющие техническое предложение, обозначаются литерой «П» и согласовываются с заказчиком.

Следующий этап – эскизный проект, в котором предлагаются конструкторские и технологические решения, составляются принципиальные схемы оборудования и его важнейших узлов, готовятся масштабные макеты и модели. Документация маркируется литерой «Э», утверждается заказчиком и проходит согласование в государственных органах контроля и надзора.

После утверждения эскизного проекта начинается основная работа – техническое проектирование, в результате которого определяются и готовятся окончательные решения по таким направлениям:

Общая конструкция оборудования и его отдельных узлов с подготовкой чертежей;

Схемы основных систем оборудования – кинематика, привод, гидравлика, пневматика, электрическая схема;

Расчеты надежности оборудования и его узлов;

Оценка технологичности – требуемые для изготовления оборудования станки, оснастка, инструменты и расходные материалы;

Эксплуатационные характеристики – удобство обслуживания, контроль работы и защита оборудования, ремонтпригодность, устойчивость к внешним воздействиям и прочее;

Расчеты и оценка параметров эргономики, эстетичности, экологические показатели;

Определение уровней стандартизации и унификации оборудования и его узлов;

Составление перечня материалов и покупных комплектующих изделий с указанием их качественных и эксплуатационных характеристик;

Полное описание организации и оснащения рабочих мест для эксплуатации, обслуживания и ремонта оборудования включая требования охраны и безопасности труда;

Определение патентной чистоты, выполнение расчетов технико-экономической эффективности оборудования и другие действия, установленные техническим заданием.

Подготовленная по итогам технического проектирования документация помечается литерой «Т», утверждается и согласовывается в том же порядке, что эскизный проект, после чего становится основой для подготовки рабочей документации.

Рабочие документы (чертежи, технологические карты, спецификации) обеспечивают изготовление опытных образцов оборудования, по ито-

гам испытания которого техническая документация корректируется в меру выявленных недостатков. В этом случае документы маркируются литерой «О» с порядковым номером испытаний.

Удовлетворительные результаты испытаний опытных образцов позволяют перейти на стадию выпуска установочной серии оборудования, для которой готовится техническая документация с литерой «А». Когда изделие будет окончательно готово к полноценному серийному производству, после внесения изменений по итогам работы с установочной серией, проектная документация получает литеру «Б» для массового или литеру «И» для единичного и мелкосерийного производства.

### **1.3 Приемы конструирования промышленного оборудования**

В процессе разработки новой технологической конструкции, часто осуществляется упорядоченный поиск оптимального варианта. Данный метод состоит из нескольких этапов:

- определение параметров конструкции;
- установление параметров, которые необходимо определить при проектировании;
- определение важности цели;
- выявление зависимости переменных друг от друга;
- прогноз независимых переменных;
- определение пределов значений переменных;
- присвоение каждому фактору решения числового значения и вычисление переменного;
- выбор оптимального варианта конструкции.

Суть метода изменения линейных размеров состоит в изменении производительности оборудования пропорционально изменению всех основных размеров оборудования. Данный метод широко используется при конструировании циклонов, шнеков, вальцовых агрегатов и т.п.

Прием базового агрегата заключается в том, что базовая конструкция остается постоянной, меняются только определенные элементы конструкции. Такой метод применяется для выполнения технологических задач на барабанных агрегатах и колонной аппаратуре.

Прием конвертирования состоит в применении базовой модели для осуществления нового технологического процесса.

Метод секционирования состоит в сепарации на равные секции оборудования и создания нового типа оборудования посредством набора унифицированных секций.

#### **Подходы к конструированию оборудования**

Приступая к конструированию оборудования для химических предприятий, специалисты в первую очередь оценивают возможности использования существующих образцов машин и оборудования (аппаратов) ана-

логичного назначения в качестве отправной точки. Рассматриваются действующие варианты кинематических схем, приводов, рабочих инструментов и степень свободы принятия собственных решений (факторов решения). Простой перебор возможностей может дать слишком большое количество вариантов, поэтому следует воспользоваться принципами упорядоченного поиска, основанными на таких действиях:

Определяются факторы решения – степень свободы выбора по каждому из параметров проектируемого оборудования;

Определяются независимые переменные (параметры), которые проектировщики не могут изменить вовсе или в основном;

Устанавливают взаимосвязи между свободой выбора и независимыми переменными;

Составляют градацию по степени важности каждого технического параметра;

Выявляют ограничения по всем параметрам;

Дают экспертную оценку величинам независимых переменных для конкретных условий эксплуатации оборудования;

Обобщают полученную информацию для установления оптимальных соотношений между всеми факторами и параметрами, обеспечивающих достижение поставленной цели.

Для реализации принципа упорядоченного поиска в настоящее время используются инженерные компьютерные программы. С помощью этих технологий быстро устанавливают перспективные направления дальнейшей работы по проектированию промышленного оборудования.

Одним из наиболее быстрых способов достижения результата является конструирование по методу изменения линейных размеров. При этом подходе выбирается оборудование (аппарат) или машина аналогичного назначения, определяются параметры рабочей зоны, механизмов или инструментов для получения оборудования нужной производительности, после чего выполняется пропорциональный пересчет взятой за основу конструкции. Таким путем можно быстро подготовить проектную документацию смесителей, грануляторов, циклонов, шнековых механизмов и т. д.

Хорошие результаты дают подходы с использованием базовых агрегатов и конвертации при проектировании машин и оборудования (аппаратов) барабанного типа, когда в готовую конструкцию вносят незначительные изменения или добавляют вспомогательные устройства (механизмы). Так можно получить оборудование для переработки новых видов сырья или изменить его производительность в нужную сторону.

Секционный метод конструирования основан на разработке модулей, из которых собирается оборудование необходимой мощности и производительности. Такой подход практикуют, например, для проектирования химического оборудования по производству кислот, оборудования (аппаратов) и машин колонного типа, систем фильтрования и т. д.

## 2 Нормативная база для проектирования оборудования

Проектирование химического и любого другого оборудования производится на единой нормативно-технической базе, которая устанавливает требования к порядку разработки, содержанию и оформлению документации.

Создание эффективного оборудования невозможно без качественно подготовленной документации, для разработки которой используются единые системы стандартов для каждого этапа проектных работ:

- конструкторская документация – ЕСКД;
- технологическая документация – ЕСТД;
- защита материалов и изделий от коррозии и старения – ЕСЗКС;
- допуски и посадки – ЕСДП;
- безопасность труда – ССБТ и другие.

Кроме того при проектировании химического оборудования для работы в особых условиях должны учитываться требования «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и других регуляторных документов Госгортехнадзора. В отдельных отраслях действуют собственные нормативные документы, которыми устанавливаются дополнительные требования к технологическому оборудованию, учитывающие отраслевую или индивидуальную специфику производства.

Термин «проектирование» является наиболее широким понятием, включающим в себя конструирование, информационную и технологическую подготовку, разработку всех видов технической документации, включая ее корректировку по результатам испытаний опытных образцов оборудования. Существенной особенностью оборудования (аппаратов) и машин для химической промышленности является то, что они являются частью объектов более высокого уровня иерархии (технологических линий, производств и предприятий) с обширной инфраструктурой (инженерные коммуникации, системы защиты среды и прочее). По этой причине создание такого оборудования превращается в процесс, который называется проектирование мегакомплексов.

Конструкторская (инженерная) документация определяет составные части оборудования, принцип его работы, используемые для изготовления материалы, правила эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. Технологическая (функциональная) документация определяет правила изготовления деталей оборудования, защиту от коррозии, компоновку и монтаж машин, оборудования (аппаратов) и сопутствующей инфраструктуры и т. д.

Документация по безопасности труда предусматривает организацию и оснащение рабочих мест, правила обращения с оборудованием, меры личной и производственной безопасности, квалификационный уровень персонала и другое.

### **3 Исходные данные, которые необходимы при проектировании промышленного оборудования**

Химическое оборудование характеризуется двумя основными признаками: характером протекающего в нём процесса и достаточной общностью его конструктивных форм, применяемых материалов, используемой машиностроительной технологии.

В соответствии с данными основными признаками всю номенклатуру химического оборудования можно поделить на пятнадцать основных групп, а уже каждую группу подразделить по типам и типоразмерам.

Типовым технологическим процессом называют техпроцесс, применяемый для изготовления группы изделий, обладающих общими конструктивными и технологическими признаками. Он разрабатывается для изготовления некоторого изделия (в определённых условиях производства), которое для данной группы изделий будет являться их типовым представителем. Таким типовым представителям обычно относят изделие, для изготовления которого требуется выполнение наибольшего числа операций (основных и вспомогательных), которые характерны для изготовления всех изделий из данной группы.

Группировка изделий по исходным технологическим и конструктивным признакам – это обязательное условие для типизации техпроцессов, которые способствуют внедрению в жизнь наиболее прогрессивных, инновационных форм производства.

Основываясь на достижениях науки и техники в области инновационных технологий, применение типовых техпроцессов может сократить сроки, требуемые для промышленного освоения самых новейших изделий. Оно приводит также к рациональному использованию материальных и трудовых ресурсов, позволяет создавать банки данных, включающие исходную информацию, впоследствии применяемую при проектировании.

#### **3.1 Исходные данные для расчёта и обоснования выбора промышленного оборудования, используемого для процессов фильтрации**

Данные о характеристиках фильтруемой суспензии:

для жидкой фазы: температура кипения и кристаллизации, вязкость и удельный вес, взрывоопасность и токсичность;

для твердой фазы: химический состав, гранулометрический состав, её удельный вес; характер составляющих её частиц (аморфный или кристаллический); скорость осаждения при отстаивании;

соотношение фаз (содержание в суспензии твердой фазы);

дополнительные сведения, которые характеризуют текучесть суспензии, условия для её транспортировки по трубам.

Характеристики осадка:

склонен ли он во время вакуум-фильтрации к растрескиванию; легко ли отстаёт он от ткани; является ли он мажущимся, липким, плотным, рыхлым;

склонен ли он измельчаться в шнеках, во время транспортировки по трубопроводам;

его насыпной вес, содержание в нём жидкой фазы (в зависимости от выбранного способа фильтрации);

его состав как до, так и после промывки.

Данные о режиме фильтрации:

имеется ли необходимость выполнять водные промывки или обработку с использованием других жидкостей;

температура промывочной жидкости, её состав, рекомендации по её использованию, расход на один кг осадка;

общее время фильтрации; определённая на опытной установке длительность одного цикла фильтрации; температура фильтрации;

соображения, используемые для выбора выпускающегося промышленностью, современного фильтрующего агрегата;

какова толщина слоя осадка, получаемого на фильтре;

рекомендуемая и применяемая ткань для фильтрации, сетка или пористый материал другой природы;

рекомендуемый материал аппаратуры, применяемой для фильтрации, и как влияет на него коррозионное воздействие среды;

средства, используемые для регенерации сетки (фильтрующей ткани);

рекомендуемый режим регенерации; время, через которое она должна проводиться;

регенерационные растворы, рекомендации по их использованию.

### **3.2 Исходные данные, используемые при проектировании промышленного оборудования для процессов абсорбции, перегонки, ректификации**

Рекомендации по используемому в процессе методу разделения

Состав участвующей в процессе исходной смеси и возможный диапазон его изменения, а также состав кубового остатка и дистиллята.

Тип смеси (гетерогенная или гомогенная), характеристики раствора, с указанием отклонений от идеальной смеси:

наличие и характеристика азеотропных смесей (температура кипения и состав);

влияние рН среды, высоких температур; влияние содержания в исходном сырье примесей на стабильность отдельных компонентов и смеси в



целом; возможность образования отложений твердого вида, образования взрывоопасных продуктов

данные (для идеальных растворов) по упругости пара компонентов или парожидкостному равновесию; информация о влиянии давления на значение коэффициента, описывающего относительную летучесть ключевых компонентов смеси

вязкость и плотность компонентов, находящихся в жидком состоянии; теплоёмкость и скрытая теплота при испарении компонентов, как и вязкость смеси, находящейся в паровой фазе.

Типовые рекомендации, определяющие выбор типа конструкций для контактных устройств (насадок и тарелок).

КПД тарелки в условиях работы или высота насадки, которая эквивалентна в теории одной тарелке; составы кубового остатка, дистиллята и питания, рабочие флегмовые числа, а также общее количество теоретических тарелок

Необходимо учесть также особые требования, связанные с конструированием ректификационных агрегатов в случае выпадению твердых солей.

### **3.3 Данные, используемые при расчете теплового и материального балансов для процессов абсорбции, перегонки, ректификации.**

Исходные данные, которые необходимы при проектировании процесса сушки

Влажность продукта, поступающего на сушку в начале процесса.

Влажность высушенного продукта в конце процесса.

Консистенция обрабатываемого продукта до и после сушки (брикет, порошок, паста).

Химические и физические свойства обрабатываемого продукта до и после сушки: способность к комкованию, сводообразованию, слеживанию, налипанию; угол естественного откоса; электролизуемость и абразивные свойства, гранулометрический состав порошка (размеры частиц, истинная и насыпная плотность), химический состав; склонности продукта к самовозгоранию или разложению; температуры разложения, размягчения, сплавления.

Рекомендации по выбору типа сушилки и опытные данные по её удельной производительности по готовому продукту.

Рекомендации по оптимальному режиму сушки: выбор температуры, расчёт времени пребывания, характеристики среды, необходимое давление.

Состав загрязнений окружающей среды и рекомендации по поводу очистки выбрасываемого при сушке воздуха.

Данные, которые используются для расчета теплового и материального балансов процесса сушки.

### **3.4 Исходные данные, используемые при расчёте и выборе промышленного оборудования для установок выпаривания**

Концентрация упариваемого раствора в начале процесса.

Его конечная концентрация.

Плотность раствора при рабочих температурах и концентрациях.

Вязкость раствора при рабочих температурах и концентрациях.

Температура замерзания и кипения раствора.

Склонность упариваемого раствора к вспениванию, осмолению, разложению, etc. Рекомендации, касающиеся предотвращения данных явлений.

Условия, при которых сгущенный раствор можно транспортировать; длительность непрерывной работы оборудования (аппарата) между промывками, чистками, при минимальных расчётных отложениях осадков на поверхности теплообменников;

Может ли производиться выпарка до момента выпадения кристаллов; каково соотношение твердая фракция/жидкость при этом; свойства пульпы (скорость осаждения кристаллов, транспортабельность).

Рекомендации, касающиеся способа выделения из упаренного раствора твердых веществ.

Рекомендации, касающиеся выбора материалов для трубопроводов и самой аппаратуры.

Рекомендации, касающиеся выбора типа выпарной системы.

Рекомендации, касающиеся утилизации или обезвреживания сокового пара.

Информация о стабильности компонентов для случая их многократной рециркуляции во время производственного цикла (рециркуляция маточника).

#### **3.4.1 Исходные данные, используемые при проектировании процессов кристаллизации**

Исходные характеристики поступающего на кристаллизацию раствора:

химические и физические свойства раствора, включая растворитель и растворенные вещества: зависимость уровня растворимости смеси от температуры, зависимость плотности раствора от различного содержания

растворенных в нём веществ, зависимость теплоемкости раствора от его концентрации и температуры;

концентрация вещества, растворенного в растворе, в начале процесса.

Температура, при которой происходит процесс кристаллизации. Рекомендации по скорости охлаждения.

Для новых веществ – теплота кристаллизации.

Характеристики получаемой в процессе кристаллизации суспензии:

гранулометрический состав (размер кристаллов);

их твердость;

способность к измельчению при перекачке насосами или перемешивании.

Время, требуемое для кристаллизации, при учётом времени, необходимого для достаточного роста кристаллов, чтобы получить удовлетворительно фильтруемую суспензию.

Данные, необходимые для расчёта теплового и материального балансов процесса кристаллизации.

### **3.4.2 Исходные данные, требующиеся при проектировании технологических узлов, обеспечивающих дозировку, смешение и размол**

Химические и физические свойства компонентов, которые подаются в оборудование (аппарат), а также их смесей: угол естественного откоса, твердость, способность слеживаться, истинная и насыпная плотности, теплоёмкость, температура размягчения и плавления, сыпучесть, вязкость (для компонентов-жидкостей), сорбционная ёмкость или пористость (в случае необходимости).

Точность допустимой дозировки компонентов. Отклонения, которые допускаются от заданного для смеси соотношения. Средние относительные и абсолютные погрешности распределения в смеси её компонентов.

Физическое состояние, присущее смеси после прохождения смесителя, потребность в размоле, охлаждении.

Рекомендации по охлаждению или нагреванию смеси в технологическом процессе смешения, его оптимальный режим.

Выделяемые при смешивании пары и газы. Происходят ли при перемешивании химические процессы.

Необходимость в процессе смешения измельчать компоненты, размер частиц, получающихся после прохождения смесителя.

Рекомендации для данного процесса по типам дозатора и смесителя.

Информация о способности компонентов к размолу (хрупкость, твердость в соответствии со шкалой Мооса, налипаемость, измельчаемость, размягчаемость).

Рекомендации по выбору типов измельчителей для стадий предварительного и окончательного измельчения. Информация по рекомендуемым измельчителям о тонкости помола и производительности обработки конкретного материала.

Рекомендуемые характеристики транспортировки продуктов: скорости пневмотранспортирования, рекомендованные для каждого из материалов;

оптимальное соотношение воздуха и твердого вещества;

существует ли необходимость перед подачей в пневмопровод предварительно разрыхлить продукты;

тип питателя;

наличие возможности в процессе пневмотранспортировки образования взрывоопасных концентраций и статистического электричества;

Какой вид тары рекомендуется при расфасовке готовой продукции.

### **3.4.3 Исходные данные, используемые при проектировании установок термообезвреживания кубовых остатков и промышленных стоков на химических производствах**

Вид кубовых остатков или промышленных стоков, которые подаются для обезвреживания:

суспензия, раствор;

щелочные, кислые, нейтральные;

их склонность к полимеризации;

можно ли транспортировать их по трубам и какие насосы рекомендуется выбрать;

удельный вес, теплоёмкость, теплопроводность, вязкость;

состав исходных продуктов.

Физико-химические свойства твердого осадка: температуры кипения, плавления, затвердевания, возгонки, разложения, растворимость в воде.

Товарный вид (в случае дальнейшего использования), ГОСТ, ОСТ, ТУ.

Возможный состав продуктов, которые образуются при термообезвреживании кубового остатка или раствора.

Коррозионные свойства кубового остатка или раствора, а также рекомендуемый выбор материалов и средств для перекачки.

Наличие токсичности исходных соединений и вновь образующихся, кубовых остатков, растворов и продуктов, которые получены в результате термообезвреживания.

Данные, используемые при проектировании электролитических процессов

Характеристика поступающего на электролиз электролита.

Химические и физические свойства раствора (теплоемкость, электропроводность, растворимость, плотность, etc).

Характеристика жидких и газообразных продуктов, получаемых при электролизе (теплоемкость, растворимость, плотность, взрывоопасные концентрации, токсические свойства).

Рекомендации по конструкции электролизера, основанные на проведении комплексных испытаний (напряжение, выход по току, сила тока, плотность тока, оптимальный температурный режим, диафрагмы, конструктивные материалы для катодов и анодов, установочные чертежи электролизера).

Рабочие инструкции по производству монтажа и эксплуатации электролизера, включая инструкции по пуску и остановке процесса.

Основные положения по электробезопасности и общей технике безопасности.

Графики зависимости показателей электролитического процесса от плотности тока (выход по току, вольтаж, расходы материалов, etc), чтобы иметь возможность в конкретных экономических условиях выявить оптимальный режим работы.

Расчётные удельные расходные коэффициенты.

Инструкции, касающиеся ремонта электролизеров, как и рекомендации по проектированию ремонтных мастерских (анодная мастерская, замена диафрагм, запивка стержней, пропитка, etc).

Перечень мероприятий, обеспечивающих борьбу с токами утечки, необходимую при взятии проб, прокладке трубопроводов, etc.

Рекомендации по выбору материалов и арматуры для трубопроводов.

Рекомендации по выбору приборов контроля, дистанционного управления, регулирования, местным и вынесенным на щиты, etc.

## 4 Прочностные расчеты оборудования

### 4.1 Расчет корпусов

Расчет на прочность корпусных элементов, подверженных силовым нагрузкам, выполняют в соответствии с расчетной схемой. В тех случаях, когда деформация корпуса под действием нагрузок может повлиять на показатели качества агрегата, нужно обязательно выполнить расчет на жесткость, сопоставляя передвижение определенных точек с допускаемыми. В соединениях составных корпусов, которые не подвергаются нагрузкам, то есть являются ненагруженными, расчет болтовых соединений не производят; выбор диаметра, шага и материала болтов делают по данным, применяемым на практике. Важно добиться такой силы затяжки, чтобы напряжение в болте было  $(0,5 - 0,6)\sigma_{0,2}$ .

Что касается циклически нагруженных соединений составных корпусов, в число которых входят головки шатунов, соединения крышек с корпусами пневмо- и гидроцилиндров, то болты в них для надлежащей работы стыка должны быть изначально затянуты с такой силой ( $P_3$ ), которой бы хватало для того, чтобы после приложения рабочего усилия ( $P_p$ ) в стыке оставался натяг  $P_0 \neq 0$ , не допускающий раскрытия стыка, потери герметичности, жесткости системы, а в самом стыке – наклепа и смятия его поверхностей, а также контактной коррозии. Расчет на прочность болтов (стяжных шпилек) выполняют по суммарному усилию, которое появляется после приложения рабочей нагрузки, а расчет на прочность корпусов – по усилию затяжки. В материале болтов (шпилек) и корпуса при этом возникают напряжения:

$$\sigma_b = \frac{P_0 + P_b}{F_b}; \quad \sigma_k = \frac{P_3}{F_k},$$

где  $F_b$  и  $F_k$  – площадь соответственно сечения болтов и элементов корпуса.

Коэффициенты асимметрии циклов, которые определяют циклическую прочность болтов и корпуса:

$$r_b = \frac{P_3}{P_0 + P_b}; \quad r_k = \frac{P_0}{P_3},$$

В том случае, когда значения  $r_b$  и  $r_k$  превышают 0,6, влияние пульсаций на циклическую прочность, практически, полностью исчезает.

Усилие первоначальной затяжки при известных  $P_0$  и  $P_p$

$$P_3 = P_0 + \frac{P_p}{1 + \frac{E_b \cdot P_b}{E_k \cdot P_k}},$$

где  $E_b$  и  $E_k$  – модуль продольной упругости соответственно болтов и самого корпуса.

В случаях, когда болты и корпус машины работают при других температурах  $t_b$  и  $t_k$ , чем была температура  $t_0$  монтажа, а сами они были изготовлены из материалов с различными значениями температурного коэффициента линейного расширения ( $\alpha_b \neq \alpha_k$ ), то возникает сила

$$P_1 = \frac{\alpha_k(t_k - t_0) - \alpha_b(t_b - t_0)}{\frac{1}{E_b \cdot P_b} + \frac{1}{E_k \cdot P_k}},$$

которую при расчетах нужно суммировать с усилием первоначальной затяжки  $P_3$  и остаточным натягом  $P_0$ . В данном случае:

$$P'_3 = P_3 + P_1,$$

$$\alpha_b = \frac{P_0 + P_1 + P_p}{F_b}$$

и

$$\alpha_k = \frac{P_3 + P_1}{F_k}.$$

Точно так же изменяют формулы для расчета коэффициентов асимметрии  $r_b$  и  $r_k$ .

#### Крепление корпуса на фундаменте

Оборудование на фундамент можно устанавливать, используя металлические пакеты 3, у которых есть и еще одно назначение - регулирование положения агрегата. Суммарная площадь опоры подкладок должна минимум в 15 раз быть больше суммарной площади сечения болтов фундамента. После того, как была произведена затяжка фундаментных болтов, зазор между подошвой корпуса (нижним фланцем) оборудования и самим фундаментом заполняют подливкой из бетона, марка которого должна быть не ниже, чем марка бетона фундамента. Предпочтительно применять какой-либо из бесподкладочных способов опирания, к примеру, с использованием установочных болтов, которые предназначены для регулирования положения агрегата.

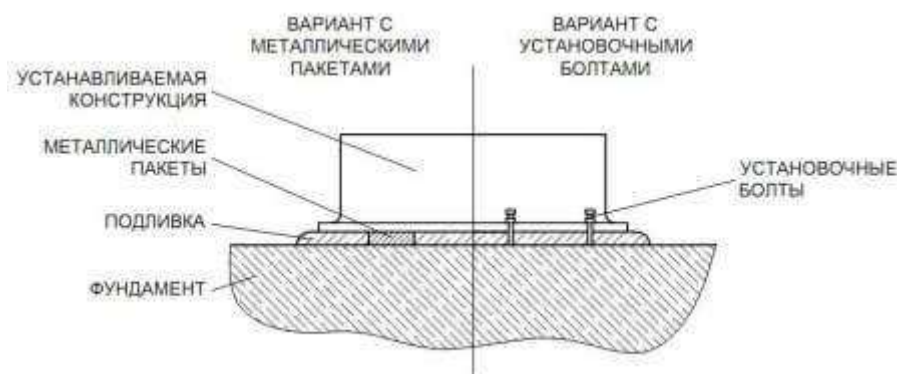


Рисунок 1 – Крепление корпуса на фундаменте

Произведя затяжку фундаментных болтов, зазор заполняют бетоном, марка которого должна быть на одну позицию выше, чем марка бетона фундамента. Еще один вариант бесподкладочной установки – непосредственное опирание корпуса, применяют, главным образом, для малогабаритных машин и оборудования (аппаратов).

Болты для крепления технологического оборудования к фундаменту по условиям эксплуатации делятся на:

конструктивные – служат для надежной фиксации машин или оборудования (аппаратов) на фундаменте во избежание их опрокидывания или смещения; устойчивость оборудования обеспечивается собственным весом агрегата;

расчетные (силовые) – воспринимают нагрузки, возникающие при работе агрегата.

Методика расчета фундаментных болтов, которые в профессиональной среде еще называют анкерными, определена специальной инструкцией. Она основана на соблюдении обязательного условия нераскрытия стыка в системе «машина-фундамент» и предусматривает обязательную проверку фундаментных болтов по пределу выносливости.

Существует несколько способов установки фундаментных (анкерных) болтов, наиболее распространенный из них – установка болтов непосредственно в массив фундамента (так называемые, глухие болты). На рисунке ниже изображен соответственно изогнутый болт (ГОСТ 24379.0) и болт с анкерной плитой (ГОСТ 24379.1), при применении которых монтаж агрегата возможен только «сверху». Рекомендованы следующие соотношения между диаметром ( $d$ ) болта, глубиной ( $H$ ) его заложения, шагом ( $s$ ) и расстоянием ( $l$ ) от края фундамента: для изогнутого фундаментного болта  $H \geq 25d$ ,  $s \geq 6d$ ,  $l \geq 3d$ ; для болта с анкерной плитой  $H \geq 15d$ ,  $s \geq 10d$ ,  $l \geq 6d$ . Крепление корпуса оборудования к фундаменту с использованием составного болта позволяет выполнить монтаж агрегата, с так называемым, «надвигом», что существенно снижает трудоемкость данного процесса.



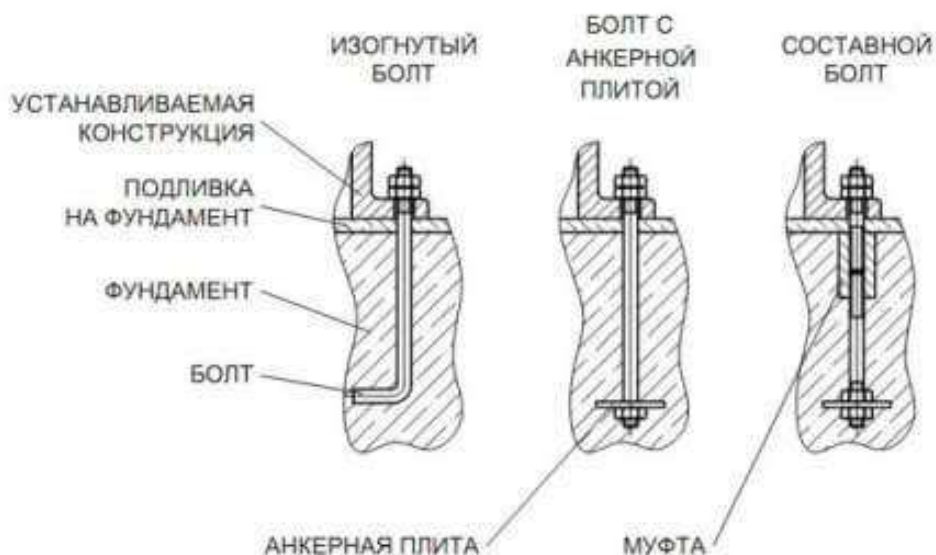


Рисунок 2 – Способы установки фундаментных болтов

Съемный фундаментный болт (шпилька) устанавливают в массив фундамента с изолирующей трубой ( $H \geq 15d$ ,  $c \geq 10d$ ,  $l \geq 6d$ ). Данные болты, как правило, используют для крепления к фундаменту тяжелого технологического оборудования с динамическими нагрузками. При этом конструкция фундамента должна обеспечивать беспрепятственный доступ к болту снизу.

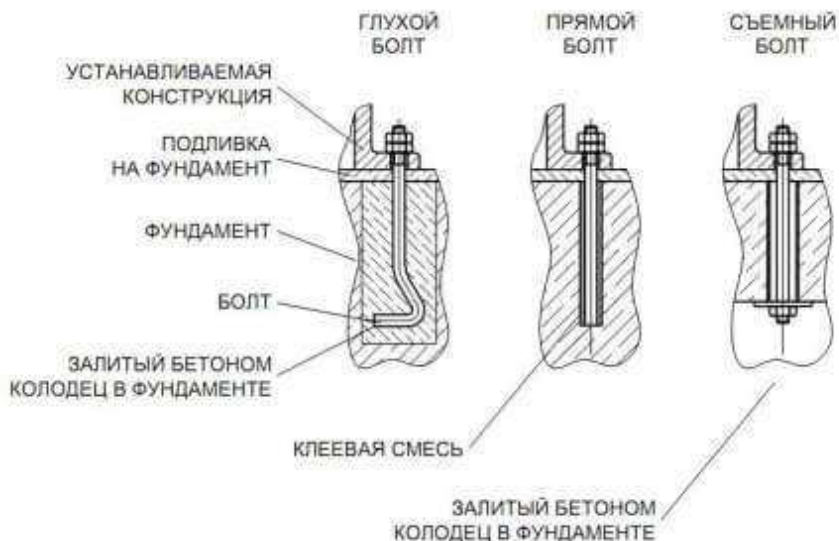


Рисунок 3 – Виды фундаментных болтов

Прямой фундаментный болт устанавливают в просверленную в теле фундамента скважину, закрепляя на эпоксидном клее ( $H \geq 10d$ ,  $c \geq 5d$ ,  $l \geq 5d$ ). Глухой фундаментный болт устанавливают в колодце. Последний

применяют лишь в тех случаях, когда установка болта в просверленную в теле фундамента скважину в силу каких-то причин невозможна.

## **4.2 Тонкостенные цилиндрические обечайки**

Сосуд представляет собой некую конструкцию с внутренней полостью для ведения различных (химических, тепловых и так далее) технологических процессов, а также для хранения и транспортировки всевозможных (жидких, газообразных) сред.

Аппарат представляет собой сосуд, оснащенный внутренними узлами, устройствами и контрольно-измерительными средствами, основное предназначение, которого – проведение химико-технологических процессов.

При разработке сосуда или оборудования (аппарата) очень важно добиться того, чтобы он был технологичным и надежным в течение всего срока службы. Также необходимо обеспечить безопасность при его изготовлении, установке, эксплуатации и ремонте, предусмотреть возможность осмотра (включая внутреннюю поверхность), очистки, продувки, промывки и ремонта, контроля технического состояния сосуда при проведении диагностики, а также контроля отбора сред и давления.

Любой из аппаратов наряду с присутствием у него специальных устройств, состоит, как правило, из цилиндрического корпуса, днища, крышки, люков, опор, фланцев, штуцеров и строповых устройств.

У стального цилиндрического оборудования (аппаратов), корпуса которых изготавливают из листового проката, базовым принято считать именно внутренний диаметр, который выбирают из следующего ряда (в миллиметрах): 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400 и так далее. Промежуточные диаметры: 450, 550, 650, 1100, 1300, 1500, 1700, 1900 используют исключительно для рубашек оборудования (аппаратов). Что касается стального оборудования (аппаратов), корпуса которых выполняют из металлических труб, то за базовый диаметр у них принято принимать именно внешний диаметр, который выбирают из следующего ряда (в миллиметрах): 133, 159, 168, 219, 273, 325, 377, 426, 480, 530, 630, 720 и так далее.

Каждое из внутренних устройств, которое затрудняет или делает невозможным осмотр других частей и узлов оборудования (аппарата), обязательно должно быть съемным. Рубашки для наружного обогрева или охлаждения допускается делать приварными. Оборудование (аппараты) должны быть оснащены люками-лазами для внутреннего осмотра, расположенными в удобных и легкодоступных местах. Если у оборудования (аппарата) имеются съемные крышки или днища и фланцевые штуцера большого диаметра, то наличие люков-лазов в агрегате не обязательно.

Неустойчивое оборудование (аппараты) должны иметь специальные приспособления, не допускающие самопроизвольного опрокидывания.

Чтобы была возможность проводить гидроиспытания, оборудование (аппарат) должен быть оснащен штуцерами для наполнения и слива жидкости, а также для подачи и удаления воздуха. Для данной задачи допускается использование и технических штуцеров. Эти штуцера на вертикальном оборудовании (аппаратах) должны располагаться таким образом, чтобы предоставлялась возможность проводить гидроиспытания в горизонтальном положении агрегата. Во всех глухих внутренних элементах и частях сборочных единиц необходимо предусмотреть дренажные отверстия для полного удаления жидкости, размещая их в самых низкорасположенных местах.

На оборудовании (аппарате) для его подъема и установки должны присутствовать строповые устройства. Для этих же задач допускается использование элементов оборудования (аппарата) (к примеру, уступов, горловин, технических штуцеров и прочих), при условии, что их прочность для этого достаточна (проверяется расчетом).

В оборудовании (аппаратах) все сварные соединения (к примеру, соединения обечаек и труб, днищ и обечаек, люков и штуцеров с корпусом и так далее) должны выполняться с применением стыковой двухсторонней сварки или приварки и быть обязательно доступными для контроля и осмотра. Рекомендуется применять автоматическую электродугую сварку под слоем флюса. В местах, где опоры присоединяются к оборудованию (аппарату), сварные швы недопустимы. Если все же под опорой без сварного шва не обойтись, то необходимо обеспечить возможность его контроля.

Чтобы избежать перегрева сварных швов и не допустить снижения их качества, нужно выполнить смещение швов относительно друг друга на расстояние  $a \geq 3 \cdot s$ , где  $s$  – толщина стенки элемента оборудования (аппарата), но не меньше, чем на 100 миллиметров (см. рис. 4). Не стоит одним швом соединять сразу несколько деталей оборудования (аппарата).

Отверстия для люков-лазов и штуцеров необходимо выполнять за пределами сварных швов, отступ от них должен составлять  $b \geq 0,9d$  (см. рис.). Между двумя соседними отверстиями рекомендуется соблюдать расстояние  $A \geq 0,7 (d_1 + d_2)$ , а для днищ штампованных эллиптических –  $b \geq d_{\min}$  (см. рис.).

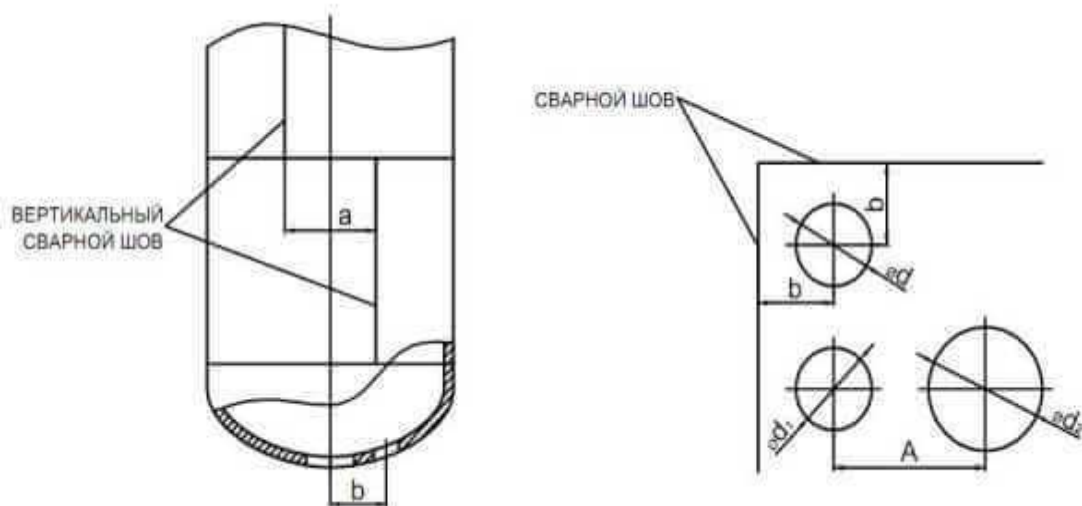


Рисунок 4 –Сварные швы

Люки, штуцера, трубы, трубные решетки, плоские днища и фланцы допускается приваривать угловым, тавровым или стыковым соединением. При сварке плоских днищ, обечаек и фланцев разной толщины следует выполнять плавные переходы от одного элемента к другому, постепенно делая тоньше более толстый элемент (см. рис. 5). Все сварные швы должны быть доступными для контроля качества, визуального осмотра и устранения в них возможных дефектов.

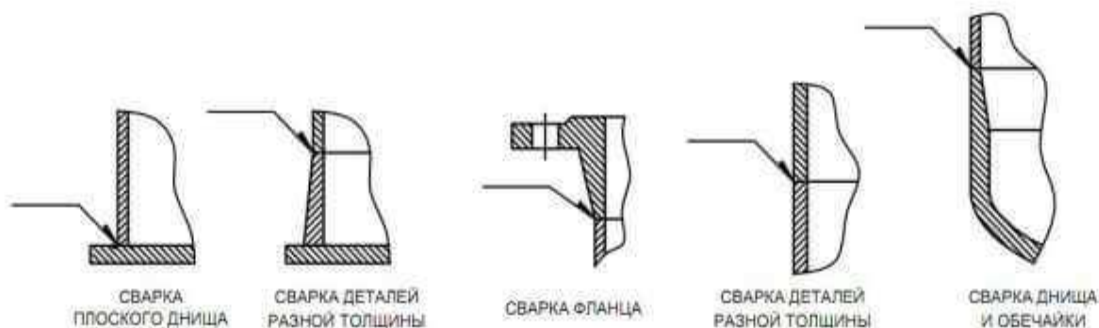


Рисунок 5 – Виды сварки различных деталей

При создании оборудования (аппаратов) из высоколегированных сталей стоит учитывать достаточно высокую их стоимость и помнить о том, что они требуют сохранения коррозионной стойкости. Рациональнее всего из высоколегированных сталей изготавливать лишь те элементы корпуса, которые будут подвергаться воздействию агрессивных сред, а все остальные детали оборудования (аппарата) лучше выполнять из углеродистых сталей. Высоколегированная сталь и углеродистая являются разнородными сталями, и при их сварке происходит проникновение легирующих компонентов в углеродистый металл, что заметно снижает коррозион-

ную стойкость первой. Поэтому необходимо места стыка разнородных сталей отдалять от мест воздействия агрессивных сред путем введения промежуточных элементов (см. рис. 6). Во избежание перегрева в процессе сварочных работ, при котором происходит выгорание легирующих компонентов и, как следствие, ухудшение коррозионной стойкости, нужно позаботиться о том, чтобы у свариваемых элементов была одинаковая толщина, причем, сваривать их лучше встык, а сварные швы располагать друг от друга на определенном расстоянии.

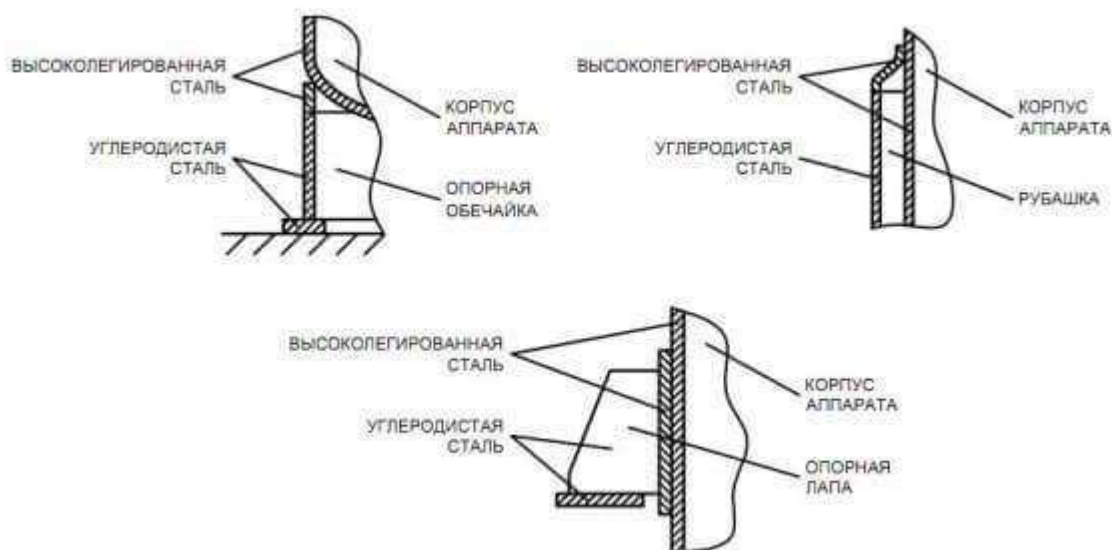


Рисунок 6 – Стык разнородных сталей

Важно также учесть, что физические свойства высоколегированных и углеродистых сталей различны. Так, для аустенитной стали температурный коэффициент линейного расширения примерно в 1,5 раза больше, чем для углеродистой стали, а теплопроводность меньше в 3-4 раза. Ввиду этого могут возникнуть значительные температурные напряжения. Поэтому нередко необходим ввод в конструкцию промежуточных упругих элементов.

Применяемые в промышленности сосуды и оборудование (аппараты), у которых толщина стенки составляет не более 10% от их внутреннего диаметра, принято считать тонкостенными. Эксплуатируются такие сосуды и оборудование (аппараты), как правило, при давлении, не превышающем 10 МПа.

Цилиндрические обечайки – очень важные и ответственные элементы технологического оборудования (аппаратов). Они изготавливаются обычно вальцовкой (гибка металла) из листового проката (чаще всего), труб или же поковок. Из одной, двух или более обечаек, свариваемых встык между собой, получается цилиндрический корпус технологического оборудования (аппаратов) (см. рис. 7).

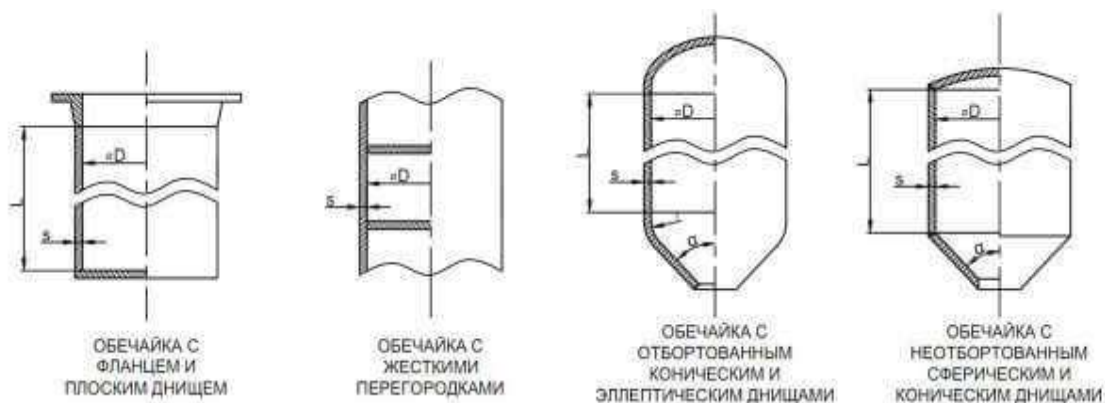


Рисунок 7 – Виды обечаек

В зависимости от поставленных целей проводят проектные и проверочные расчеты на прочность элементов оборудования (аппаратов).

Основной задачей при проведении проектных расчетов является определение тех или иных размеров отдельных элементов и частей агрегатов (толщина днищ, стенок корпусов, трубных решеток, диаметр болтов и так далее). Проектные расчеты обычно выполняют при создании нового оборудования (аппаратов) и машин.

При проведении проверочных расчетов в элементах определяют фактически возникающие напряжения при определенных условиях эксплуатации и сопоставляют их с допускаемыми напряжениями. Проверочные расчеты позволяют проверить возможности использования того или иного оборудования (аппарата) в конкретно взятых условиях.

Нормы и методы расчета на прочность сосудов и оборудования (аппаратов), используемых в нефтеперерабатывающей, химической промышленности и смежных с ними отраслях, которые работают в условиях статических нагрузок под избыточным наружным или внутренним давлением, вакуумом, под действием поперечного и осевого сжатия, изгибающих моментов или при одновременном действии сразу нескольких этих нагрузок, приведены в ГОСТ Р 52587.1 – 52587.11 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». Этим стандартом также установлены значения модуля продольной упругости (модуля Юнга), допускаемых напряжений и коэффициентов прочности сварных швов.

При проектировании стальных сварных сосудов и оборудования (аппаратов), а также при их изготовлении, установке, ремонте, модернизации и консервации руководствуются ПБ 03-584-03 «Правила проектирования, изготовления и приемки сосудов и оборудования (аппаратов) стальных сварных» и ГОСТ Р 52630 – 2012 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия». Указанные документы распространяются на создаваемые, вновь изготавливаемые и модернизированные стальные сварные сосуды и оборудование (аппараты), которые работают под давлением не более 16 МПа (160 кгс/см<sup>2</sup>), вакуумом с остаточным давлением не

ниже 665 Па (5 миллиметров ртутного столба), внутренним давлением 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>) и менее (под налив) и при температуре стенки не ниже минус 70 градусов по Цельсию, а также на действующие сосуды и оборудования (аппараты), которые эксплуатируются на опасных производствах.

Отклонения диаметра (наружного и внутреннего) обечаек и любых других элементов оборудования (аппаратов), которые изготовлены из металлических листов и поковок, не должны превышать  $\pm 1$  % от номинального наружного диаметра. При этом относительная овальность (а) в любом поперечном сечении не должна превышать 1 %.

Для тех элементов сосудов и оборудования (аппаратов), которые работают под наружным давлением или вакуумом, относительная овальность не должна превышать 0,5 %, а для тех, что работают без давления, то есть под налив – не должна превышать 2 %.

Расчет на прочность следует выполнять для всех возможных состояний технологических оборудования (аппаратов), возникающих во время их транспортировки, установки, испытаний и эксплуатации. При этом необходимо учитывать абсолютно все нагрузки и все внешние факторы (температуру, контакт с различными коррозионными средами и так далее), которые могут повлиять на прочность, и учитывать возможность их одновременного воздействия. Так, нужно обязательно следующие факторы: рабочие и климатические температуры; внешнее или внутреннее давление; статистическое давление в условиях работы и испытаний; нагрузки от веса сосуда и содержимого в оборудовании (аппарате); инерционные нагрузки при колебаниях, движении и остановках; нагрузки от ветровых и сейсмических воздействий; нагрузки, вызванные появлением температурных деформаций; реактивные усилия, передаваемые от креплений, опор и трубопроводов; усталость при разных нагрузках; эрозию, коррозию и так далее.

Для определения физико-механических характеристик (прочности, твердости, гибкости, выносливости и так далее) конструкционных материалов и допускаемых напряжений используют расчетную температуру, которую находят либо на основании теплотехнических расчетов, либо беря за основу результаты испытаний, либо же исходя из опыта эксплуатации точно таких же сосудов. За расчетную температуру стенки сосуда (аппарата) берут максимальное значение температуры стенки. При температуре стенки ниже 20 градусов по Цельсию за расчетную температуру для определения допускаемых напряжений берут температуру 20 градусов по Цельсию. В случаях, когда тепловые расчеты или же необходимые измерения провести просто невозможно, за расчетную температуру следует брать максимальную температуру соприкасающейся со стенкой среды, но она должна быть не ниже 20 градусов по Цельсию.

Под понятием рабочее давление для сосуда (аппарата)  $P_r$  принято понимать избыточное максимальное наружное или внутреннее давление, которое появляется в ходе нормального рабочего процесса, при этом гид-

ростатическое давление среды и возможное кратковременное повышение давления в момент работы предохранительного устройства (клапана или иного) не учитывается.

Под расчетным давлением в рабочих условиях  $p$  следует понимать давление, на которое делают расчет на прочность тех или иных элементов сосудов и оборудования (аппаратов). Расчетное давление для элементов принимают обычно равным рабочему давлению для сосуда (аппарата) или же выше. При этом важно, чтобы расчетное давление учитывало внешнее или внутреннее давление; гидростатическое давление от находящейся в сосуде среды; инерционные нагрузки, возникающие при движении, колебании или сейсмическом воздействии, а также непостоянность перерабатываемых сред и самого технологического процесса.

Если сосуд или подводящий к нему трубопровод оснащен специальным ограничивающим давление устройством, которое не позволяет превышать максимально допустимое рабочее давление, то, определяя расчетное давление, кратковременное превышение рабочего давления в пределах 10 процентов не учитывают.

Для тех элементов, которые разделяют зоны с разными давлениями (к примеру, элементы оборудования (аппаратов) с обогревающими рубашками), за расчетное давление может быть принято каждое давление по отдельности, или же давление, требующее большей толщины стенки рассчитываемого элемента. В тех случаях, когда происходит одновременное действие давлений, разрешается выполнять расчет на разность давлений. За расчетное давление может быть принята разность давлений и тех элементов оборудования (аппарата), которые отделяют зоны с внутренним избыточным давлением от зон с абсолютным давлением, меньшим, чем атмосферное. Когда нет точных данных о разности между абсолютным и атмосферным давлением, то первое из них следует принимать равным нулю.

После изготовления все сосуды и оборудование (аппараты) обязательно должны пройти гидравлическое (или пневматическое) испытание, которое проводится с целью проверить их на прочность и герметичность. При испытаниях сосудов и оборудования (аппаратов) возникает избыточное давление, которое принято называть пробным давлением  $R_{пр}$ . То же давление, которому подвергаются сосуды и оборудование (аппараты) при пробном испытании, включая и гидростатическое давление (при условии, что оно составляет 5% или более от пробного давления), принято называть расчетным давлением в условиях испытаний.



### 4.3 Станины, корпуса и рамы

Станина – это основная, обычно неподвижная часть агрегата на фундаменте, которая обеспечивает взаимное расположение, крепление и перемещение рабочих деталей, механизмов и узлов. Как правило, станину создают в виде корпуса (оболочка из металла) или же рамы (конструкция из брусьев). Во время работы оборудования станине от рабочих органов передаются действующие на них усилия технологического сопротивления, в самой станине в это время происходит замыкание силовой нагрузки, что же касается фундамента машины или оборудования (аппарата), то ему передаются лишь силы тяжести и инерции.

Корпуса агрегатов, как правило, имеют сложную форму и состоят из множества, связанных между собой, частей и элементов (ребра, стенки, фланцы, бобышки и так далее). Корпуса небольших машин или оборудования (аппаратов) изготавливают методом сварки или литья, что же касается крупного оборудования, то его корпуса и рамы делают, как правило, составными.

На этапе конструирования корпусных деталей очень важно обеспечить жесткость системе, а при создании составных корпусов – обеспечить взаимное центрирование элементов и прочность крепежных соединений (болтов).

#### Литые корпусные детали

Такие детали лучше всего использовать для серийно выпускаемого оборудования. Выбор материала для изготовления литых корпусных деталей зависит, прежде всего, от того, какие нагрузки они будут испытывать. Так, детали, подверженные статической сжимающей нагрузке, выполняют обычно из серого чугуна, а те, на которые воздействуют растягивающие или циклически меняющиеся нагрузки – из углеродистой конструкционной стали, высокопрочных чугунов. Если требуется ограничить массу агрегата, то используют легкие сплавы, основу которых составляет алюминий. При создании литых корпусных деталей очень важно учитывать такие аспекты, как особенности используемой технологии литья и последующую механическую обработку.

Необходимо, чтобы у литой корпусной детали толщина стенки была постоянной и минимальной, однако она должна быть достаточной для надлежащего заполнения ее формы жидким металлом. Рекомендуемая толщина  $\delta$  (измеряется в мм) стенки детали тесно связана с габаритом  $N$  (измеряется в м) корпуса соотношением:

$$N = \frac{2L + B + H}{3},$$

где,  $L$  – длина,  $B$  – ширина, а  $H$  – высота корпуса (измеряются в м).

Те участки деталей, для которых необходимы повышенные прочность и жесткость, укрепляют ребрами. В местах взаимного пересечения

стенок во избежание появления остаточных напряжений лучше осуществлять конструкцию элемента корпуса по примеру, изображенному на рисунке (вид 8, а). Стенки корпусных деталей, которые пересекаются под острым углом, нужно соединять по схеме, изображенной на рисунке (вид 8, б), где  $r = 0,5\delta$ ;  $R = 1,5\delta$ .

#### Укрепление ребрами стенок литых корпусных деталей

В местах, где расположены бобышки, фланцы, крышки, пластики довольно часто возникает необходимость утолщать стенки корпуса; при отношении толщин  $\delta_1/\delta_2 \geq 2$  переход одного сечения в другое необходимо выполнять плавно; рекомендовано принимать (рисунок, виды д и е)  $h \geq (\delta_1 - \delta_2) \cdot \delta_3 = 1,5\delta_2$ ;  $R_1 = 0,5\delta_2$ ;  $R = 1,5\delta_2$ . В некоторых случаях бобышки и фланцы требуют усиления ребрами жесткости. Тогда толщину внутренних ребер жесткости принимают  $0,7\delta$ , а наружных –  $0,8\delta$ .



Рисунок 8 – Конструкции деталей корпуса

Конструктивные уклоны, равно, как и технологические, необходимо выполнять в направлении извлечения модели из литейной формы. Корпусная деталь должна иметь конфигурацию, способную обеспечивать беспрепятственное вытеснение воздуха из полости формы при заполнении ее жидким металлом.

Конструируя литые корпусные детали коробчатой формы с внутренними полостями необходимо предусмотреть окна и отверстия максимального размера в достаточном количестве для того, чтобы обеспечить точность установки и устойчивость стержней в литейной форме, а затем и легкую их выемку из отливки. Внутренние стенки корпуса, как правило, тоньше наружных на 20-ть процентов. Наружные отверстия в стенках, диаметр которых составляет более 50-ти миллиметров, нужно укреплять

небольшим выступом – буртиком. Для того чтобы можно было отличить обработанную поверхность корпуса от «черной», то есть необработанной, необходимо выполнить преднамеренные специальные уступы – платики (рисунок виды 8 в и г). Высота платика (своеобразного наплыва) обычно составляет от 3 до 6 миллиметров, что же касается его основания, то его размеры должны быть на 3-5 миллиметров больше, чем размер опорной поверхности присоединяемой детали. Это позволяет избежать смещения платика при отливке.

При конструировании литых корпусных деталей желательно не допускать заметно выступающих частей на их вертикальных внутренних и наружных стенках, так как они значительно усложняют как саму конструкцию, так и процесс формовки. Элементы деталей лучше выполнять таким образом, чтобы отъемных частей на модели не было. Если сопоставить конструкцию платика, изображенную на рисунках (вид 8, в) с той, что показана на рисунке (вид 8, г), то выяснится, что первая более технологична, чем вторая.

В единичном и мелкосерийном производствах последовательную обработку плоскостей корпусных деталей выполняют на фрезерных или строгальных станках, а всевозможные отверстия – на сверлильно-расточных станках, либо координатно-расточных. Те отверстия, что находятся на одной оси, лучше выполнять одного диаметра. Резьбу, диаметр которой более 60-ти миллиметров, в крепежных отверстиях нарезают твердосплавным резцом. В корпусных деталях нарезать резьбу большего диаметра не рекомендуется.

Чтобы избежать поломки сверл во время сверления отверстий, необходимо, чтобы поверхность детали, с которой соприкасается сверло на входе и выходе сверления, было строго перпендикулярно оси сверла. Гладкие отверстия, равно, как и резьбовые, для удобства сверления рекомендуется выполнять сквозными. У гладких отверстий длина должна быть как можно наименьшей, не желательно, чтобы она превышала величину трех диаметров.

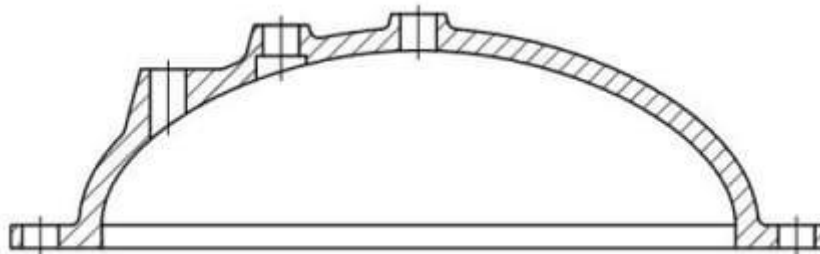


Рисунок 9 – Втулка из сортового материала

При отливке корпусов из стали, толщина их стенок получается примерно на треть больше, чем при отливке из чугуна, что обусловлено меньшей жидкотекучестью сплава.

#### Сварные корпусные детали

Корпуса, рамы и станины в единичном и мелкосерийном производстве целесообразно с экономической точки зрения выполнять именно сварными. Заготовкой для их изготовления может служить как сортовой прокатный металл (профильный, листовой, трубы), так и штамповки, отливки и детали, полученные путем свободнойковки из стали. У сварного корпуса толщина стенки составляет в среднем 0,7 толщины стенки чугунного литья.

Конструктор, учитывая требования к точности размеров, сам принимает решение, какие поверхности корпуса после его сварки будут подвержены механической обработке. К примеру, при выполнении втулки из сортового металла (см. рисунок 9), наружный ее диаметр принят равным 55-ти миллиметрам. Согласно сортаменту на горячекатаную круглую сталь по государственному стандарту 2590 ближайшими значениями являются 53 и 56 миллиметров. По всей вероятности, для наружного диаметра втулки надо выбрать какое-то одно из значений, прописанных в ГОСТе, однако если наружный диаметр 55 миллиметров был выбран не случайно, а в силу каких-то существенных причин, то в данном случае механическую обработку надо будет выполнить до сварочных работ. Что касается другого отверстия во втулке, диаметр которого составляет 28 миллиметров, то оно должно быть проделано уже после сварки, если к положению его оси предъявлены особые требования. Конструктор в подобных случаях должен на рабочих чертежах деталей указать размеры с припусками и допусками на механическую обработку, а на сборочном чертеже сделать соответствующие указания.

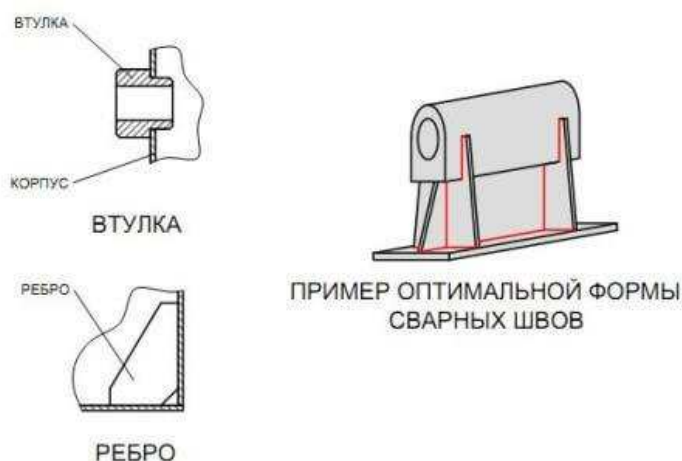


Рисунок 10 – Элементы сварных деталей из сортового проката

У косынок и ребер не должно быть острых углов (см. рисунок). Элементы сварных деталей из сортового проката по возможности должны иметь наиболее простую конфигурацию; очертания всех элементов, изготовленных из листового материала, должны быть ограничены прямыми линиями (см. рисунок), криволинейные контуры допустимы лишь тогда, когда они обусловлены конструктивными требованиями и соображениями.

Такие элементы сварных корпусов, как люки, крышки и тому подобное, которые не несут никаких нагрузок, а служат лишь для защиты внутренней полости корпуса от попадания внутрь загрязнений, обычно изготавливают из стальных листов толщиной от 1 до 3 миллиметров и оснащают прокладкой. При серийном производстве крышки выполняют из пластмассы, усиливая ее ребрами жесткости.

#### Составные корпуса

В случаях, когда машина имеет достаточно внушительные габариты или требуется облегчить монтаж привода, рабочих органов или других систем агрегата, корпус допускается делать составным, соединяя все отдельные части между собой с помощью болтов или стяжных шпилек.

Для такой операции сборки, как центрирование, которое заключается в выверке соосности соединяемых деталей с осью основной поверхности, применяют специально предназначенные для этого центрирующие бурты или штифты. Чтобы повысить точность центрирования и уменьшить влияние температурных деформаций, желательно для центрирования применять минимальный диаметр, который только допускает конкретно взятая конструкция. Центрирование деталей рекомендуется проводить только по одной поверхности, пригонку одновременно по двум поверхностям лучше избегать, так как при этом требуется очень высокая точность исполнения соответствующих элементов и центрирование резьбой. Центрирование деталей коническим буртом гарантирует правильную посадку одной детали в другую, обеспечивает полную затяжку и герметичность соединения. При назначении посадки одной детали в другую обязательно учитывают температурный режим работы соединения, ведь при нагревании изначальные размеры могут измениться, причем, довольно сильно, особенно в случае, когда конструкционные материалы, из которых изготовлены охватываемая и охватывающая деталь, имеют различные значения температурного коэффициента линейного расширения. Так, если охватывающая деталь при нагревании расширяется несколько больше, чем охватываемая, следует назначить более тугие посадки, а если наоборот – более свободные. Чтобы получилась правильная посадка одной детали в другую, обязательно выполняют тепловой расчет соединения.

На практике принимают высоту буртика  $H = 0,5\sqrt{D}$ , где  $D$  – диаметр центрирующей поверхности, измеряется в миллиметрах (мм).

Центрирование установочными цилиндрическими штифтами выполняют следующим образом: стержни, выполненные из стали (иногда из дру-

того материала), запрессовывают в одну из деталей, после чего соединяют с другой деталью по скользящей посадке. Для повышения точности центрирования необходимо увеличить расстояние между самими штифтами.

Чтобы рассчитать устойчивость, прочность и жесткость корпусных элементов нужно выполнить переход от реальной конструкции к расчетной схеме, то есть выявить наиболее существенные особенности конкретно рассматриваемого объекта и, опустив все второстепенные обстоятельства, схематизировать его. Однако такой анализ иногда вызывает некоторые трудности в виду того, что не всегда можно сразу безошибочно оценить влияние того или иного фактора, в результате чего заранее можно предложить не одну, а сразу несколько расчетных схем. Кроме того, неоднозначность выбора расчетной схемы еще тесно связана и с тем, какую именно решают задачу – расчет на устойчивость, прочность или же жесткость. К примеру, выполняя расчет на прочность такого оборудования, как многоопорная барабанная машина, корпус этого агрегата для удобства расчета можно рассматривать как многопролетную балку с кольцевым сечением, однако такая расчетная схема не позволяет оценить возможность потери устойчивости цилиндрической оболочки при воздействии на нее сосредоточенных нагрузок.

Большинство конструкционных материалов – это сплошная, однородная изотопная среда. Такие материалы обычно работают в области упругих, а иногда и пластических деформаций.

Конструкцию корпусных элементов, как правило, представляют в виде двух вариаций – либо как оболочку, либо же, как стержневую систему. Действующие нагрузки, которые приложены к конструкции, обычно являются распределенными по некоторым поверхностям.

Их на расчетной схеме наиболее часто изображают в виде сосредоточенных сил, что позволяет сделать расчеты наиболее простыми. Однако всегда нужно оценивать влияние принятых допущений на результат расчетов.

## 5 Основное промышленное оборудование химических производств и его выбор

На химических производствах задействовано огромное количество всевозможного промышленного оборудования, которое можно разделить на следующие классы:

аппараты;  
машины;  
транспортные средства

Аппарат - инженерная конструкция, которая обладает рабочим объемом и оснащена энергетическими и контрольно-измерительными средствами управления и мониторинга технологическим процессом.

Машина - инженерная конструкция, в которой протекание технологического процесса сопряжено с вводом в рабочий объем механической энергии посредством рабочих органов оборудования.

Рабочий объем (реакционное пространство) – место протекания технологического процесса.

Второй тип реакторов обладает максимально высокой производительностью и намного проще в устройстве, включая средства управления и контроля технологических процессов, но позволяет получать очень ограниченное число видов конечного продукта.

Кроме этого, все химическое оборудование, в зависимости от его назначения, делят на:

Универсальное – данное оборудование используется на предприятиях в таком виде, как есть, без внесения в него каких-либо изменений. Его называют оборудованием общего назначения или же по-другому – общезаводским оборудованием. К нему относятся: насосы агрессивных сред, миксеры, сушилки, центрифуги и сепараторы, компрессоры, вентиляторы, фильтры, пылеулавливающие и газоочистительные устройства, транспортные средства.

Специализированное – это оборудование, которое задействовано в каком-либо одном технологическом процессе различных изменений. К нему относятся: теплообменные агрегаты, ректификационные (разделяющие жидкие смеси) колонны; абсорбционные аппараты.

Специальное – оборудование, которое используется только для осуществления одного производственного процесса. К нему относятся: каландры и каландровые агрегаты, прессы вулканизационные; грануляторы; шахтные хлораторы; сублимационные установки.

Кроме прочего, технологическое оборудование делится еще на:

Основное – это машины, установки и аппараты, в которых протекают различные технологические операции и процессы (физико-химические, химические и так далее), в результате которых получают какой-либо конечный продукт (или продукты).

К основному промышленному оборудованию химических производств относятся следующие аппараты:

реакционные – контактные устройства, реакторы, шахтные конверторы и колонны синтеза (производство аммиака) и другие устройства;

машины и аппараты для осуществления физико-химических операций и процессов – теплообменные и выпарные аппараты, сатурационные башни, экстакторы, абсорберы, вальцы, сушилки, прессы, каландры и так далее.

Вспомогательное – различные резервуары, емкости и хранилища. Вспомогательное оборудование предназначено для осуществления дополнительных производственных процессов. Так, вспомогательное оборудование обеспечивает хранение и транспортировку следующих веществ:

Жидкостей;

Сжиженных газов;

Паров;

Сыпучих материалов.

Таким образом, к вспомогательному оборудованию относятся емкости, способные хранить и транспортировать различные типы веществ и материалов:

Резервуары;

Газгольдеры;

Бункеры;

Силосы

Стоит отметить, что какой-либо продукт (или продукты) получают, как правило, не на одном, а на целом ряде оборудования, которое представляет собой один единый технологический процесс. Причем, в каждом из этого оборудования будет происходить изменение химического состава или физической формы этого продукта и, соответственно, все машины и аппараты, которые входят в одну единицу оборудования, будут осуществлять работу в своих индивидуальных рабочих условиях. Для нормального протекания технологического процесса каждая из этих машин и аппаратов должен в максимальной степени соответствовать обрабатываемому продукту по таким параметрам, как размер, форма и внутреннее устройство.

Из этого следует вывод – тип машины или аппарата выбирается, в зависимости от агрегатного состояния, химических свойств, температуры, теплового эффекта и давления тех веществ, которые принимают участие в технологическом процессе.

Классификация оборудования по типу процесса

Оборудование каждого производственного предприятия можно разделить на специальное и общепромышленное. Специальные виды оборудования присущи конкретному производству и не могут быть использованы в других технологических процессах. Общепромышленное оборудова-



ние имеет универсальный характер – им оснащаются все предприятия вне зависимости от отраслевой принадлежности.

Технологическое оборудование обеспечивает протекание разнообразных технологических процессов в производственных отраслях. По типу процесса, который протекает благодаря работе технологического оборудования, последнее подразделяют на классы:

- оборудование, обеспечивающее механические процессы;
- оборудование, обеспечивающее гидромеханические процессы;
- оборудование, обеспечивающее тепловые процессы;
- оборудование, обеспечивающее массообменные процессы;
- оборудование, обеспечивающее химические процессы.

Каждый отдельный класс технологического оборудования подразделяется на группы в соответствии с функциональным назначением. Группы, в которые входят определенные технологические аппараты, принято подразделять на типы.

Классы технологического оборудования подразделяется на группы аппаратов в соответствии с функциональным назначением. Термином «классификация» определяется распределение оборудования по группам в соответствии с назначением, характером и организацией технологических процессов, производительностью (мощностью), способами управления (ручной, автоматический, комбинированный). Технологическое оборудование химических производств является специальным и предназначено для реализации последовательной цепочки технологических процессов от подготовки первичного сырья до получения конечного продукта:

Механическое оборудование для подготовки первичного сырья к переработке – дробильно-помольное (дробилки, мельницы), сортировочное (грохоты, сепараторы, сита, классификаторы), а также питатели, дозаторы.

Гидромеханическое оборудование для очистки первичного сырья от примесей, использующее различия плотности его компонентов. Гидромеханические процессы: центрифуги, сепараторы, отстойники, циклоны, гидроциклоны, фильтры, скрубберы;

Оборудование для воздушной и электромеханической очистки – циклоны; скрубберы; фильтры прямого действия, электрические, каталитические и т. д.;

Тепловые процессы: тепловые трубы и печи, плазматроны, регенеративные и контактные теплообменники, кристаллизационные и выпарные аппараты; Термическое (тепловое) оборудование – сушилки, регенерационные теплообменники, плазматроны, рекуператоры, регенераторы

Массообменные процессы: адсорберы, сушилки, аппараты для диффузионных и баромембранных процессов, оборудование для выщелачивания и растворения, ионообменные аппараты, ректификаторы, экстракторы, растворители, нейтрализаторы, мембранное оборудование и прочее.

Химические процессы: печи для обеспечения химических процессов и химические реакторы.

С помощью перечисленных групп оборудования происходит очистка первичного сырья от примесей, приведение его в однородное состояние по механическим, физическим и химическим свойствам для последующей переработки. Получение готового продукта происходит в следующей группе технологического оборудования, имеющей обобщенное наименование «химический реактор». В зависимости от характера протекающих в них процессов реакторы могут быть холодного и горячего типа.

Химические реакции, которые протекают в естественных условиях, происходят в холодных реакторах. Если для получения продукта требуются высокие температуры или катализаторы, то реакторами становятся печи, автоклавы и специальные сосуды. В свою очередь группы оборудования распределяются на типы (по способу действия, виду привода и прочее), а те в свою очередь на типоразмеры (по габаритам, мощности, производительности).

Для сопутствующих технологических процессов предназначается вспомогательное оборудование, которое обеспечивает сбор и хранение побочных продуктов, транспортировку и накопление исходного сырья и готового продукта (резервуары, газгольдеры, бункеры и т. п.). Химические реакторы в зависимости от способа воздействия на сырье делятся на аппараты и машины. Аппаратом называется сооружение, внутри которого находится рабочая зона (пространство для химических реакций), где технологический процесс происходит без участия механических устройств. Если для нормального течения процесса требуются дополнительные механизмы (мешалки, рыхлители и прочее), то аппарат становится машиной.

## **5.1 Описание и классификация машин**

В зависимости от организации технологического процесса и ассортимента готового продукта химические реакторы подразделяются на аппараты и машины непрерывного или периодического действия.

Аппараты и машины периодического действия дают возможность изготавливать на одном и том же оборудовании различные виды близкой по составу продукции (например, полимеры). Для переналадки таких реакторов требуются минимальные затраты времени и средств. Технологическая гибкость является основным преимуществом оборудования периодического действия.

Согласно принципу организации технологического процесса машины принято делить на оборудование периодического и непрерывного действия.

В машинах периодического действия, разные этапы технологического процесса протекают в одном рабочем объеме, но в различные промежутки времени. Главным преимуществом такого оборудования является высокая степень гибкости, т.е. способность быстро переключаться с одного вида продукции на другой без снижения ее качества.

В машинах непрерывного действия, разные этапы технологического процесса протекают в разных рабочих объемах, но в один и тот же промежуток времени. Главными преимуществами такого оборудования являются сравнительно невысокая металло- и энергоемкость, простота конструкции и высокая производительность.

Согласно уровню автоматизации, машины принято подразделять на следующие типы:

Простые машины (работают под руководством оператора); С простым (ручным) управлением, которое полностью зависит от опыта, знаний и квалификации оператора

Полуавтоматические машины (выполняют основные операции благодаря заложенной программе, в функции оператора входит загрузка/разгрузка, контроль и регулировка); Полуавтоматы – оборудование имеет несколько запрограммированных функций или режимов работы, за выбор которых отвечает оператор

Автоматические машины (все операции после загрузки и выключения выполняют самостоятельно по заложенной программе); Автоматы – обеспечивают полный цикл изготовления продукта (от загрузки сырья до выдачи готовой продукции), а в случае выхода за параметры предусмотренные программой останавливают технологический процесс без участия оператора

Самонастраивающиеся машины (выполняют логические операции с учетом переменных условий). Наиболее современные системы управления оборудованием способны учитывать меняющиеся условия протекания технологических процессов и самостоятельно корректировать работу в соответствии со сложившейся ситуацией.

## **5.2 Общие направления в проектировании оборудования химических производств**

Выбор материалов и защитных покрытий для производства химического оборудования

Общее описание

Материалы для изготовления химического оборудования следует выбирать, учитывая специфику их эксплуатации и предусматривая то обстоятельство, что физико-химические свойства материалов могут измениться под воздействием рабочих и агрессивных сред, высоких или низких

температур и протекающих на производстве химико-технологических процессов. Поэтому при выборе материала для того или иного оборудования следует руководствоваться установленным в нашей стране стандартом.

Чтобы максимально правильно подобрать материал к оборудованию, следует сначала выяснить, в каких рабочих условиях он будет находиться. То есть, какая будет температура, давление, обрабатываемая среда и ее концентрация. При выборе конструкционного материала для химического оборудования очень важно учесть физические (температурное расширение, теплопроводность) и механические (твердость, трещиностойкость, предел прочности и так далее) свойства материала, а так же его химическую стойкость.

Стоит отметить, что механические свойства материалов, из которых выполнено оборудование, могут меняться и достаточно сильно при низких или, наоборот, высоких температурах. Еще одним, необходимым условием, при выборе материала является способность материала к свариванию, так как в химическом машиностроении самым основным способом выполнения неразъемных соединений является именно сварка, в редких случаях – пайка.

Однако одним из самых главных требований к материалу для изготовления химического оборудования является его коррозионная стойкость. Коррозии, как правило, подвергается не наружная поверхность химических аппаратов, а внутренняя. Именно от коррозионной стойкости будет зависеть, насколько долго прослужит промышленное оборудование.

## **6 Вспомогательное промышленное химическое оборудование: общее описание**

### **6.1 Общие сведения о вспомогательном оборудовании, классификация**

Оборудование, имеющее место на любом промышленном объекте или предприятии, можно подразделить на четыре основные группы, исходя из его назначения. Это следующее оборудование:

- Производственное;
- Вспомогательное;
- Подъёмно-транспортное;
- Энергетическое.

Производственное оборудование представляет собой все аппараты и устройства, участвующие в рабочем процессе и его технологических операциях. С помощью данной группы оборудования изменяют форму или агрегатное состояние сырья, свойства того же сырья или материалов.

К вспомогательному оборудованию относятся элементы основного оборудования, не принимающие непосредственного участия в процессе выпуска готового продукта. Данные вспомогательные средства выполняют работы по обеспечению нужд технологических производств на производственных предприятиях. Например, это заключается в хранении определённых материалов (кратковременном или длительном хранении).

На многих предприятиях, например, химических фабриках и заводах, существуют складские хозяйственные подразделения, различные по объёму и по своему назначению. В этих подразделениях складываются на хранение различного рода сырьё, промежуточные продукты и виды готовой товарной продукции, вспомогательные виды материалов. Они могут храниться как твердые сыпучие материалы, материалы в виде жидкостей или сжиженных газов.

Выполнение задач по повышению эффективности любого производства требует комплексного подхода не только к проблемам основного оборудования, но и к вспомогательному оборудованию смежных секторов производства. Такими секторами и являются складские отделения или тарные хозяйственные подразделения, где большую роль играют усовершенствование и дальнейшая разработка технологических и технических моментов при хранении и транспортировке материалов: сыпучих, в виде газов или жидкостей.

Химическая промышленность характеризуется большими объёмами вспомогательного оборудования, применяемого при хранении продукции разнообразного вида. Это могут быть разнообразные взрыво- и пожароопасные материалы, летучие материалы и застывающие жидкости, оказывающие коррозионное воздействие, газы, сжиженные и обезвоженные, или

газы высокой концентрации, разнообразные сыпучие материалы, хранящиеся в бункерах или силосах. Бункеры и силосы используются как приёмные, погрузочные, промежуточные устройства на поточных и транспортных линиях или технологических агрегатах, или как перегрузочные и аккумулирующие машины. При хранении разнообразных газообразных продуктов применяются газгольдеры. Химические жидкости и газы хранятся в резервуарах, которые могут быть в виде наземных баков или подземных ёмкостей.

В сферах химического производства распространена транспортировка многих технологических продуктов по трубопроводам. Трубопроводные линии промышленных объёмов могут быть проложены на заводской территории или между предприятиями и предназначены для передачи материалов в виде жидкостей, газа или даже воздуха. Они соединяют технологические линии разных цехов, участвующие в едином производственном процессе, или могут снабжать материалами агрегаты в замкнутой системе.

## **6.2 Ёмкости для жидкостей. Общие сведения**

Нефть и нефтепродукты, вода, спирт, сжиженные газы, аммиак и прочие жидкости хранятся в резервуарах или сосудах, служащих не только для их хранения, но и для приёма, обработки и их отпуска. Резервуары изготавливаются, как правило, из стали и могут быть цилиндрическими, расположенными горизонтально или вертикально, сферическими, что определяется их расположением в пространстве и их геометрической формой. Относительно уровня пола строительной площадки резервуары могут быть надземными, установленными на каких-либо подставках или опорах, расположенных выше уровня пола, с зазором между основанием фундамента и подставкой под резервуар; наземными, установленными непосредственно на фундаментное основание без зазора; подземными, устанавливаемыми ниже уровня пола строительной площадки. Цилиндрические резервуары с вертикальным расположением оснащаются стационарными крышами, понтонами и плавающими крышами.

Стационарная крыша резервуара определяется конструкцией покрытия и может быть конической, в этом случае крыша имеет распорную конструкцию; или сферической тоже распорной конструкции или торосферической, с кривизной в двух направлениях.

Основание (днище) вертикально расположенных цилиндрических резервуаров выполняется, как правило, в виде пологой конструкции, имеющей незначительный угол наклона к периферии или к центру.

При использовании резервуаров со стационарной крышей, которые герметично закрываются, при заполнении жидкостью образуется избыточное давление, а при его опорожнении образуется вакуум. Избыточное дав-

ление вызывает в стенке резервуара дополнительное растяжение, в крышке создаётся изгибающий момент, нормальное поперечное усилие, а по контуру крыши создаётся краевой эффект. Создание вакуума провоцирует в конструкции резервуара возникновение таких же явлений, как усилия. Но усилия эти имеют обратный знак.

Как избыточное давление, так и вакуум, создаваемые в конструкции резервуара, имеют определённые граничные (предельные) параметры, оговоренные проектом. Для обеспечения этих параметров, во избежание их превышения, на крышах резервуаров устанавливается регулировочная аппаратура, которая регулирует эти параметры в заданных пределах. Для более высокой надёжности аппаратура устанавливается двух типов: гидравлическая аппаратура и механическая.

При подборе резервуара и выборе его конструктивного исполнения определяющее значение имеют физические свойства материалов, как температура кипения, климатические условия, которые определяют степень потерь и величину испарения. Немаловажными факторами при выборе резервуара являются и технико-экономические показатели, которые включают в себя коррозионную стойкость материала, из которого изготовлен резервуар, к продукту, который хранится в нём, а также объёмы потерь продукта при его хранении в данном резервуаре. Легко воспламеняемые и горючие жидкости хранят, как правило, в резервуарах из стали, это 80% резервуаров -хранилищ для хранения нефти и нефтепродуктов. Широко применяются резервуары наземные, вертикальной конструкции и цилиндрической формы.

Несущими элементами резервуаров являются стенки, основание, покрытия. Марка стали для них выбирается в зависимости от климатических условий расположения строительной площадки, вместимости резервуара, частоты смены продукта при его хранении за год, агрессивности среды, пожароопасности хранимого продукта.

Сегодня широкое применение находит изготовление резервуаров из рулонной стали шириной 1,5 м. Метод изготовления носит название «подрачивания», используя при этом специальное оборудование. Резервуар можно собрать прямо на рабочем месте и в довольно сжатые сроки, что является преобладающим преимуществом данного метода сборки. Количество сварных швов на конструкции резервуара также значительно меньше при данном методе сборки: всего один сварной вертикальный шов на обечайке. Всё это способствует бесперебойной эксплуатации аппарата без аварий и требует наименьших затрат времени, планируемых на техническое обслуживание и ремонтные работы.

## **Вспомогательное промышленное химическое оборудование: бункеры и силосы**

Бункеры и силосы. Классификация бункеров и силосов

Ёмкости больших размеров, служащие временными хранилищами для сыпучих материалов, принято называть бункерами и силосами, опорожнение которых происходит через выпускные отверстия. Эти специальные отверстия располагаются в нижней зоне бункера или силоса. Для формирования улучшенного выхода сыпучего материала бункер или силос к концу имеет суживающуюся часть, так называемую воронку.

Бункер в отличие от силоса имеет высоту стенки, не превышающую полуторного наименьшего размера. Более высокие ёмкости для сыпучих носят название силосов. Силосы изготавливаются обычно из стали и имеют исключительно круглую форму. Их проектирование осуществляется по строительным нормам и предписаниям.

Бункеры находят применение в аккумулирующих, уравнивающих технологических установках. Аккумулирующие установки служат хранилищами для насыпных грузов, в них предусмотрены загрузочные и разгрузочные приспособления, устройства для измерения веса и др. Уравнивающими установками являются промежуточные ёмкости для насыпных грузов, которые налаживают стабильность в работе транспортной системы при неравномерном режиме работы её отдельных подразделений; а также при сочетании двух разных транспортных систем в одной линии: непрерывного транспорта и периодического.

Бункеры представляют собой устройства, оснащённые целым рядом приспособлений, как загрузочные и разгрузочные приспособления, затворы, питатели, приборы автоматизации и контроля. Они служат кратковременными хранилищами для сыпучих материалов. Напоминают бункеры по своей форме и рабочим характеристикам пересыпные воронки, полубункеры и силосы.

Пересыпные воронки в отличие от бункеров не имеют затворов и имеют меньшие размеры. Они помогают формировать материал во время пересыпки его с одного транспортного устройства в другое. У пересыпных воронок небольшая ёмкость, и они не могут компенсировать неравномерность подачи сыпучих материалов.

У полубункеров по сравнению с бункерами малая глубина, если сравнивать с размерами в поперечном сечении.

В качестве силосов известны сосуды с вертикальными стенками, служащие хранилищами для сыпучих материалов на длительный период времени. Они отличаются большей высотой, если сравнивать с размерами в поперечном сечении.

Загрузочными устройствами служат транспортирующие машины непрерывного и периодического действия, как ковшовый элеватор, пластин-



чатый конвейер, скиповый подъёмный механизм и пр. Для облегчения загрузки и разгрузки используются различного вида спуски.

Кроме стали, на изготовление бункеров идёт железобетон, древесина, полимеры и композиционные материалы. Материал для изготовления бункера подбирается в зависимости от рода сыпучего материала и экономических затрат.

Бункер может быть открытого вида и закрытого. В открытых бункерах хранятся не выделяющие пыли материалы и материалы, для которых не страшны атмосферные осадки. В закрытых бункерах с конусной крышкой нет пустых мест при заполнении. В закрытых бункерах с плоской крышкой всегда будут иметь место пустые зоны. Скопление этих пустых зон уменьшает рабочий объём бункера и ведёт к сбору в этих местах взрывоопасных газов и к образованию пыли. Бункеры могут иметь прямоугольную, круглую и корытообразную форму.

Днище прямоугольного бункера может быть двух-, трёх-, четырёх-скатным и многоскатным.

Бункеры круглой формы подразделяются на конические и цилиндрические. Цилиндрические бункеры сложнее вписать в здание цеха или разместить их в один ряд, чем прямоугольные. Но круглые бункеры просты в изготовлении, ибо имеют небольшой вес благодаря бескаркасной конструкции.

Среди корытообразных бункеров различают призматические и пирамидальные. Чтобы полностью освободить призматический бункер от груза, необходимо предусмотреть в нем промежуточные скаты.

Среди щелевых бункеров различают по форме симметричные и асимметричные. Стенки щелевых бункеров могут быть как наклонными, так и вертикальными.

Бункеры при установке можно подвешивать (подвесные), при установке бункеры могут быть подземными или углубленными в грунт.

Бункеры бывают непрерывного и периодического действия. При непрерывной работе бункера материал постоянно движется, верхний уровень материала сосредоточен как бы в одном месте. Поток нового материала поступает непрерывно. Бункер непрерывного действия должен иметь такую форму, чтобы материал в нём не застаивался. При периодическом действии материал в бункере движется только при включении разгрузочного механизма, т.е. периодически. Бункеры периодического действия имеются трёх видов:

- а) полностью не опорожняемые;
- б) полностью опорожняемые при каждом открытии затвора;
- в) полностью опорожняемые при нескольких открываниях затвора.

В бункерах периодического действия, которые полностью не опорожняются, уровень сыпучего материала не должен опускаться ниже указанной высоты. Это является основным технологическим требованием к

бункерам данного типа. По достижении определённого минимального уровня в бункере загрузочное устройство выключается, что достигается благодаря наличию сигнальных и автоматических устройств в бункере.

Бункерами периодического действия, которые полностью опорожняются при одноразовом открывании затвора, могут быть загрузочные дозирочные бункеры с затворами, способными перекрывать отверстия только порожних бункеров.

В бункерах периодического действия, которые полностью опорожняются при нескольких открываниях затвора, уровень расположения материала не имеет значения, они могут в отдельных случаях опорожняться полностью. Для этого их затворы должны перекрывать разгрузочные отверстия для выдачи любого количества материала в пределах ёмкости бункера.

Материалы для изготовления бункеров

На изготовление бункеров идёт металл, железобетон, различные комбинированные материалы.

Бункеры, изготовленные из металла, имеют сравнительно небольшой вес, опоры под них не занимают много места. Как хранилища для сухого груза они долговечны, эксплуатационные затраты на них небольшие. Но при хранении влажных материалов эти бункеры легко подвергаются коррозии, которая способствует их быстрому износу и увеличению трения материала о стенки бункера, что впоследствии затрудняет разгрузку.

Бункеры железобетонные являются хранилищами для сухих и для влажных материалов. Они долго служат, однако дороже и по весу тяжелее металлических бункеров. Горячие материалы в них не хранят, так как бетон при термических нагрузках начинает трескаться. Эти бункеры бывают монолитной конструкции, сборной и смешанной.

Сборный бункер сооружается из отдельных сваренных между собой железобетонных плит. Смешанная конструкция включает в себя стальные каркасы, выложенные изнутри железобетонными плитами.

В комбинированном бункере сочетаются отдельные конструкции, которые изготовлены из различных материалов: железобетонный корпус может быть соединён с основанием из металла или кирпичный корпус соединяется с железобетонным сборным основанием бункера.

Пропускная способность бункеров

Количество сыпучего материала, которое проходит через выпускное отверстие за одну единицу времени, определяет пропускную способность бункера непрерывного действия. Для определения пропускной способности таких бункеров существует формула:

$$Q = v \cdot F_0$$

где  $v$  – скорость истечения материала из выпускных отверстий бункера, м/сек.;

$F_0$  – площадь выпускного отверстия, м<sup>2</sup>.

Бункеры с опорожнением при каждом открывании затвора имеют пропускную способность, характеризующуюся временем их опорожнения  $t_0$ . Время опорожнения для обычного процесса истечения определяется по формуле:

$$t_0 = \frac{V}{v \cdot F_0},$$

где  $V$  – ёмкость бункера,  $\text{м}^3$ .

При истечении полужидких материалов гидравлическим методом время опорожнения бункера зависит от его конфигурации и от уровня засыпанного материала. Чем меньше высота засыпки, тем меньше скорость истечения материала.

Чем меньше диаметр кусков материала и чем больше частица материала имеет форму шага, тем больше пропускная способность бункера.

Чем выше плотность материала и меньше трение между стенкой бункера и материалом, тем больше скорость истечения материала из бункера.

Чем выше влажность (чем меньше выпускное отверстие, тем меньше влажность материала) материала, тем ниже скорость истечения.

### **Вспомогательное промышленное химическое оборудование: резервуары**

Горизонтальные резервуары цилиндрической формы

В резервуарах горизонтального типа предусмотрено хранение нефтепродуктов, сжиженных газов и других жидкостей, находящихся под различным избыточным давлением. Хранение нефтепродуктов предусмотрено под избыточным давлением макс. 0,07 МПа, сжиженные газы хранятся при избыточном давлении 1,8 МПа и выше. Резервуары, предусмотренные для хранения нефтепродуктов, имеют габаритный объём макс. 100 кубических метра, для сжиженных газов резервуары достигают объёма 300 метров кубических. Требования к транспортировке резервуаров по железной дороге ограничивают габариты диаметра стенки (цилиндра) макс. до 3,5 м. По предварительной договорённости этот размер может составлять макс. 4.5 метра.

Для хранения нефтепродуктов наибольшее распространение получили резервуары горизонтального исполнения ёмкостью 5-100 кубических метра. У таких резервуаров, рассчитанных на избыточное давление макс. 0,05 МПа, днище или основание плоское, а резервуары с избыточным давлением 0,08 МПа имеют коническое основание.

Резервуары данного типа могут быть надземными (которые опираются на две опоры-подставки) и подземными, опирающимися на сплошную опору в виде седла.

Внутри резервуаров монтируются специальные кольца из угловой стали, чтобы придать корпусу ёмкости больше жёсткости. Для колец жёст-



персонала в корпус резервуара. В верхнюю часть корпуса вварен патрубок (4) для соединения с атмосферной средой. Сам резервуар стоит на нескольких опорах (7).

#### Вертикальные резервуары

В вертикальных резервуарах хранятся, как правило, нефть и нефтепродукты. Так называемые светлые нефтепродукты (керосин, дизельное топливо) хранятся при избыточном давлении макс. 25 кПа и вакууме 3,5 кПа. Так называемые тёмные нефтепродукты хранятся в резервуарах, свободно сообщающихся с атмосферой.

При изготовлении резервуаров, которые планируется эксплуатировать при температуре минимум  $-32^{\circ}\text{C}$ , необходимо использовать сталь марки СтЗкп, а для температур ниже  $-29^{\circ}\text{C}$  до  $-38^{\circ}\text{C}$  используется сталь СтЗпс для изготовления конструкций основания, стенок и несущих конструкций резервуара. Для остальных элементов резервуара используют сталь марки СтЗкп.

В резервуарах, которые являются хранилищами для тёмных нефтепродуктов, можно хранить фенольную смолу, кубовые остатки, мазут и горючие жидкости с низким давлением пара. В этих резервуарах могут храниться токсичные продукты с низким давлением паров. Однако для улавливания паров продукта с целью его обезвреживания или полной утилизации необходимо оснащать эти резервуары специальными улавливающими устройствами.

Нормативный ряд цилиндрических резервуаров в вертикальном исполнении определяет их проектирование с номинальной ёмкостью: 100-30 000 кубических метров, а также проектирование специальных резервуаров с объёмом от 50 000 до 150 000 куб. метров и более. Максимальная вместимость резервуаров со стационарной крышей для хранения легко воспламеняющихся жидкостей, как бензин, не должна превышать 20 000 кубических метров, для хранения горючих жидкостей, как мазут, не должна превышать 50 000 куб. метров.

Ёмкость резервуаров, предназначенных для хранения нефти, легко воспламеняющихся жидких продуктов, не должна быть более 50 000 кубических метров. Эти же резервуары, но с плавающей крышей не должны превышать объём в 120 000 кубов.

Резервуары, оснащённые стационарными крышами, предусматриваются самонесущими покрытиями, которые могут быть конической или сферической формы.

В точках соединения крыши резервуара с его стенками предусматриваются кольца жёсткости, чтобы избежать изменения формы стенки во время ветровых нагрузок и для восприятия распора от покрытия. Для больших резервуаров ёмкостью 50 000 - 100 000 кубических метров предусматривают и на стенке установку промежуточных колец жёсткости, чтобы избежать уменьшения толщины верхних ярусов стенки, обеспечить

устойчивость и стабильность конструкции, избежать изменения формы стенки.

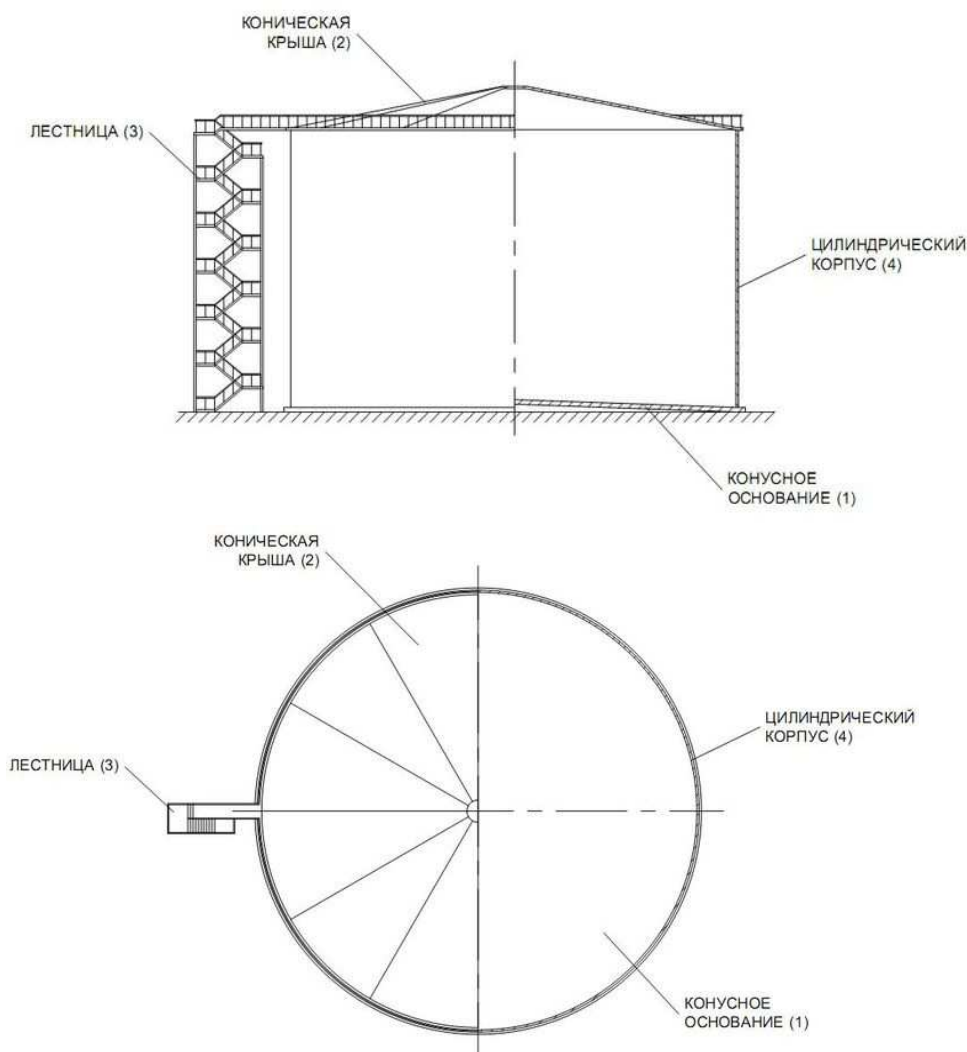


Рисунок 12 – Конструкция резервуара

На рис. 12 представлена конструкция резервуара ёмкостью 5000 кубов с самонесущей крышей конической формы. Резервуар включает в себя корпус (4), основание (1) и коническую крышу (2). Чтобы иметь возможность подняться наверх, снаружи резервуара предусматривают установку лестницы шахтного типа (3).

Если хранить легко воспламеняющиеся продукты с высоким давлением паров в резервуарах, которые предусмотрены для хранения светлых нефтепродуктов, то заведомо следует согласиться с большой потерей продукта по причине его испарения. С целью уменьшения потерь при испарении используют резервуары с понтонами. Сокращая потери продукта вследствие испарения, понтоны предупреждают загрязнение окружающей атмосферной среды парами продукта, предотвращают образование газозвудушных концентраций в зоне наличия пара, которые могут быть взры-

воопасны. Тем самым наличие понтонов как бы улучшает условия безопасности при эксплуатации резервуаров на складе.

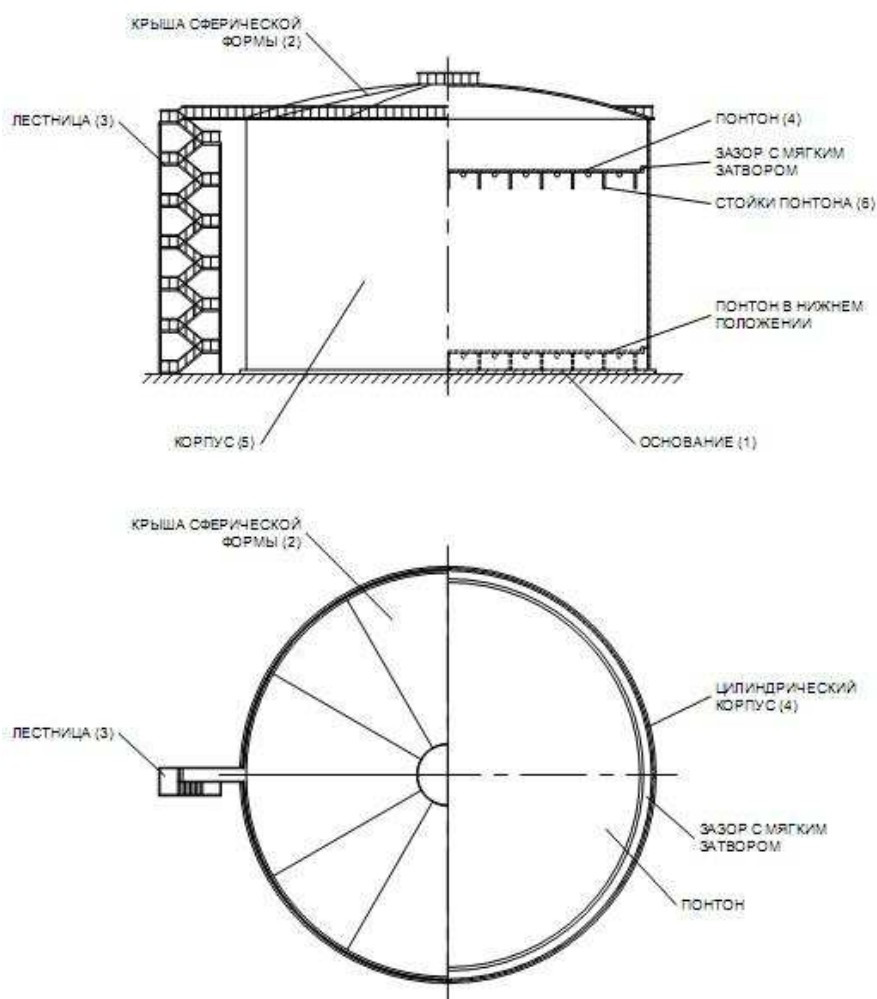


Рисунок 13 – Конструкция резервуара с понтонами

Резервуары с понтонами (см. рис. 13) являются вертикальными ёмкостями в виде цилиндра, имеющие стационарные покрытия. Внутри резервуара монтируют понтон из металла, назначением которого является перекрытие зеркала продукта и сокращения в потерях нефти и нефтепродуктов, которые имеют место вследствие так называемых «больших» и «малых» дыханий. Понтон (2) состоит из понтонного кольца, которое обеспечивает плавучесть самого понтона, и средней центральной части, представляющей собой плоские листы из стали.

Между стенками резервуара и понтона необходимо предусмотреть зазор, ширина которого должна быть в пределах 200 – 300 мм. Зазор должен быть герметично закрыт с помощью уплотняющего жёсткого или мягкого затвора. В нижнем положении понтонное кольцо опирается на стойку (6). Сам резервуар включает в себя корпус (5), основание (1) и крышу сферической формы (3). Лестница шахтного типа (4) также установлена снаружи. Назначение понтона заключается в том, что он защищает жидкость

от нагревания и на 90 – 95% уменьшает площадь испарения жидкости. Если понтон не герметично закрыт вследствие неработающего уплотняющего затвора, то использование только одного металлического поплавка для этой цели недостаточно и себя не оправдывает. При многократных исследованиях было констатировано, что применение негерметичного затвора, при неплотном прилегании даже отдельных его участков к стенкам резервуара, действие его эффективности сильно уменьшается. Это заметно, особенно в жаркое лето, когда температура воздуха окружающей среды гораздо выше температуры продукта, находящегося в резервуаре. Для резервуаров используются понтоны не только металлические, они могут быть и синтетическими, что связано со значительным уменьшением веса самого понтона, габаритов его отдельных узлов, снижением расхода металла и стоимости, затрачиваемой на изготовление понтона в сравнении с затратами на стальной понтон.

Но в резервуарах с синтетическими понтонами невозможно хранить такие материалы, как бензол, метанол, этанол и др., ибо они могут выступать в качестве растворителей для синтетических материалов, идущих на изготовление понтонов. Такие химические продукты, как неагрессивные жидкости, среди которых могут быть легко воспламеняющиеся и горючие жидкости плотностью макс. 1000 кг/куб. м, должны храниться в типовых резервуарах для нефтепродуктов вертикального исполнения.

Резервуары для сжиженных газов.

Потребность в хранении больших объёмов сжиженных газов из разных областей применения вызвала необходимость в проектировании и сооружении большого количества изотермических резервуаров. При температуре + 40° С пары сжиженных газов имеют высокую упругость, поэтому резервуары для их хранения предусматривают под давление 18 МПа. Это зависит также от газа, который находится на хранении в резервуаре. Если искусственным образом снизить упругость газа, подвергнув его охлаждению, то его можно хранить и в обычном резервуаре вертикального исполнения при давлении 0,01 МПа. Это снизит расходы металла на изготовление резервуара в 8-15 раз, в зависимости от габаритов сооружаемой ёмкости.



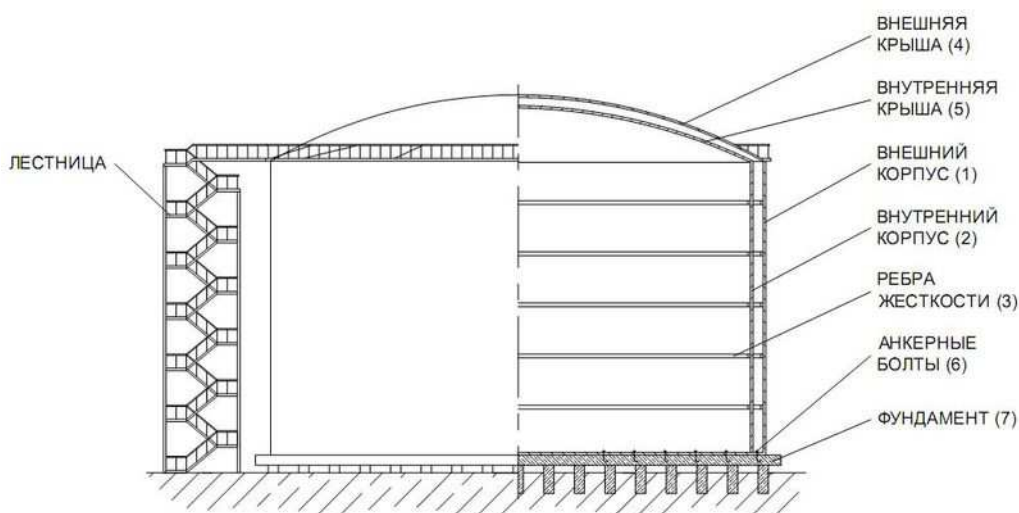


Рисунок 14 – Конструкция изотермического резервуара

Изотермические резервуары (рис. 14) имеют, как правило, двойные стенки. Конструкция стенок и основания такая же, как у обычных резервуаров, предусматриваемых для хранения нефтепродуктов. Отличие состоит в конструкции крыши, она является самонесущей в форме торосферической или сферической оболочки.

На рис. 14 представлен изотермический резервуар ёмкостью 20 000 кубов, имеющий двойную стенку.

Двойную стенку образуют два корпуса: наружный (1) и внутренний (2). Далее резервуар включает в себя кольца жёсткости (3), крышу (4) и (5), так как крышу имеют оба корпуса, и анкеры (6). Установлен резервуар на фундаменте (7). Зазоры между обоими корпусами, основанием и крышами заполняются теплоизоляцией, стенки оснащаются изоляционными плитами. Эти резервуары представляют собой низкотемпературные хранилища, на изготовление которых идут нержавеющие стали, стали с содержанием никеля и алюминиевые сплавы. Несущие конструкции этих резервуаров рассчитываются так же, как и обычные конструкции, только без учёта температурных деформаций. Также нет необходимости использовать специальные компенсаторы в месте врезки трубопроводов.

В резервуары, предусмотренные для хранения сжиженных газов, входят клапаны, индикаторы давления в паровой и жидкой фазах; термометры для измерения температуры в жидкой фазе; запорная арматура для отключения резервуара от подающих и отводящих трубопроводов; люки для обслуживания резервуара персоналом; вентиляционные отверстия, продувочные устройства, используемые для продувки инертным газом, паром, воздухом; сливные устройства для удаления из резервуара остатков промывной воды или тяжелых остатков; устройства для отбора проб в жидкой и паровой фазах.

Вся применяемая для сжиженных газов арматура должна быть изготовлена из стали. При повреждении трубопровода он должен легко отклю-

чаться от резервуара. Это происходит с помощью скоростного клапана автоматически. Газ подаётся в резервуар по отдельному трубопроводу, на котором устанавливается обратный клапан, предотвращающий поступление газа обратно из бака в трубопровод.

Любой резервуар обязательно оснащается предохранительными клапанами пружинного типа (рабочим и аварийным), служащими для быстрого удаления газа или другого продукта из ёмкости или трубопровода при резком повышении давления. Эти клапаны всегда должны находиться в исправном рабочем состоянии и быть отрегулированы, поэтому за ними требуется постоянное наблюдение и уход в соответствии с соответствующими инструкциями по обслуживанию этих клапанов, их ревизия проводится не реже 1 раза в течение 4 месяцев. Они выбираются в зависимости от диапазона температур и агрессивности хранимого продукта.

В качестве хранилищ для сжиженных газов в количестве до нескольких сотен кубов используются цилиндрические резервуары горизонтального исполнения. Для хранения аммиака, хлора, хлористого этила предусматривают такие резервуары ёмкостью макс. 200 кубических метров. Если количество хранимого продукта больше, то для его хранения предусматривают шаровые ёмкости, в которых хранятся, например, углеводородные газы, как бутан, пропан.

Химические сжиженные газы производят в небольших количествах. Хлор, аммиак и др. являются сильнодействующими ядовитыми веществами.

Резервуары шарового типа взяли верх над цилиндрическими резервуарами, имея значительные технические и экономические преимущества: у них на единице объёма приходится наименьшая поверхность, минимальная толщина стенки, расход металла на их изготовление в 2 раза меньше, условия хранения при этом одинаковые с условиями хранения в цилиндрических резервуарах.

## 7 Защита оборудования химических производств

Экономика нашей страны очень сильно страдает из-за потерь, которые причиняет народному хозяйству коррозия. Она оказывает разрушительное действие на металлы, металлические изделия, строительные конструкции и производственное оборудование. Стоит отметить, что коррозионные разрушения нередко становятся причиной простоев и аварийных ситуаций на предприятиях и ущерб от них порой в разы превышает непосредственную потерю металла.

Зарубежный и российский опыт показал, что сегодня довольно значительную часть существующих кислотостойких сталей способна прекрасно заменить обычная углеродистая сталь, имеющая защитное покрытие. При этом можно сэкономить очень много средств, а так же дефицитных металлов.

Некоторым химическим установкам и коммуникациям (трубопроводам) требуется тепловая изоляция в виду проведения на них реакций при высоких температурах или реакций с использованием высокотемпературных теплоносителей. Тепловая изоляция требуется и оборудованию, где реакции проводятся с применением охлаждающих агентов с отрицательными температурами.

Сегодня химическое оборудование защищают, как правило, несколькими способами:

Выполняют футеровку – делают защитную внутреннюю облицовку химических аппаратов;

Наносят покрытия – это может быть резина, эмаль или же какие-то полимеры;

Окрашивают оборудование;

Выполняют изоляцию (к примеру, стеклопластиком).

При выборе материала, конструкции защитного покрытия и изоляции обязательно учитывают конкретные условия работы оборудования, его назначение и место установки. Если аппаратуру, имеющую неметаллическое внутреннее покрытие (к примеру, эмалированное, лаковое, резиновое и так далее) планируется разместить на открытой площадке, то для него выбирают покрытие, которое имеет механическую стойкость к низким и переменным температурам. В тех случаях, когда нет возможности обеспечить оборудование таким стойким к низким температурам воздуха покрытием, его размещают в отапливаемом помещении.

## **7.1 Выбор защитного покрытия и футеровок для изоляции химического оборудования**

Сегодня очень важно для того или иного химического оборудования сделать максимально правильный выбор материала покрытия, так как это позволит обойтись без использования дорогостоящих и дефицитных конструкционных материалов для их создания. Кроме того, сейчас существует много химических производств, где среда, вызывающая коррозию, не позволяет даже применять те машины и аппараты, которые выполнены из специальных сталей.

Срок службы защищенного промышленного оборудования зависит не только от стойкости защитного материала к агрессивным средам, но и от качества футеровочных работ. Качественно выполненная футеровка – это гарантия надежности и бесперебойной работы аппаратуры.

Сегодня самыми основными материалами, которые используют для защиты химического оборудования, являются: кислотоупорные и диатомовые кирпичи, андезитовые камни, диабазовые плиты, кислотоупорные цементы, асбозуристовая масса, листовой асбест и полиизобутилен.

**Защитные покрытия из полимерных материалов**

Среди всех существующих на данный момент защитных покрытий от коррозии химического оборудования самыми эффективными считаются покрытия из полимерных материалов. Особенно эффективными являются фторопласты самых различных марок, которые отличаются высокой прочностью, химической, тепло- и износостойкостью в сочетании с отличными антиадгезионными (устойчивость к прилипанию) свойствами.

К примеру, в производстве серной кислоты сегодня стали использовать пластинчатые теплообменники с элементами из углеродистой стали, которые защищены антикоррозийным покрытием из полимера, обладающего повышенной теплопроводностью. Разборный пластинчатый теплообменный аппарат, изготовленный из углеродистой стали и имеющий антикоррозионное защитное покрытие был специально создан для данного производства. Более того, теплопередающие пластины имеют такие размеры и конфигурацию, которые позволяют создавать для рабочих сред очень интенсивный турбулентный поток. Все это позволяет при одинаковых затратах на преодоление гидравлического сопротивления, в значительной мере увеличивать теплоотдачу в этом химическом оборудовании.

Перед тем, как нанести антикоррозионные покрытия и футеровку, обязательно проверяют прочность, герметичность и качество предварительной подготовки поверхностей оборудования. Защитное покрытие наносят только в том случае, если подготовленная поверхность сухая, имеет равномерный серо-матовый оттенок и на ней отсутствуют следы ржавчины, окалины и каких-либо загрязнений, особенно масла.

Наиболее надежными в плане эксплуатации и самыми распространенными сегодня являются эмалевые защитные покрытия. Эмалированные поверхности химического оборудования очень устойчивы к воздействию кислот, причем, как органических, так и неорганических, а так же их солям и щелочным растворам. Однако эмалевые защитные покрытия не отличаются устойчивостью к кремнефтористоводородной и плавиковой кислотам и их солям.

## 7.2 Окраска химического оборудования

Для защиты оборудования и коммуникаций от воздействия внешней коррозии выполняют окраску перхлорвиниловой эмалью, используют масляную краску, а так же осуществляют покрытия алюминием, цинком (путем металлизации) и другими материалами, учитывая при этом особенности атмосферы, окружающей среды и условия эксплуатации.

Изоляция оборудования химических производств

Изоляцию оборудования и производственных коммуникаций выполняют в том случае, если нагретые поверхности промышленного оборудования имеют температуру более 45 градусов по Цельсию, а трубопроводы – более 60 градусов по Цельсию.

Главными задачами изоляции являются:

обеспечение химического оборудования заданным температурным режимом;

исключение потерь тепла или холода в окружающую среду;

создание нормальных санитарно-гигиенических условий для рабочего персонала.

Для изоляции химического оборудования используют минераловатные, вулканитовые, совелитовые и диатомовые материалы, а так же изделия из стекловолокна.

Ко всем, без исключения, теплоизоляционным покрытиям химического оборудования предъявляются особые требования. Сегодня такие распространенные теплоизоляционные материалы, как стекловата, шлаковата и асбоцемент, к сожалению, не способны в должной мере обеспечивать качественную изоляцию, так как у них довольно низкая механическая прочность и высокая способность к влагопоглощению. К тому же срок их эксплуатации в агрессивных средах и присутствии атмосферной влаги недолог – они очень быстро разрушаются.

Поэтому были разработаны принципиально новые конструкции теплоизоляционных покрытий, которые оптимально подходят для использования их в условиях химических производств. В этих конструкциях теплоизоляционным материалом выступают, в основном, пенопласты, такие как пенополистирол и пенополиуретан, которые отличаются прочностью, низ-

кой теплопроводностью, малой объемной массой и, практически, не способны поглощать влагу.

Выбор материалов и защитных покрытий для химической аппаратуры, располагаемой на открытых площадках

Выбирая материал для изготовления химического оборудования, которое будет в дальнейшем устанавливаться и эксплуатироваться на открытых площадках, следует обязательно учесть все условия работы аппаратуры, не забывая о возможном его переохлаждении при отрицательных температурах наружного воздуха. Так же необходимо учесть и резкие перепады температур. Стоит помнить, что при переохлаждении металл имеет тенденцию к внезапному разрушению. Поэтому для таких условий лучше всего использовать легированную или углеродистую сталь.

Размещаемое на открытых площадках оборудование нуждается в защите от коррозии, а сами перерабатываемые в нем продукты – в защите в зимнее время от замерзания, а в летнее время от перегрева солнечными лучами. Поэтому таким машинам и аппаратам просто необходимы качественные теплоизоляционные покрытия.

Сам изоляционный слой химического оборудования, находящегося на открытом воздухе, должен быть сверху защищен надежным, стойким к атмосферным воздействиям, покрытием. Таким защитным покрытием может быть асбестоцементные листы или же штукатурка, а так же металлические кожухи, выполненные либо из гофрированных алюминиевых листов, либо из тонколистовой оцинкованной стали (применяют, как правило, для защиты изоляционного материала холодных поверхностей).

Особенности выбора конструкционных материалов для химического оборудования

Выбор материалов, из которых изготавливают технологическое оборудование для химического производства, обуславливается особыми условиями эксплуатации, оказывающими прямое влияние на свойства металлов, полимеров, резинотехнических изделий, смазок и т. д. Среди основных факторов воздействия можно назвать:

Давление – от глубокого вакуума до избыточных величин;

Температурный режим – от температуры жидкого азота до плавления железной руды;

Все виды коррозии – химическая, термическая и обычная;

Высокие механические нагрузки в условиях агрессивной среды.

При таких воздействиях у металлов кардинально меняются пластичность, устойчивость к ударам, динамическим и статическим нагрузкам, по-иному проявляется старение и усталость. Уплотнители и материалы для футеровки внутренних поверхностей должны выдерживать экстремальные температуры, кислую и щелочную среду.

Техническая литература предлагает достаточное количество готовых таблиц, в которых отражается зависимость изменения предела текучести

( $\sigma_T$ ) при статических нагрузках или упругих свойств (модуль  $E$  и коэффициент Пуассона  $\mu$ ) от рабочей температуры. Это важнейшие характеристики для марок рядовой углеродистой стали и серого чугуна. При низкой температуре черные металлы становятся хрупкими, а при высокой становятся проницаемыми для диффузии активных соединений.

Нарушение механических характеристик рядовых металлов заставляет разрабатывать дополнительные системы охлаждения, дополнять оборудование устройствами для компенсации механических нагрузок, внутренних напряжений, гидродинамических ударов и других воздействий. Нормами Ростехнадзора предусмотрено очень ограниченное применение углеродистой стали и чугуна для экстремальных условий эксплуатации. Поэтому в числе основных конструкционных материалов для химического оборудования числятся специальные марки легированной стали, цветные металлы (медь, алюминий) и их сплавы.

У этих материалов пластические характеристики под воздействием низких температур меняются незначительно, не считая того, что они обладают значительно большей устойчивостью ко всем видам коррозии, в том числе в химических процессах с использованием электролитов. Подводя итоги можно отметить, что выбранные конструкционные материалы для химического промышленного оборудования должны соответствовать таким требованиям:

Достаточной коррозионной стойкости в агрессивной среде при заданной технологическим процессом концентрации химически активных соединений, температурном диапазоне, уровне давления;

Достаточной механической прочности при тех же условиях с учетом дополнительных нагрузок от собственного веса, ветра, способа установки, площади опоры;

Возможности получения прочных сварных швов устойчивых к излому и механическим нагрузкам в экстремальных условиях;

Доступность материала в смысле стоимости и распространенности

Безопасная и простая утилизация после выработки эксплуатационного ресурса.

Наряду с металлами схожий подход используется при выборе других конструктивных материалов по параметрам жаропрочности, пластичности, устойчивости к ударным нагрузкам и вибрации. Правильный выбор материалов является гарантией долговечности и надежности химического оборудования.

## **8 Основные требования, которые предъявляются к промышленному оборудованию**

### Общее описание

Промышленное оборудование должно занимать небольшую, по размеру производственную площадь, то есть по возможности быть компактным и обязательно работать с должной производительностью. Что касается материала ее деталей, то они должны быть качественными, надежными и долговечными, а так же способными работать в агрессивной химической среде.

Сама машина (аппарат) так же должна быть надежной, безопасной и максимально удобной в пользовании. Так же по возможности следует сократить до минимума время, которое машина (аппарат) затрачивает на изготовление одной единицы продукции, а так же максимально снизить расход преобразованных энергоресурсов (электричество, вода, пар, тепло и сжатый воздух).

К стальным сварным сосудам и аппаратам предъявляются свои технические требования, установленные отраслевым стандартом. Все используемые в производстве сосуды и аппараты должны быть оснащены люками, которые обеспечат доступ в них в случае очистки или ремонта.

На предприятии допускается использование теплообменных аппаратов, сосудов с рубашками и аппаратов со съемными днищами или крышками без наличия лазов.

### Требования к проектированию химического оборудования

Важным аспектом требований к технологическому оборудованию являются требования, предъявляемые к качеству машин и условиям их эксплуатации.

В зависимости от стадии изготовления технологического оборудования, различают показатели:

- прогнозируемые;
- проектные;
- производственные.

Общие требования к проектированию любого технологического оборудования - группа показателей, которые должны учитываться при разработке конструкторской и технической документации аппаратов и машин для всех отраслей промышленности, включая химическое производство:

Назначение – здесь учитываются параметры мощности, производительности, энерговооруженности, быстродействия рабочих механизмов и т. д.;

Надежность – способность оборудования к длительной непрерывной работе, ремонтпригодность аппарата или машины в целом и отдельных частей;



Эргономика – параметры системы «человек-машина» (вопросы санитарии и гигиены, биомеханика движений, влияние на физиологию и психику человека в производственных условиях);

Эстетика – при прочих равных условиях именно дизайн становится решающим аргументом выбора оборудования, приятный внешний вид оборудования также благотворно сказывается на качестве работы персонала;

Технологичность – обеспечивает оптимизацию затрат на изготовление оборудования по количеству и стоимости (материалы, инструменты, трудозатраты);

Транспортабельность – обеспечивает мобильность оборудования при перевозках, снижение расходов при проведении погрузочно-разгрузочных работ, возможность использования стандартных транспортных средств и прочее;

Стандартизация и унификация – указывают на соотношение долей оригинальных и стандартных конструктивных элементов, использованных в проектировании оборудования;

Юридическая (патентная) чистота – нельзя выдавать за собственные чужие разработки и в то же время необходимо защищать патентами собственные оригинальные идеи;

Экология – показатели негативного воздействия оборудования на окружающую среду становятся все более определяющими, величина выбросов должна закладываться с запасом на возможное ужесточение норм;

Безопасность – интегральный показатель, учитывающий элементы из всех групп параметров, которые влияют на безопасность обслуживающего персонала, а также эффективность систем автоматики и защиты по определению опасных ситуаций, скорости срабатывания и т. д.

Выполнение требований к проектированию оборудования не должно быть слепым – необходимо также учитывать основные тенденции развития отрасли, перспективы изменений в сфере охраны труда и природной среды, просто заглядывать вперед, чтобы проект не устарел до того, как будет воплощен в металл:

Эффективность – оптимальные показатели мощности, интеллектуальные системы управления, автоматики и защиты, полный комплект вспомогательного оборудования.

Конструктивное и технологическое совершенство – использование компьютерных инженерных программ, что позволяет максимально упростить конструкцию и документацию оборудования, снизить материалоемкость, найти замену дорогим материалам.

Эксплуатационные характеристики – простой и удобный монтаж, обслуживание и эксплуатация оборудования, высокая ремонтпригодность, эргономические и экологические показатели, отсутствие вибрации и т. д.

Экономическая эффективность – оборудование должно производить больше продукции при низких расходах, иметь меньшие эксплуатационные затраты (энергия, смазочные и другие расходные материалы, уход и ремонт).

Соблюдение требований действующей нормативно-технической документации, без чего проект невозможно будет запустить в производство.

Все перечисленные требования взаимосвязаны. Очень трудно или даже невозможно обеспечить идеальные параметры по одной группе требований без ущерба другим. Высокие показатели мощности прямо пропорциональны уровню вредных выбросов, что означает неизбежность создания высокопроизводительных систем очистки. Зато работа над надежностью оборудования автоматически повлечет за собой рост безопасной эксплуатации.

Ключевыми требованиями к разрабатываемому технологическому оборудованию являются эффективность, надежность, конструктивность, транспортабельность, а также несложность эксплуатации.

Эффективность работы оборудования это показатель его производительности в условиях непрерывного технологического процесса.

Показатель надежности объединяет такие параметры как прочность, долговечность, а также устойчивость.

Конструктивность предполагает простоту устройства, небольшой вес и габариты.

Под транспортабельностью оборудования понимается возможность перемещать оборудование по блокам или в полном комплекте.

Несложность эксплуатации заключается в удобстве монтажа, ремонта и контроля работы промышленного оборудования.

Комплекс противоречивых требований, которые предъявляются к современному технологическому оборудованию, ставит вопрос выбора оптимального производственного решения.

Другими словами, хороший проект оборудования – это результат разумного компромисса при соблюдении требований к проектированию, поиска максимального количества точек соприкосновения в противоречивых ситуациях и ориентации на лучшие образцы существующей техники. Только так можно добиться оптимального результата не по отдельным направлениям, а в целом, когда разработанный аппарат или машина вступит в строй действующего химического оборудования.

Все параметры из перечисленных групп требований являются прогнозируемыми на стадии выдачи технического задания, производственными во время разработки проектно-технической документации и испытаний опытных образцов, эксплуатационными с начала работы оборудования на конкретном предприятии.

При проектировании химического оборудования особенно важно учитывать повышенные требования устойчивости материалов к всем ви-

дам коррозии (химической, термической и атмосферной). В случае если предполагается монтаж оборудования на открытых площадках, эти требования усиливаются. Существуют также отдельные требования к промышленному оборудованию в зависимости от климатических условий по месту эксплуатации, которые следует учитывать при проектировании и отражать в маркировке изделий:

Умеренный климат – «У»;

Умеренный и холодный климат – «УХЛ»;

Тропический климат – «Т»;

Общеклиматическое исполнение для суши – «О»;

Всеклиматическое исполнение – «В».

Цифровые индексы возле буквенных обозначений в маркировке указывают на исполнение техники для открытой эксплуатации (1), в легких постройках и под тентами (2), в закрытых помещениях без регулирования климатических условий (3), в зданиях с климат-контролем (4), в помещениях с высокой влажностью (5). Тем самым учитываются температурные колебания, влияние атмосферного давления, абразивные воздействия и другие параметры, влияющие на выбор материалов, смазки, уплотнителей и т. д.

Описание и требования к конструкционным материалам

Для производства промышленного оборудования в химической и нефтехимической отрасли применяют материалы, обладающие высоким уровнем стойкости к агрессивным средам, механической прочностью, пониженной склонностью к старению и т.п. Причины таких высоких требований обусловлены тем, что химическое оборудование функционирует в широком диапазоне давлений.

Основные требования к конструкционным материалам оборудования для химических и нефтехимических отраслей можно сформулировать следующим образом:

коррозийная стойкость в контексте технологического процесса;

высокий показатель механической стойкости;

хорошая свариваемость материала при условии сохранения в процессе сварки вышеперечисленных характеристик;

умеренная стоимость материала и его доступность;

простота утилизации.

## 9 Классификация процессов химической технологии

Все процессы химической технологии в зависимости от общих кинетических закономерностей протекания процесса разделены на несколько основных групп:

Гидромеханические процессы – это технологические процессы, протекание которых основывается на закономерностях переноса импульса в газовых и жидкостных системах, редко – в системах с твердой фазой. Их основой является гидромеханическое воздействие на продукты, а движущей силой – перепад давления. Скорость протекания этих процессов определяется законами не только гидродинамики, но и механики, так как к данной группе присоединяются еще и механические процессы;

Тепловые процессы – это технологические процессы, протекание которых связано с очень различными по своей природе формами переноса теплоты в области с неоднородным полем температур. Их основой является изменение теплового состояния сред, взаимодействующих между собой, а движущей силой – разность температур этих самых сред. Скорость протекания этих процессов определяется законами теплопереноса и теплопередачи.

Массообменные процессы – это химико-технологические процессы, протекание которых связано с переносом одного или нескольких веществ из одной фазы в другую посредством поверхности раздела фаз. Их основой является массообмен между взаимодействующими фазами, а движущей силой – разность концентраций распределяемого вещества (веществ). Скорость протекания таких процессов определяется законами массопередачи.

Химические процессы – это процессы, представляющие собой одну или несколько химических реакций, сопровождающихся явлениями переноса энергий и величин, каких как теплота, импульс и масса, которые оказывают влияние на друг друга и на протекание реакций. Их основой является глубокое изменение структуры, свойств и состава участвующих в реакциях веществ, а движущей силой – разность химических потенциалов. Скорость протекания этих процессов определяется законами химической кинетики.

Основные процессы химической технологии по способу организации классифицируются на периодические, непрерывные и комбинированные (смешанные).

Периодические процессы протекают в одном оборудовании, куда до начала реакции вводят порцию исходных реагирующих веществ. Все стадии: смешивание этих веществ, их химические взаимодействия и получение конечных продуктов, которые и составляют цикл, идут последовательно друг за другом и периодически повторяются через определенный промежуток времени. Между циклами, когда проходит загрузка сырья и выгрузка продукта, аппарат простаивает. Особенностью периодических про-

цессов является то, что все стадии осуществляются в одном аппарате, в последовательном порядке. Промышленное оборудование, в котором проходят периодические процессы, могут быть замкнутой системой или же открытой.

Непрерывные процессы – протекают без вспомогательных стадий в проточных аппаратах. Это значит, что загрузка исходного сырья в оборудование, а так же выгрузка конечного продукта выполняются без простоев оборудования, то есть непрерывно. Все стадии процесса осуществляются одновременно, но при этом в различных точках одного аппарата, либо в разных аппаратах. Причем, все параметры этого процесса, такие как температура, давление и так далее, остаются неизменными во времени.

Комбинированные процессы – это могут быть как непрерывные процессы, в которых какие-то определенные стадии выполняются периодически, так и периодические процессы, где одна стадия или же несколько идут непрерывно.

Применение непрерывных процессов, благодаря их многочисленным достоинствам, значительно повышает производительность аппаратуры, качество и однородность продуктов, уменьшает потребность в обслуживающем персонале, обеспечивает более полную механизацию и облегчает автоматическое регулирование производства, а так же улучшает условия труда.

Периодические процессы, хоть и вытесняются непрерывными, все же продолжают сохранять свое значение. Благодаря своим преимуществам (многофункциональность, использование дешевых средств дозирования реагентов, малое количество оборудования) периодические процессы сегодня находят применение на небольших производствах, где достаточно разнообразный ассортимент продукции. Они позволяют добиться большой гибкости в эксплуатации оборудования при относительно небольших капитальных затратах.

В зависимости от поведения параметров (температура, концентрация, скорость, давление) процессов, различают стационарные (установившиеся) и нестационарные (неустановившиеся) процессы.

В первых (стационарные) процессах любой из параметров может измениться от одной точки к другой точке внутри химического оборудования, однако он сохраняет свое значение во времени.

Что касается нестационарных процессов, то там значения параметров изменяются, как во времени, так и в пространстве. К ним относятся все периодические процессы, а так же полунепрерывные.

Нестационарными процессами в непрерывно действующих аппаратах считаются все переходные процессы, которые появляются в результате изменения параметров работы. Анализ нестационарных процессов в силу того, что все его параметры зависят от времени, будет намного сложнее, чем анализ стационарных процессов.

В зависимости от количества фаз, принимающих участие в процессе, различают гомогенные (протекают в пределах одной фазы) и гетерогенные (протекают на границе раздела двух фаз) процессы.

В зависимости от количества компонентов в системе, различают процессы с однокомпонентными потоками и многокомпонентными. Теоретическую основу гидромеханических, тепловых и массообменных процессов составляют такие основные законы природы, как законы переноса, сохранения субстанции и термодинамического равновесия.

## 10 Общие принципы, применяемые при расчётах процессов и оборудования химической технологии

Расчёт имеет целью определение затрат (энергетических и материальных), требуемых для проведения процесса, создания оптимальных условий при протекании процесса, как и расчёта размеров (основных) для используемых аппаратов.

При расчёте применяется следующий порядок:

по законам термодинамики и гидродинамики, определяют направление течения процесса и условия его равновесия;

исходя из полученных данных о равновесии, выбирают начальные и конечные точки процесса;

составляют тепловой и материальный балансы, исходя из законов сохранения;

определяют для процесса движущую силу по величинам, которые характеризуют равновесные и рабочие параметры;

вычисляют коэффициент скорости протекания процесса на основании законов кинетики;

основной размер оборудования определяется полученными данными.

В качестве основного размера могут выступать следующие площади:

поперечного сечения;

поверхности нагрева;

поверхности контакта фаз.

Многие процессы, применяемые в химической технологии, являются многостадийными, другими словами, они проходят целый ряд стадий (этапов), развиваются по нескольким путям. Однако только одна из возможных стадий, как правило, является для процесса лимитирующей. Естественно, что воздействие на процесс необходимо оказывать именно на ту стадию, которая является лимитирующей.

Определение лимитирующей стадии зависит от соотношения скоростей на всех стадиях, их последовательности или различных путей протекания. При возможности осуществления процесса параллельно, с применением двух и более различных способов, лимитирующим является способ, обеспечивающий наибольшую интенсивность (скорость протекания) процесса. В том же случае, если процесс осуществляется строго последовательно, то лимитирующей будет являться самая медленная, требующая длительного времени стадия. Можно дать следующее определение: лимитирующей является стадия, определяющая общую скорость протекания многостадийного процесса, которая определяется соотношением скоростей, взаимным расположением и последовательностью стадий.

Встречаются, тем не менее, такие процессы, в которых ни самая быстрая, ни самая медленная из стадий не может быть определена, как лимитирующая процесс. Такое случается, когда не лимитирующая на первый

взгляд стадия существенным образом влияет на течение стадии, которая по всем соображениям должна бы играть роль лимитирующей.

Интенсификацией процессов называется увеличение скорости, с которой происходит перенос субстанции в нём. С точки зрения единого кинетического закона, описываемого формулой

$$\uparrow q = (dA) / (Sd\tau) = (\uparrow\Delta) / (R\downarrow) = \uparrow K\uparrow\Delta$$

скорость переноса субстанции в процессе пропорциональна его движущей силе и находится в обратной пропорции к сопротивлению, при этом:

Движущая сила зависит от степени отклонения от равновесного в текущем состоянии процесса и от гидродинамических условий его протекания.

Сопротивление зависит в значительной степени от механизма переноса субстанции.

При многостадийном процессе скорость определяется его лимитирующей стадией.

Через пограничный слой перенос субстанции часто выполняется самым медленным из механизмов переноса – молекулярным, именно поэтому данная стадия является, как правило, лимитирующей. Другими словами, конструктивные и технологические методы, уменьшающие толщину пограничного слоя, приводят к увеличению скорости данной стадии, что ускоряет в целом весь процесс переноса субстанции.

Применяется в химической технологии самая разнообразная аппаратура в соответствии с условиями проведения процессов обработки и свойствами (химическими и физическими) обрабатываемых материалов.

Можно перечислить важнейшие факторы, которые определяют тип используемого химического оборудования, к ним относятся:

- химические свойства участвующих в процессе веществ;
- агрегатное состояние этих веществ;
- температура, при которой идёт процесс;
- рабочее давление;
- интенсивность теплообмена;
- тепловой эффект.

В ходе развития химических отраслей промышленности совершается деление, применяемых в ней химических технологий на подотделы, которые охватывают достаточно узкие перечни родственных процессов. Они свойственны только вполне конкретным отраслям. Однако нельзя не заметить, что наличествуют всё же такие аппараты и процессы, которые являются общими для применения во многих отраслях. Разнообразные техпроцессы можно всё же объединить в некоторое количество определенных групп и рассматривать для них общие начала, лежащие в основании процессов каждой данной группы.

Основные физические законы



Химико-технологические процессы имеют, по определению, связь с разнообразными химическими и физическими явлениями, происходящими в реальности. Однако в большинстве случаев эти процессы можно охарактеризовать небольшим числом законов физики. Например, на физических законах сохранения энергии массы и основаны энергетический и материальный балансы. Для понимания многих процессов законы, которые характеризуют условия их равновесия, имеют весьма важное значение, как и законы, которые описывающие изменения, происходящие в системах, которые не находятся в равновесном состоянии.

Уравнение материального баланса.

В соответствии с физическим законом сохранения массы, поступающее на переработку количество веществ ( $\sum G_{\text{нач}}$ ), равно количеству веществ, которые получены в после завершения процесса переработки ( $\sum G_{\text{кон}}$ ). Тогда уравнения материального баланса можно представить в следующем виде:

$$\sum G_{\text{нач}} = \sum G_{\text{кон}}$$

Составление материального баланса для периодических процессов выполняется в расчёте на одну операцию, в то время как для непрерывных процессов — на одну единицу времени, к примеру за один час.

Материальный баланс может быть составлен для одного аппарата, как и для его отдельной части или даже для группы аппаратов. Материальный баланс, в то же время, можно составить для всех веществ, которые подлежат переработке или для одного только из компонентов, входящих в смесь.

Для примера рассмотрим фильтрацию суспензии, в этом процессе происходит получение фильтрата и осадка. Можно сказать, что перерабатываемый материал, в данном случае, состоит только из двух компонентов: жидкости и твёрдого вещества. Тогда уравнение материального баланса составляют либо, исходя из общего количества участвующей в процессе суспензии, либо только для твердой фракции, либо исключительно для жидкого компонента. Из получаемых трёх уравнений материального баланса независимыми можно считать только два последних. Ведь уравнение, описывающее материальный баланс для с участием общего количества суспензии, можно вывести, если выполнить почленное сложение уравнений материальных балансов для жидкости и для твердого вещества.

Уравнение энергетического баланса.

В соответствии с законом сохранения энергии, введенное в процесс количество энергии должно быть равным её количеству, которое получено в результате выполнения процесса.

Энергию можно вводить в процесс и отводить из него вместе с веществами, участвующими в нём, или независимо, отдельно от этих веществ. Энергия, которая вводится и отводится вместе с веществами, является со-

вокупностью внутренней энергии этих веществ, а также их кинетической и потенциальной энергий.

Энергия, вводимая и отводимая из процесса независимо от ввода и вывода веществ, участвующих в нем, может быть представлена:

теплом, подводимым в аппарат посредством его обогрева сквозь стенки или электрическим током;

механической работой, затрачиваемой в компрессоре или насосе;

теплом, отдаваемым в окружающую среду.

Наиболее общим видом для выражения энергетического баланса, в применении к химико-технологическим процессам, является известное обобщенное уравнение Бернулли:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + P = const,$$

где  $\rho$  — плотность жидкости,

$P$  — давление в точке пространства, где расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости,

$h$  — высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости,

$v$  — скорость потока,

$g$  — ускорение свободного падения.

Описание условий равновесия.

Любой процесс будет протекать до тех самых пор, пока окончательно не установится состояние его полного равновесия. Так, жидкости перетекают из сосудов, имеющих более высокий уровень жидкости в сосуды с более низким её уровнем, пока уровни жидкостей не сравняются во всех сосудах. Передача тепла происходит к менее нагретому телу от более нагретого, пока не сравняется температура обоих тел. Соль будет растворяться в воде, пока не станет насыщенным раствором. Можно привести подобных примеров бесчисленное множество. Именно поэтому, условия равновесия показывают так называемую статику любых процессов и характеризуют пределы, до которых могут они протекать.

Условия равновесия могут выражаться разными законами: например, вторым законом термодинамики и законами, характеризующими соотношения, возникающие в различных фазах системы между концентрациями компонентов.

Уравнение скорости протекания процесса. При нахождении какой-либо системы в неравновесном состоянии, обязательно возникнет процесс, который будет стремиться привести данную систему к состоянию равновесия. Обычно скорость процесса при этом тем выше, чем система более отклонена от равновесного состояния. Отклонение от состояния равновесия в любой системе, таким образом, выражает движущую силу происходящего в ней процесса. Поэтому при большей движущей силе будет выше и скорость, с которой протекает процесс. При приближении к равновесному

состоянию как движущая сила, так и скорость протекания процесса будут уменьшаться, достигнув нуля при обретении равновесия. Чем ближе система к состоянию равновесия, тем скорость процесса меньше и она будет продолжать уменьшаться при дальнейшем приближении к равновесию. Теоретически для достижения абсолютно равновесного состояния требуется время бесконечно большое. Однако на практике может достигнуть сравнительно быстро такого состояния системы, что оно будет столь близко к равновесию, что может рассматриваться как равновесное.

При выполнении практических расчётов необходимо знать достаточно точно скорость процесса, которую он имеет в различных стадиях, другими словами, иметь сведения о так называемой кинетике процесса. Следует помнить, что скорость процесса во многих случаях пропорциональна его движущей силе. Эту простейшую зависимость можно наблюдать в процессах фильтрования, в процессах, где тепло передаётся путём конвекции и теплопроводности, в массопередающих процессах. Во всех этих случаях уравнение, отображающее скорость процесса, будет иметь следующий вид:

$$\frac{N}{F\tau} = K\Delta,$$

здесь:

$N$  — количество тепла или вещества, которое передаётся за время через поверхность  $F$ ;

$K$  — коэффициент пропорциональности (скорости процесса);

$\Delta$  — движущая сила процесса.

Для тепловых процессов через  $F$  обозначается теплообменная поверхность, то есть та поверхность, через которую в систему происходит передача тепла, в массопередающих процессах  $F$  обозначает поверхность, по которой соприкасаются фазы.

Левая часть данного уравнения описывает скорость процесса.

Коэффициент же пропорциональности  $K$  находят обычно опытным путём, так как произвести его расчёт представляет в ряде случаев значительные трудности.

Материальные и энергетические расчёты

Составляющими, которые участвуют в каждом производственном химическом процессе, являются:

подлежащие обработке материалы;

энергия, которая требуется для их обработки;

промышленное химическое оборудование, осуществляющее процессы

Материалы, которые используются в процессах, как готовые продукты, так и полуфабрикаты, не обладают практически никогда абсолютной чистой и представляют из себя смеси различных компонентов, т.е. нескольких разных индивидуальных веществ.

Состав таких смесей выражается обычно в долях, а также весовых частях или процентах. Чтобы проводить технологические расчеты, тем не менее, более удобно вместо этого выражать состав смесей материалов в молекулярных процентах или молекулярных долях (т.е. долями моля).

Понятие о материальном балансе

Чтобы определить расход исходных материалов, рассчитать выход готового продукта, вычислить размеры и производительность применяемого аппарата, нужно выполнить предварительные расчеты, опираясь на закон сохранения материи и стехиометрические отношения, которые выражаются химическими уравнениями.

В соответствии с законом сохранения материи  $G_1$  (вес поступающих на переработку материалов) должен быть равен  $G_2$  (весу получающихся материалов в результате переработки):

$$G_1 = G_2$$

Тем не мене, на практике, при реальном осуществлении процессов, всегда происходит некоторая потеря материалов. Поэтому вес полученных в результате протекания процесса продуктов, всегда несколько меньше, чем вес исходных материалов, которые поступают на переработку. Поэтому необходимо изменить исходную формулу на следующую:

$$G_1 = G_2 + G_n$$

здесь  $G$  обозначает потерю веса материалов, измеряемую в килограмм-силах (кгс).

Приведенное уравнение – уравнение материального баланса, применимое в одинаковой степени, как к целому процессу, так и к определенной его операции или стадии.

Составление материального баланса может быть выполнено для всех участвующих в процессе материалов в совокупности или же покомпонентно, для каждого из них, как и для какого-нибудь одного.

К примеру, для процесса, в котором происходит сушка влажного материала, баланс по одному компоненту можно составить, исходя из веса сухого вещества, которое будет находиться в высушенном материале, как и по весу оставшейся в нём влаги.

Составляя материальные балансы химических процессов необходимо пользоваться уравнениями, которые выражают протекающие в данных процессах реакции.

Исходные данные для составления материального баланса можно свести в таблицу, отображающую приход и расход материалов, а для обеспечения большей наглядности, можно составить ещё и диаграмму, изобразив на ней потоки материалов в определенном масштабе.

Материальный баланс играет большую роль для правильного выполнения техпроцессов. Он позволяет во время проектирования новых производственных линий правильно составить схему техпроцесса и выбрать размеры используемых в нём аппаратов. По материальному балансу в про-

цессе производства выявляются непроизводительные материальные потери, рассчитывается количество и состав примесей и побочных продуктов, что позволяет наметить пути оптимизации.

Материальный баланс позволяет составить обоснованное мнение о степени совершенства техпроцессов и общем состоянии химического производства. Чем более полно составлен этот баланс, тем более детально выполнено изучение данного технологического процесса. Чем меньше в процессе побочных продуктов и потерь, тем больше уверенность, что процесс проводится правильно.

Если некоторый процесс мало изучен, то невозможно составить для него материальный баланс. Выявленные при изучении процесса большие потери в материальном балансе показывают, что данную технологию необходимо усовершенствовать.

#### Выход конечного продукта

Выходом конечного продукта или просто выходом называют выраженное в процентах отношение полученного при проведении процесса количества продукта к количеству поступившего для переработки исходного материала.

Для разных процессов в химическом производстве, протекание которых можно выразить количественно стехиометрическими уравнениями, выход выражается в процентах полученного практически количества продукта к его количеству, возможному теоретически, строго соответствующему стехиометрическому уравнению для данной реакции.

Выход на практике всегда меньше 100 % вследствие потерь. Процесс тем совершеннее, чем ближе его выход к 100%, так как меньше расходуется исходных материалов и, соответственно, ниже стоимость производимого продукта.

Можно поступить иначе, если нельзя составить точное уравнение протекания некоторых химических процессов. В таком случае выход можно выразить количественно отношением готового продукта к поступившим для переработки исходным материалам, выход тогда будет всегда менее 100 %. Можно также отнести вес готового продукта к весу какого-то одного исходного материала, тогда выход может оказаться даже больше 100 %.

#### Производительность процесса

Производительность – это основная характеристика промышленного оборудования. Она выражается количеством поступающих в процесс для переработки материалов в единицу времени, т.е. в секунду, минуту, час или даже в сутки. Можно использовать для измерения производительности также количество получающихся при переработке материалов, рассчитанное также для единицы времени. Для выражения количества перерабатываемых материалов используют следующие единицы измерения:

весовые – килограммы, тонны;

объёмные – литры, кубометры;  
счётные – штуки, единицы.

К примеру, производительность различных мельниц и дробилок выражается обычно в тс/час или кгс/час, для жидкостных насосов могут использоваться м<sup>3</sup>/сек (/мин или /час), л/мин, а при прессовании пластмассовых изделий производительность прессов может быть выражена в шт./час или шт./сутки, etc.

При одинаковых условиях у различных типов химического оборудования их производительность зависит как от размеров этих устройств, так и от скоростей процессов, протекающих в них. Для бóльших размеров машин и аппаратов характерна бóльшая скорость протекания процессов, а, следовательно, и бóльшая производительность.

Интенсивность протекания технологических процессов

Интенсивность процесса – это производительность химического оборудования, которая отнесена к одной из основных единиц, характеризующих данное устройство. К примеру, для выпарных аппаратов интенсивность может характеризоваться количеством воды, которая выпаривается в течение часа с одного квадратного метра поверхности нагрева.

Повышение интенсивности любого процесса ведёт к сокращению требуемого оборудования, рассчитанного по объёмам производства, или же к уменьшению габаритов используемого химического оборудования. Уменьшаются затраты на капитальное строительство, а также на эксплуатацию оборудования и ремонт, и, тем самым, повышается производительность труда, являющаяся для производства основным показателем его экономичности.

Интенсификация производства, которая является синонимом повышения интенсивности применяемых технологических процессов, – это одно из самых важных условий, позволяющих повысить производительность труда и перевести химическую промышленность на более высокий, по отношению к достигнутому, технический уровень. Для интенсификации производственных процессов характерно стремление, используя одну и ту же аппаратуру, одно и то же оборудование, за один и тот же период времени, силами одного и того же обслуживающего персонала добиться производства возможно большего количества готовой продукции.

Тепловой баланс

Обозначим количества тепла, в ккал, следующим образом:

$Q_1$  — введенного в процесс вместе с материалами;

$Q_2$  — введенного в процесс извне;

$Q_3$  — выделяющегося при ходе процесса;

$Q_4$  — выведенного из процесса вместе с материалами;

$Q_5$  — теряемого безвозвратно в окружающую среду.

Тогда можно уравнение теплового баланса записать в следующем виде:

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

### Коэффициент полезного действия (КПД) и мощность

Промышленное оборудование характеризуется не только производительностью, но и мощностью. Она представляет собой работу, затрачиваемую или получаемую в единицу времени. Мощность, как правило, выражается в единицах измерения квт (киловатт) или л. с. (лошадиная сила). Заметим, что мощность, затрачиваемая на приводном валу у оборудования, отличается от мощности двигателя, приводящего его в движение. У любого двигателя мощность из-за потерь энергии, происходящих в механизмах передачи, должна быть всегда больше, чем мощность, которая будет требоваться на валу машины или аппарата.

Таким образом, можно утверждать, что полезная мощность или полезная работа всегда будет меньше, чем затрачиваемая фактически мощность или работа. Отношение мощности полезной ( $N$ ) к фактически затрачиваемой ( $N_e$ ), при учёте всех неизбежных потерь, называют КПД – коэффициентом полезного действия химического оборудования:

$$\eta = \frac{N}{N_e}.$$

Величина КПД практически всегда будет меньше единицы. При этом, чем конкретная машина или аппарат работает совершеннее, тем их КПД ближе к единице.

## Список рекомендованной литературы

Альперт Л. З. Основы проектирования химических установок биотехнологии. – М.: Химия, 1989. – 208 с.

Арис Р. Анализ процессов в химических реакторах /Пер. с англ.; /Под ред. И. И. Иоффе. –М.: Химия, 1967. –328 с.

Бакластов А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепло- и массообменных установок. –М.: Высшая школа, 1981. –426 с

Основы проектирования химических производств: Учебник для вузов /Под ред. А. И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига» 2010. – 371 с

Ковалевский, В.И. Проектирование технологического оборудования и линий : учебное пособие для вузов / В.И. Ковалевский. – СПб. : ГИОРД, 2007. – 320 с

Основы проектирования химических производств: учебник / С. И. Дворецкий, Д. С. Дворецкий, Г. С. Кормильцин, А. А. Пахомов. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2014. – 356 с. – 400 экз. – ISBN 978-5-4442-0069-8.



Электронное учебное издание

Владимир Григорьевич **Кочетков**  
Виктор Фёдорович **Каблов**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК  
ПРЕДПРИЯТИЙ ОТРАСЛИ**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2017 г. Поз. № 15.

Подписано к использованию 26.12.2017 г. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Times. Усл.  
печ. л. 5,06.

Волгоградский государственный технический университет  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.