

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Методические указания к практическим занятиям

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2020

ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	2
Практическое занятие № 1. Тема: ЗАДАЧА ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА. ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	2
Практическое занятие № 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАК ВИД ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	4
Практическое занятие № 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ: СОСТАВ И РАЗДЕЛЫ.....	8
Практическое занятие № 4. РАБОЧИЙ ПРОЕКТ.....	13
Вопросы-тесты для самоконтроля.....	14
2 ОБОРУДОВАНИЕ.....	16
Практическое занятие № 5. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ. ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	16
Практическое занятие № 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ.....	21
3 МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕКОТОРОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	22
Практическое занятие № 7. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА И РАСЧЕТ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ.....	22
Практическое занятие № 8. РАСЧЕТ ОТСТОЙНИКА.....	23
Практическое занятие № 9. РАСЧЕТ ЦИКЛОНА, ЦЕНТРИФУГИ И РАСЧЕТ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА.....	28
Практическое занятие № 10. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ ВАНН ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

1 ОБЩИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Практическое занятие № 1. Тема: ЗАДАЧА ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Любое производство должно постоянно развиваться, совершенствоваться для выполнения своей социально-экономической функции и улучшения своих экологических показателей.

В рыночной экономике возможность технического совершенствования превращается (перефразируя Энгельса) в своего рода категорический императив, повелевающий всем производителям и каждому из них совершенствовать своё производство буквально под страхом «рыночной смерти». Производитель, выпускающий лучшую и новейшую продукцию, имеющий лучшую технику, технологию и организацию производства, получает решающее преимущество для завоевания и процветания на рынке.

Собственно, постоянное совершенствование производительных сил и техносферы в целом составляет сущность научно-технического прогресса человечества.

Сказанное выше отражает три основных аспекта технического развития производства.

1. Создание и производство новых видов продукции

Применительно к ХТП это поиск новых экономически и экологически выгодных способов производства технически важных химических веществ. Эта задача в большей мере решается исследованиями в области фундаментальной химии, т.е. непосредственно не связанной с деятельностью химика-технолога.

2. Совершенствование химических основ технологии

Это разработка новых и совершенствование существующих методов синтеза химических веществ в широком смысле слова. Сюда относятся: совершенствование химических схем и сокращение стадийности производства; рационализация и универсализация сырьевой базы; повышение выходов целевых продуктов и снижение количества отходов на всех стадиях синтеза; рационализация режимов ведения процессов; совершенствование методов химического и физико-химического анализа.

3. Совершенствование технической базы производства

Под «техникой» в отечественной научной и философской литературе подразумеваются все материальные средства, используемых человеком в своей деятельности.

Применительно к производству это: всё технологическое, энергетическое, транспортное, кибернетическое и иное специальное оборудование; здания, открытые наземные и надземные, а также подземные сооружения в которых это оборудование находится. В совокупности оборудование, здания, сооружения, коммуникации, определённым образом размещаемые на местности, образуют сложный технический комплекс, именуемый промышленным предприятием.

Совершенствование технической базы производства реализуется в нескольких формах, различающихся объёмом и сложностью работ.

Техническое перевооружение. Заключается в замене отдельных экземпляров оборудования (технических единиц) на иное:

- идентичное по конструкции, но физически новое, не изношенное;
- аналогичное по конструкции, но изготовленное из более качественных материалов;
- более совершенное по конструкции.

Техпереворужение не затрагивает системно технических и технологических основ производства (лишь отдельные элементы: конкретные позиции оборудования или отдельные технологические решения). В силу этого оно практически не требует строительства новых зданий и сооружений и может быть осуществлено в ходе планово-предупредительных ремонтов без длительной остановки производства. Это наиболее

дешёвый путь развития производства; однако возможности его весьма ограничены: больших, прорывных успехов этим путём достичь нельзя.

Реконструкция. Состоит в системном полном или частичном переоборудовании действующих производств на базе новой техники и технологии. При реконструкции заменяются целые комплексы изношенного или морально устаревшего оборудования, устраняются имеющиеся диспропорции в технологических и иных производственных звеньях. Реконструкция, как правило, осуществляется без строительства новых зданий и сооружений, но довольно часто требует частичной перестройки или расширения действующих цехов основного производственного назначения.

Освоение производства новых видов продукции, а также системное совершенствование технологии существующих производств (например, совершенствование химических схем синтеза или оптимизация технологического режима отдельных стадий процесса) тоже по существу является реконструкцией, даже если совершенно не требует обновления техники. Кроме того, к реконструкции относятся работы по перепрофилированию предприятий.

Расширение. Строительство новых производственных комплексов на территории действующих предприятий. Его осуществляют для увеличения мощности действующего предприятия с одновременным улучшением технико-экономических показателей, которые не могут быть достигнуты путем реконструкции или технического перевооружения.

При расширении действующего предприятия осуществляется;

- строительство последующих его очередей (дублирующих существующие и создающих условия для их реконструкции);
- дополнительных производств, новых цехов (или расширение действующих цехов) основного производственного назначения;
- новых объектов вспомогательного и обслуживающего назначения;
- опытных производств, исследовательских и испытательных центров.

Реконструкция и расширение производства позволяют достичь существенных результатов, обеспечивающих увеличение объема выпуска и/или расширение ассортимента и улучшение качества продукции, повышение адаптивности производства и его экологизации при относительно небольших затратах.

Реконструкция предприятий имеет следующие преимущества по сравнению со строительством новых аналогичных предприятий или расширением действующих.

1. Отсутствие необходимости освоения и инженерной подготовки новой площадки строительства;
2. Возможность использования существующей инфраструктуры производства: зданий, инженерных сооружений и коммуникаций; наличие квалифицированных кадров.
3. Меньший объем изыскательских, проектных и строительно-монтажных работ.
4. Сокращение сроков и сметной стоимости строительства объектов.
5. Меньшие сроки ввода в действие и освоения производственных мощностей.
6. Сохранение природных ландшафтов, флоры и фауны региона.

Как показывает опыт, капитальные вложения (инвестиции), направленные на техперевооружение, ре-

конструкцию и расширение производства, окупаются примерно вдвое быстрее, чем при *новом строительстве*.

Новое строительство. В строгом смысле слова так называют полное сооружение нового предприятия (и последующих его очередей). Этот путь позволяет достигать весьма больших результатов собственно в производстве, однако имеет много экономических и экологических недостатков.

1. Максимальный объем проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ.
2. Наибольшая стоимость и сроки строительства, пуска и освоения объекта.

3. Воздействие на социально-демографическую ситуацию региона, т.к. как правило требуется искать и привлекать новые трудовые ресурсы. При этом возникают дополнительные урбанистические (необходимость нового жилищного строительства) и дорожно-транспортные проблемы, поскольку большому числу людей нужно добираться до работы.

4. Максимальное негативное техногенное воздействие на окружающую среду; занятие новых территорий и акваторий.

К новому строительству следует прибегать по существу лишь в следующих ситуациях.

1. Необходимая новая продукция не может быть произведена на действующих предприятиях, даже после их реконструкции.

2. Создание новых современных предприятий на существующих или новых площадках и промзонах взамен ликвидируемых устаревших объектов, дальнейшая эксплуатация которых признана нецелесообразной по экономическим или экологическим причинам.

3. Соответствующие производства необходимы в интересах национальной безопасности.

Реконструкция, расширение и новое строительство относятся к сфере *капитального строительства*.

Практическое занятие № 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАК ВИД ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Суть проектирования. Техническое развитие производства принципиально не может протекать как стихийный процесс (по произволу производителей, проектировщиков) ни в техническом, ни в социально-экономическом аспектах. Напротив, такое развитие возможно лишь на основе тщательно проработанных научно-, технически-, экономически- обоснованных и должным образом оформленных и изложенных технических решений. Выработка таких решений на основании практического опыта, научных изысканий, социально-экономических анализов и прогнозов, комплексной научно-технической и экологической экспертизы данных и результатов составляет сущность и содержание *проектирования* как вида инженерной деятельности.

Проектирование – инженерная деятельность, связанная с выработкой и надлежащего в техническом и правовом отношении оформления технических решений.

Т.е., по существу, проектирование суть процесс переработки опытно-эмпирической, а также экспериментальной и теоретической научной информации в новые технические решения и изготовления соответствующей технической и технологической документации (в электронной форме, либо на иных носителях).

Проектирование играет в научно-техническом прогрессе громадную роль. Именно эта сфера соединяет результаты научных исследований и накопленный опыт с живой практикой во всех областях техносферы. Поэтому исследователям и инженерам-практикам, управляющим производством, следует знать и владеть хотя бы основами проектирования, а хороший проектировщик непременно должен знать производственную практику и понимать суть научной работы в своей специальности.

Всю производственную техносферу с известной долей условности можно разделить на три больших области:

1. Строительство – производство долговременных зданий и сооружений.

2. Машино- и приборостроение – производство подвижных средств техники.

3. Технологические отрасли – производство веществ и материалов, а также энергии. Сюда относятся все отрасли, основанные на химических и биотехнологиях.

При этом во всех означенных областях можно выделить две тесно связанных, но относительно самостоятельных специфических сферы деятельности.

1. Создание (*разработка, дизайн*) самих предметов труда: веществ и материалов; машин, механизмов, аппаратов приборов, строительных конструкций; зданий, дорог, мостов и т.д.

2. Разработка методов получения, изготовления предметов труда – т.е. *технологии производства* в самом широком смысле слова.

Техническая (проектная, конструкторская, технологическая, эксплуатационная) документация должна обеспечить людям возможность выполнения работ и достижения целей, в ней отражённых. Это возможно только при применении чётких, ясных единообразных норм и правил, касающихся требований к содержанию; построению; терминологии и языку; порядку разработки, согласования и утверждения технической документации. По существу, это необходимость применения *Систем* документации. Такие системы существуют в большинстве развитых стран.

В нашей стране это следующие Системы, относящиеся к основным областям техносферы.

1. *Строительство*. В этой сфере принят термин *проектирование*. Принципы, нормы и правила определяет Система Проектной Документации для Строительства – СПДС.

2. *Создание новой техники*. Принят термин *конструирование*. Принципы, нормы и правила определяет Единая Система Конструкторской Документации – ЕСКД.

3. *Создание новых производственных процессов*. Здесь также принят термин *проектирование* (технологическое проектирование в узком смысле слова). Принципы, нормы и правила определяет Единая Система Технологической Документации – ЕСТД (в частности, сюда относятся принципы и правила разработки и построения Технологических Регламентов).

4. *Качество и безопасность продуктов, услуг, работ*. Национальная (государственная) [ГОСТ – межгосударственные СНГ; ГОСТ Р-российские] и международные (ISO) системы стандартов. Общие межотраслевые правила безопасности – Технические Регламенты.

Реальное проектирование, как правило, требует выполнения норм всех этих систем.

Область создания новых материалов установившейся системы норм и терминологии пока не имеет. Собственно, это в большей мере относится к научной сфере.

ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

Промышленное развитие (строительство и проектирование как его аспект) прямо или косвенно затрагивает интересы и права практически всех людей. Следовательно, оно не может быть стихийным в правовом отношении, но должно производиться в соответствии федеральными и региональными законами и общими правилами технической безопасности; соответствующими национальными и международными договорами; стандартами и нормами.

Кроме того, техническая (в т.ч., проектная) документация по содержанию; построению; терминологии и языку; порядку разработки, согласования и утверждения должна позволять чётко устанавливать правоотношения субъектов технической деятельности друг с другом, обществом и государством; а также способы разрешения этих отношений вплоть до судебных.

Проекты подлежат согласованию в органах местной, региональной и федеральной исполнительной власти. Важнейшие из них: *Гостехнадзор*; *Госсанэпиднадзор МЗ*; *Госпожнадзор МЧС*; *Минприроды*; *Минсельхозпрод*; *Госкомстрой*. В ряде случаев требуется согласование *МВД*, *ФСБ* и *МО*.

В соответствии с вступившим в силу с 1 июля 2003 г. «Законом о техническом регулировании» разрабатываемые *Технические Регламенты* подлежат утверждению *Федеральным Собранием и Президентом России* как *Федеральные законы*.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО ДЕЛА.

Проектирование является сложным с содержательной стороны и социально значимым (затрагивающим права и интересы многих людей) видом профессиональной деятельности.

Техническая сложность и многопрофильность проектных задач обуславливает то, что проектированием должны заниматься не одиночки, но целые коллективы специалистов

Социальная значимость этой деятельности требует, чтобы на общественном уровне коллективы специалистов-проектировщиков имели статус *юридического лица*, несущего правовые обязательства и ответственные за результаты своей работы.

В силу указанных причин проектным делом занимаются следующие юридические лица.

1. *Индивидуальные специалисты, имеющие лицензии на определённые виды проектных работ и личные печати, зарегистрированные в соответствующих государственных и иных правовых структурах.*

Это высококвалифицированные инженеры, способные лично решать самые сложные задачи. Однако естественная ограниченность возможностей человека обуславливает то, что по преимуществу они работают в фирмах и госучреждениях как привлечённые специалисты.

Такие специалисты несут персональную ответственность за качество своей работы, даже если работают в фирмах и госучреждениях.

Эта практика широко распространена в мире. В нашей стране в силу исторических причин начинает развиваться лишь сейчас.

2. *Специальные проектные (проектно-конструкторские, научно-исследовательские и проектно-конструкторские) организации – фирмы и институты (ПИ, НИПИ, ПКИ, НИПКИ).*

В мире это по преимуществу частные организации. В СССР была создана развитая система специализированных и многопрофильных государственных проектных институтов; многие из них являлись не только проектными, но и научно-исследовательскими организациями. Кроме того, очень многие отраслевые НИИ имели в своём составе проектные и конструкторские подразделения.

Среди них (как и среди научных организаций) выделялись т.н. *головные* институты, имевшие в названии слово *Всесоюзный* или *Государственный* (преимущественно в сфере ВПК). Эти институты имели особый статус лидеров, определявших научно-технические и организационно-правовые пути развития проектного дела в соответствующих областях техники и производства. В целом в советской экономике система ПИ была стержнем проектного дела.

В настоящее время в России и СНГ эти институты имеют статус ведущих научно-технических и научно-методических центров. Однако их властные полномочия (возможность реально влиять на экономику) существенно снизились – за исключением ряда институтов органов государственного управления (МЗСО, МЧС, МВД, МО, Гостехнадзор).

3. *Проектные и конструкторские подразделения предприятий.*

Во всём мире большинство сколько-нибудь крупных производственных фирм (предприятий) имеет в своей структуре проектные и конструкторские подразделения; причём во многих случаях это подлинные ПИ по числу работников, структуре, оснащению и техническим возможностям.

В условиях рыночной конкуренции это совершенно необходимо для сохранения технической (а, следовательно, и экономической) независимости и выживания.

В нашей отрасли в советское время все ХФЗ также имели свои ПКО, что существенно способствовало их развитию. По счастью, на большинстве выживших в годы т.н. «реформ» предприятий они сохранились, хотя их возможности существенно снизились.

Эти три звена теснейшим образом взаимодействуют, формируя в обществе систему организации проектного дела.

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

Сложность задач и содержания проектирования определили то, что эта работа складывается из трёх основных этапов: предпроектной проработки; разработки технического проекта и рабочего проекта.

1. ПРЕДПРОЕКТНАЯ ПРОРАБОТКА (ППр)

В целом этот этап работы выполняют для чёткого определения целей, задач и условий проектирования и строительства, а также для сбора необходимой информации.

В зависимости от конкретных задач ППр может включать следующие работы.

1. Маркетинг будущего производства: оценка потребности и «рыночной судьбы» продукта.
2. Накопление и анализ всевозможных данных о научных основах и возможных методах получения продукта; о свойствах полупродуктов и материалов.
3. Проведение инженерно-геологических (гидрологических) изысканий с целью поиска и характеристики возможного места строительства (для расширения и нового строительства).
4. Комплексное обследование и оценка существующего места строительства (для реконструкции и техперевооружения); либо характеристика участка размещения.
5. Оценка наличия и состояния имеющегося оборудования и иных технических средств.
6. Анализ имеющегося производственного опыта и технической документации.
7. Анализ социально-экономической, экологической и демографической ситуации.
8. Выработка требований к будущему или реконструируемому производству.

ППр имеет целью и завершается разработкой документов, на основании которых ведут проектирование. К ним относятся:

1. **ИСХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.** Первоначальный документ, формулирующий технические требования к будущему производству или иному техническому объекту.

2. **ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ.** Это важнейший исходный документ. Без него грамотное проектирование невозможно. Задание разрабатывает либо сам Заказчик, либо Проектировщик и согласует его с Заказчиком.

Задание на проектирование состоит из следующих обязательных разделов.

1. *Обоснование необходимости проектирования (разработки).* Здесь обосновывается необходимость и доказывается возможность и целесообразность осуществления проекта.

2. *Цели и задачи проектирования (разработки).* Формулируется главная цель проекта – вид и характер производства. Вид строительства: реконструкция, расширение, новое строительство – или техперевооружение. Раскрываются конкретные задачи проекта, обусловленные условиями.

3. *Требования к проекту (создаваемой научно-технической продукции).* Это центральный раздел ЗП. Здесь излагаются главные технические требования к создаваемому объекту: вид объекта, мощность производства, стадийность, экологические требования, сырьё, метод производства.

4. *Состав проекта (научно-техническая продукция, передаваемая Заказчику).* В целом состав проекта достаточно жёстко определяется видом проектирования. Однако в конкретных условиях Заказчик может иметь особые требования, не предусмотренные общими правилами, либо наоборот, некоторые разделы проекта Заказчику не нужны.

5. *Порядок выполнения, сдачи и приёмки проектных работ.* Этапы, план, график, содержание работ. Документы, оформляющие выполнение работ. Ответственные лица.

6. *Порядок реализации проекта (использования результатов разработки).* Итоговый раздел важного правового содержания. Устанавливает возможность или невозможность реализации проекта Заказчиком в иных условиях, реализации его третьим лицам и т.д.

3. **ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.** Этот вид документа применяется главным образом в области машино- и приборостроения. По структуре - аналогично ЗП. Принципиально

отличается тем, что в разделах 3 и 4 содержатся подробные, сформулированные в виде численных характеристик и параметров, требования к техническим характеристикам создаваемых образцов техники и материалов (скорость транспортных машин, коррозионная стойкость материалов, массо-габаритные характеристики, показатели надёжности и т.д.).

4. **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ.** Свод информационных материалов, необходимых для проектирования. Применительно к химическим производствам это: характеристика продукта; известные методы получения продукта; свойства сырья и полупродуктов; скорости и равновесия химических и физико-химических процессов; технологические документы; более ранние проекты аналогичных производств.

Исходные Данные (**ИД**) разрабатываются как приложение к ЗП/ТЗ, либо как самостоятельный документ. Очень часто в качестве **ИД** (либо их части) используют регламенты; более того, такие их виды как ЛР, ОПР и ТР, как правило, разрабатывают в первую очередь для целей проектирования.

Практическое занятие № 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ: СОСТАВ И РАЗДЕЛЫ

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ. На данном этапе вырабатывают основные технические решения по всей проблематике проекта; выявляют неточности Задания и неполноту Исходных данных; устанавливают необходимые доработки и согласования разделов проекта.

РАБОЧИЙ ПРОЕКТ. Это окончательный вариант проекта, содержащий все необходимые, предусмотренные Заданием документы.

На этапе рабочего проектирования производят устранение всех выявленных недоработок, согласуют изменения с Заказчиком; окончательно согласуют все проектные решения по разделам; разрабатывают рабочую документацию для строительно-монтажных работ, пуска и освоения производства (в т.ч. Пусковой Регламент).

Во всех возможных случаях этапы проектирования соединяют, разрабатывая *технорабочий проект*.

СОСТАВ И РАЗДЕЛЫ ПРОЕКТА.

Любой проект производства содержит ряд обязательных разделов.

1. Технология производства.

Центральный раздел. (Для данного курса это единственно важный раздел; остальные – смежные – лишь упоминаются).

2. Управление и автоматизация производства.

3. Механизация производства.

4. Электроснабжение: силовое и слаботочное.

5. Общее энергообеспечение.

Паросиловые системы. Газоснабжение. Компрессорные и вакуумные системы. Печи и котлы технологического назначения.

6. Отопление и вентиляция.

7. Водоснабжение и канализация.

8. Системы информационной и физической защиты.

9. Строительная часть.

Производственные здания (или помещения). Здания (или помещения) иных технических систем, складские или вспомогательные. Административно-бытовые здания.

Подземные, наземные и надземные сооружения и сети. Внутренние и внешние рельсовые и нерельсовые пути. Бассейны и водотоки.

Проектные материалы излагаются в ряде документов.

1. **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.** Текстовый документ. Содержит необходимые обоснования, расчёты, комментарии и изложение принципов, заложенных в проект.

(Ранее это была расчётно-пояснительная записка, подробно излагавшая все основы и расчёты. Сейчас проектировщик не обязан выдавать свои расчёты и проектные ноу-хау; но отвечает за качество и надёжность решений).

2. **ГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.** Схемы и чертежи, в соответствии с которыми ведут строительство, монтаж и эксплуатируют производство.

3. **ЗАКАЗНЫЕ ВЕДОМОСТИ И СПЕЦИФИКАЦИИ.** Документы обычно табличной или текстово-табличной формы. Содержат точные указания относительно типов и технических характеристик оборудования, покупных материалов и комплектующих: т.е. всего материального обеспечения строительства и производства.

4. **СМЕТНЫЕ ДОКУМЕНТЫ.** Текстовые и табличные документы, содержащие необходимые экономические выкладки и обоснование стоимости реализации проекта.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Место и роль технологического проектирования. Цель проектирования для производства - создание будущего, либо совершенствование существующего производства. Основу этого, особенно в технологических отраслях, *аргіогі* составляет *технология*; например, технология нефтеорганического синтеза.

Поэтому с необходимостью центральной частью проекта является проектирование производственного процесса – т.е. *технологическая часть (ТЧ)*.

Имеются особенности проектирования для строительства и для техперевооружения и/или освоения нового производства на существующих мощностях.

В первом случае технология (т.е., собственно производство) излагается в соответствующем разделе проекта.

Во втором случае объём всех остальных разделов сравнительно невелик. Проектирование по существу воплощается в разделе ТЧ.

В обоих случаях выполнение раздела ТЧ называют *технологическим проектированием*. ТЧ определяет содержание и объём всех остальных разделов проекта.

АЛГОРИТМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Излагаемый алгоритм несколько условен и отражает по преимуществу внутреннюю логику проектирования, но не его реальные стадии и этапы, которые обычно выполняют в большей или меньшей степени параллельно.

Предполагается (по умолчанию), что Задание на проектирование уже разработано, согласовано в установленном порядке и выдано Проектировщику (независимо от его юридического статуса и формы собственности). Проектирование осуществляется в соответствии со схемой *технический проект* → *рабочий проект*.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ

1. Анализ Задания и Исходных Данных.

По существу данный этап представляет тщательное изучение Задания и ИД с целью уяснения деталей и тонкостей Задания и – что особенно важно – неточностей в Задании и пробелов (лакун) в ИД, подлежащих уточнению, исправлению и восполнению.

2. Определение основных характеристик проектируемого производства.

Здесь не имеется в виду мощность – она формулируется в Задании. Выбирают режим работы производства в целом: режим с остановками на выходные и праздничные дни либо производство непрерывного цикла – как правило, последнее. Выбирают тип технологического процесса по стадиям: непрерывный, периодический или непрерывно-периодический. Оценивают график *планово-предупредительных и текущих ремонтов* (ППР); вычисляют реальный годовой (квартальный, месячный) *фонд рабочего времени* (ФРВ). Находят среднесуточную производительность.

3. *Общий анализ химико-технологического процесса (ХТП) и химико-технологической системы (ХТС).*

По существу, заключается в построении *химической, технологической (ХТП) и аппаратурной (ХТС) схем* (по определениям ОСТ 42-505-96), также *циклограмм процесса*.

Химическая схема процесса. Как правило, в практике отраслей ТОО в Задании и ИД уже выбрана одна конкретная химическая схема производства (например, путь синтеза целевого продукта). В этом случае данная схема должна быть представлена подробно, с указанием для каждой стадии синтеза не только целевой, но также основных (желательно - всех) побочных и сопряжённых реакций. Необходимо оценить степени превращения исходных субстратов, химические выходы целевого и побочных продуктов, параметры химических и фазовых равновесий; кинетические параметры химических и массообменных процессов; особенности и точностные характеристики применяемых методик анализа.

Однако иногда в ИД приводят конкурентные варианты методов синтеза. В этих случаях необходимо прежде всего обосновать и согласовать с Заказчиком выбор одного варианта химической схемы либо – что наиболее сложно – проектировать несколько вариантов.

Химическая схема *производства* изображается согласно ОСТ 64-03-002-2002 с использованием линейной или вертикальной формы записи. Для представления химических схем процессов стадий (где собственно и указывают побочные и сопряжённые реакции) необходимо использовать именно линейную форму, поскольку она удобнее для детальных записей.

Технологическая схема процесса. Схему строят в соответствии с принципами и классификацией стадий и операций ОСТ 64-03-002-2002. Здесь главным исходным пунктом является тщательный анализ текста Изложения технологического процесса в ИД (регламенте).

Для выделения *стадий производства* фрагментируют текст по указаниям на выделяемые или определяемые аналитически в реакционных массах полупродукты и конечный продукт (либо на изложение процессов очистки продуктов).

Для разбиения *стадий производства на технологические операции* находят указание на использование *основного технологического оборудования*: реакторов, массообменных аппаратов, фильтров, центрифуг, сепараторов, смесителей, сушилок, механико-технологических машин и т.д. *Вспомогательное и многоцелевое оборудование*: мерники, сборники, весы, теплообменники общего назначения, насосы, газодувки, транспортёры - не учитывают.

Построение ТСП позволяет:

- сразу увидеть общую логическую и трудовую структуру процесса;
- наглядно представить схему движения сырья и полупродуктов;
- оценить виды и состояние отходов и выбросов.

Аппаратурная схема производства. Здесь также подразумевается именно построение АСП согласно ОСТ 64-03-002-2002, а не *монтажно-технологической схемы* по правилам ЕСКД. АСП является упрощённым документом; на ней представляют только технологическое оборудование и средства КИПСА, задействованные в данном конкретном процессе. Оборудование общего назначения и сети не отображают; типы трубопроводной арматуры не детализируют; правила и особые требования к монтажу не приводят.

Построение АСП позволяет выделить именно то оборудование, которое в первую очередь требуется для создаваемого процесса, а также предварительно выбрать типы этого оборудования; представить схему потребления энергоресурсов; отобразить общую схему технологических трубопроводов; показать общие принципы контроля, автоматизации и управления процессом.

Циклограмма – схема, отражающая ход процесса во времени. Построение циклограмм необходимо при проектировании периодических процессов (в непрерывных процессах все стадии и операции осуществляют одновременно).

Выделяют два вида (два уровня) циклограмм.

Для описания *стадий производства и технологического процесса* в целом применяют т.н. *топологические циклограммы*, показывающие общее состояние основных

аппаратов во времени по принципу: «работает одновременно - работает независимо - не работает» (рисунок 1).

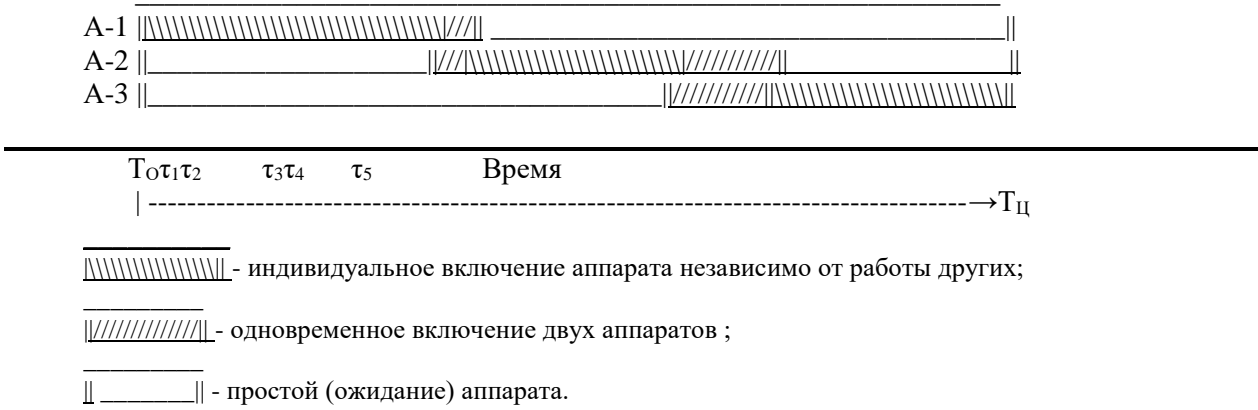


Рисунок 1- Топологическая циклограмма процесса

Из рисунка 1 видно, что выполняется условие:

$$T_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 \tag{1}$$

Т.е., суммарное время работы всех основных аппаратов составляет общую продолжительность технологического цикла.

Эта циклограмма показывает *критические*,наиболее длительные операции, а также выявляет характер занятости персонала – возможности людей одновременно обслуживать несколько аппаратов и общий уровень нагрузки на человека. В итоге получают важную технико-экономическую характеристику производства.

Для описания динамики хода процессов в конкретных аппаратах (технологические операции и процедуры) применяют *циклограммы физического состояния аппарата*. Это графики, показывающие изменение количества вещества и температуры в аппарате (рисунки 2 и 3).

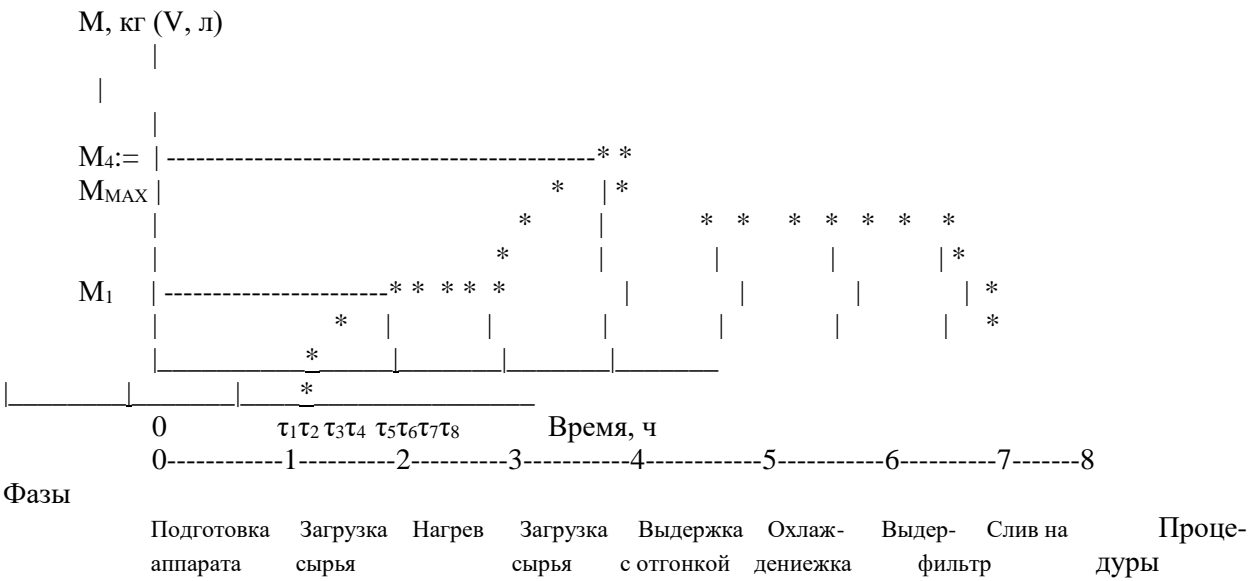


Рисунок 2- Циклограмма количества вещества в аппарате

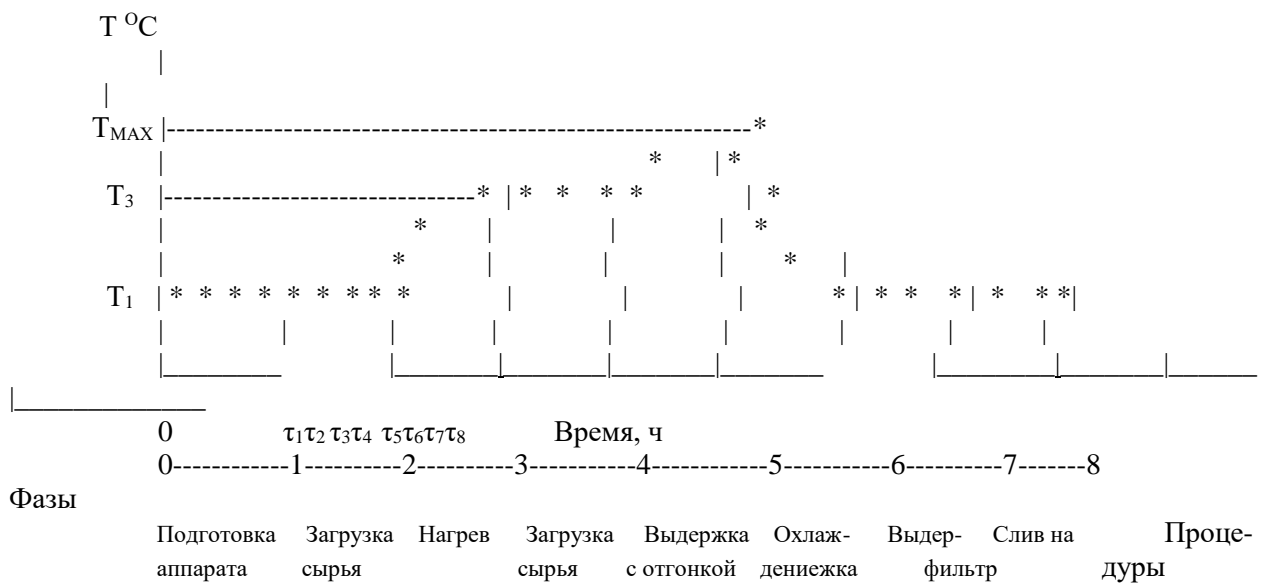


Рисунок 3 - Циклограмма температурного режима в аппарате

Выполнение этого этапа даёт целостную, хотя и самую приближённую картину проектируемого процесса. Далее следует детализированный количественный анализ процесса.

Сбор данных о свойствах веществ и материалов. Сведения о физико-химических свойствах сырья, материалов, полупродуктов совершенно необходимы для проектирования. К сожалению, как правило, в Заданиях и ИД, они недостаточны. Это вынуждает

проектировщиков проводить литературный поиск либо прибегать к расчётным методам.

Расчёт материального баланса процесса. Центральный этап всех расчётов. Матбаланс – основа для выбора оборудования; расчётов динамики процессов; определения потребностей в сырье и материалах; оценки экономических и экологических характеристик процесса.

Предварительный выбор оборудования. Выбор оборудования производят на основании сведений о матбалансе стадий и операций процесса; свойствах продуктов и сред, условиях ведения процесса.

Расчёты динамики процессов. Наиболее сложный этап расчётов. Обычно на производственном жаргоне эти расчёты называют *расчётами оборудования*, что неверно поскольку этим занимаются конструкторы. Технологи выполняют расчёты динамических характеристик процесса (скорости; тепловые мощности процессов; реальное время протекания превращений, массообменных, тепловых и иных процессов).

Эти расчёты имеют характер *поверочных*; их выполнение преследует две цели:

- подтвердить пригодность выбранного оборудования для осуществления процесса в рациональных режимах, соответствующих Заданию;
- выявить недостатки выбора оборудования. Определить необходимые усовершенствования, переделки, изменения норм технологического режима.

Разработка эскизных вариантов чертежей. В раздел ТЧ входят следующие графические документы:

-монтажно-технологические (функциональные) схемы; отражающие последовательность подключения и принципы работы всего – технологического, энергетического, транспортного, управляющего-оборудования;

- планы и разрезы, изображающие пространственное расположение оборудования;

-монтажно-технологические чертежи, показывающие компоновку (точное расположение) оборудования и трассировку в пространстве технологических трубопроводов и сетей;

- согласование доработок проекта по разделам.

Параллельно с технологами работают над своими разделами проекта все специалисты-смежники. Техническое проектирование завершается обсуждением всех необходимых доработок и согласованным (при необходимости – также и с Заказчиком) уточнением задания по разделам. После этого начинают рабочее проектирование.

Практическое занятие № 4. РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

Рабочее проектирование по доработанным со смежниками деталям. Задания включает следующие стадии.

Уточнение общей структуры процесса и расчётов. В большинстве случаев после доработки Задания требуется уточнить аппаратную и технологическую схемы производства и результаты технологических расчётов.

Работы ведут аналогично стадиям 1-8 Технического проекта параллельно по всем аспектам. В итоге получают следующие сведения.

1. Уточнённый график работы и ППР.
2. Уточнённую аппаратную схему производства.
3. Уточнённую технологическую схему производства.
4. Уточнённые нормы технологического режима процесса. Порядок загрузок, время на осуществление технологических операций; рабочие значения температуры и давления; динамика стадий и операций процесса.
5. Уточнённые требования к качеству сырья и материалов.
6. Нормы потерь и выходы продуктов по стадиям.
7. Энергетический баланс процесса. Требования к параметрам и расходу энергоносителей.
8. Уточнённые требования к автоматизации и механизации производства.
9. Уточнённые требования к системе аналитического контроля и метрологического обеспечения производства.
10. Состав и количество отходов и выбросов в окружающую среду.
11. Трудоемкость производства; нормы занятости, состав и численность персонала.

Изготовление рабочей документации. По результатам уточнённых расчетов изготавливают рабочую документацию, в соответствии с которой осуществляют строительство, монтаж и пуск нового производства.

1. Пояснительная записка.
2. Рабочие чертежи (монтажно-технологические схемы; планы и разрезы; монтажно-технологические чертежи).
3. Спецификации оборудования.
4. Заказные спецификации (ведомости) материалов и комплектующих изделий.
5. Сметные данные.
6. Пусковой регламент – для нового производства. Изменения в регламент и инструкции – для техпереворужения.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕГЛАМЕНТЫ В ХП

Во всех приведённых выше материалах постоянно упоминается такой вид документа как технологические регламенты. Действительно, проектирование неразрывно

связано с разработкой технологии: из технологической документации оно исходит и ею завершается.

Технологический регламент – технический документ установленной формы, определяющий правила ведения технологического процесса.

ОСТ 64-03-002-2002 определяет для ХП следующие виды регламентов.

1. *Лабораторный - ЛР*. Разрабатывается по результатам НИР. Служит основой ИД для проектирования опытного производства.

2. *Опытно-промышленный - ОПП*. Разрабатывается по результатам ОКТР на опытном производстве. Служит основой ИД для проектирования серийного производства.

3. *Пусковой (временный) – ПУР*. Разрабатывается по результатам проектирования серийного производства. Используется в период пуска и освоения производства – обычно: 6-12 месяцев.

4. *Промышленный – ПР*. Основной вид регламента. Разрабатывается по результатам производства. Используется для ведения освоения серийного производства. Подлежит пересмотру и уточнению не реже, чем каждые 5 лет.

5. *Типовой – ТР*. Специфический вид ПР для параллельных производств с единой технологией. В области промышленности синтетических БАВ применяется в производствах витаминов и некоторых полупродуктов. Служит основой ИД для проектирования параллельных производств.

Регламент состоит из следующих разделов:

1. Характеристика конечного продукта.
2. Химическая схема производства.
3. Технологическая схема производства.
4. Аппаратурная схема производства и спецификация оборудования.
5. Характеристика сырья, материалов и полупродуктов.
6. Изложение технологического процесса.
7. Материальный баланс технологического процесса.
8. Переработка и обезвреживание отходов производства.
9. Контроль производства и управление технологическим процессом.
10. Техника безопасности, пожарная безопасность и производственная санитария.
11. Охрана окружающей среды.
12. Перечень производственных инструкций.
13. Техничко-экономические нормативы.
14. Информационные материалы.

Вопросы-тесты для самоконтроля

1. Что принято понимать под проектом производства?
 - совокупность документации договора между заказчиком и подрядчиком;
 - комплекс технической документации, необходимый для сооружения промышленного объекта;
 - совокупность тендерной документации.
2. Для кого предназначена проектная документация?
 - для заказчика;
 - для главного инженера проекта;
 - для генподрядчика.
3. Что является отправным пунктом разработки проектной документации?
 - согласие субподрядчика;
 - приказ главного инженера проекта;
 - утвержденное обоснование инвестиций.
4. С какой целью применяется двухстадийное проектирование?

- с целью исключения ошибок и улучшения качества технической документации;
 - чтобы уменьшить объем проектной документации;
 - с целью сокращения сроков разработки проектной документации.
5. Кому принадлежит ведущая роль при разработке проектов?
- руководителю субподрядной организации;
 - инженеру-механику;
 - инженеру-технологу.
6. Какие главные задачи решаются при разработке обоснования инвестиций?
- определение экономической и технической целесообразности создания промышленного предприятия;
 - определение условий размещения временных зданий и сооружений.
7. Из каких статей складывается себестоимость продукции будущего объекта?
- затраты на разработку проектной документации;
 - затраты работ субподрядной организации;
 - затраты на сырье, энергетические затраты, оплата труда рабочих и управленцев, расходы на отопление, вентиляцию ремонт и обслуживание оборудования, на мероприятия по охране труда и технике безопасности, общезаводские и амортизационные расходы.
8. Какие методы используют при определении мощности будущего объекта?
- последовательного приближения;
 - балансовый и статистический;
 - метод проб и ошибок.
9. Какие факторы влияют на выбор метода (технологии) производства?
- погодные условия в процессе выбора метода;
 - технико-экономические показатели, возможности обеспечения сырьем, организация доставки сырья и вывоза готовой продукции, наличие оборудования для промышленной реализации метода, обеспечение заданной мощности и качества продукции, соблюдение санитарно-гигиенических условий труда на производстве; вопросы экологии;
 - условия сейсмичности в районе строительства объекта.
10. Что является основой для разработки эскизной схемы?
- материальный баланс производства;
 - тепловой баланс производства;
 - выбранный метод производства.
11. Какие факторы влияют на выбор площадки строительства объекта?
- стадийность проектирования, наличие тендерной документации;
 - ориентировочная потребность в сырье, месторасположение источников сырья, размещение рынков сбыта готового продукта, потребность в энергии (тепловой и электрической), количество и качество технологической воды, ориентировочные размеры строительной площадки с учетом перспективы расширения объекта, потребность в рабочей силе (по квалификациям), количество и состав отходов, подлежащих удалению, способы их обезвреживания;
 - наличие обоснования инвестиций.
12. Какая информация используется при проектировании объекта?
- сообщения центрального телевидения;
 - газетная;
 - внутренняя и внешняя.
13. Каким основным Федеральным законом должен руководствоваться проектировщик в своей деятельности?
- Федеральный закон 116-ФЗ;
 - Уголовный кодекс Российской Федерации.
14. Каковы признаки опасных производственных объектов?

- список и предельные количества опасных веществ, применяемых на проектируемом объекте и указанных в Федеральном законе 116-ФЗ;
- наличие строительных конструкций;
- использование металлопроката.

15. Что следует понимать под промышленной безопасностью?

- состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий аварий;
- состояние неработающего предприятия;
- состояние экономической стабильности общества.

16. Входит ли декларация промышленной безопасности в состав проектной документации?

- входит;
- не входит.

17. Какова периодичность пересмотра ПЛАС?

- каждые 10 лет;
- не реже одного раза в 3 года;
- не реже чем один раз в 5 лет пересматривается и уточняется в случаях изменения в технологии, аппаратном оформлении, аварий, метрологического обеспечения технологических процессов.

18. На какой стадии проектирования делается оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) проектируемого объекта?

- на стадии разработки рабочей документации;
- на стадии составления сметной документации;
- на стадии предпроектного обоснования инвестиций в строительство объекта.

19. Какой самый важный этап подготовки рабочей документации?

- разработка сметной документации;
- монтажная проработка;
- компоновка оборудования.

20. Что является конечным результатом монтажной проработки?

- сметная документация;
- чертежи трубопроводной обвязки технологического оборудования и объекта в целом;
- ситуационный план.

2 ОБОРУДОВАНИЕ

Практическое занятие № 5. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ ОБОРУДОВАНИЯ.

ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ. Любой технологический процесс осуществим только при наличии соответствующего по типу, конструкции и параметрам оборудования.

Одной из главных задач инженера-технолога поэтому является правильное (т.е. соответствующее стоящей производственной цели) использование технологического оборудования. Использованием энергетического, транспортного, вентиляционного, водоснабжающего, управляющего оборудования занимаются специалисты-смежники: механики, энергетики, кибернетики. Технолог является для всех связующим звеном.

Задача использования технологического оборудования имеет два аспекта:

- выбор нового оборудования в ходе проектирования;
- применение имеющегося оборудования с новыми целями: осуществление нового процесса или изменение условий ведения действующего производства, т.е. изменение режима работы оборудования.

Аспекты эти имеют каждый свою специфику, однако методология решения задачи в основном одинакова.

ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ. Во всех случаях выбор оборудования для химических производств обусловлен рядом очевидных требований. Эти требования обусловлены спецификой ХП.

1. Широчайшая номенклатура продуктов. Большие различия их физических и химических свойств. Жёсткие требования к качеству конечной продукции.

2. Громадное многообразие осуществляемых процессов; сложность из механизмов. Высокая потенциальная опасность процессов, обусловленная токсичностью, взрывопожароопасностью и агрессивностью сред, значительным энергетическим потенциалом процессов, использованием температур от -50°C до $+650^{\circ}\text{C}$ и давлений до 20 МПа.

3. Жёсткие требования к точности соблюдения технологических параметров.

4. Жёсткие требования к коррозионной стойкости и чистоте аппаратуры и расходных материалов. Во многих случаях аналитические методы позволяют обнаруживать нежелательные примеси в количестве (10-3...10-5)%, что формирует требования к степени загрязнения субстанций, например, продуктами коррозии. Поэтому, как правило, антикоррозионные требования в ХП по существу жёстче, чем в большинстве других отраслей химической промышленности. (Нельзя не отметить, что эти специальные требования устанавливаются специалистами в процессе пуска и эксплуатации производств, т.е., сугубо эмпирически. Отраслевых нормативных документов, кодифицирующих опыт и научно обосновывающих таковые требования, до сих пор нет).

5. Огромная и интенсивно [на (10...15)% ежегодно] обновляемая номенклатура продукции. Широчайший диапазон масштабов/мощностей производства: от долей килограмма (опытное производство) до тысяч тонн в год.

Эти обстоятельства обуславливают ряд следствий.

5.1. Доминирование периодических процессов (свыше 97%).

Эти процессы имеют ряд особенностей. Они принципиально нестационарны – их параметры постоянно меняются во времени. Каждая технологическая процедура каждой технологической операции любой стадии производства во всех технологических процессах протекает отлично от других, формируя сложный многорежимный технологический цикл на каждой серии выпуска продукции.

При этом ряд процедур и операций технологических циклов разных аппаратов и установок перекрываются – в основном при осуществлении загрузок и передачи сырья и полупродуктов.

5.2. Применение многофункционального оборудования. В наибольшей мере это относится к реакторам и массообменным аппаратам.

5.3. Нестационарность и многорежимность процессов, разнообразие свойств полупродуктов обуславливают техническую сложность управления процессами с позиций аналитического, метрологического и кибернетического обеспечения.

Выбор и определение режима работы оборудования производят на основании ряда требований, которые условно можно разделить на обязательные требования и требования оптимальности процесса.

ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ.

1. Безопасное ведение процесса.

Оборудование во всех технологических режимах должно выдерживать коррозионное действие среды, температурный режим, давление, статические и динамические нагрузки, быть герметичным, защищать людей от вредных воздействий физических полей.

2. Получение продукта установленного качества.

В первую очередь здесь важно то, что коррозия должна быть настолько незначительной, чтобы образующиеся примеси не ухудшили качества продукции.

3. Кроме того, должно быть обеспечено эффективное выделение и очистка целевых продуктов: проведение промывок, разгонок, сорбционной очистки и т.д.

ТРЕБОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ.

4. Максимальная производительность, максимальный выход целевых продуктов.

5. Возможность максимальной механизации и автоматизации процесса.

6. Обеспечение минимальной материало- и энергоёмкости процесса.

7. Минимизация количества отходов. Максимальное использование вторичных материальных ресурсов (ВМР).

8. Удобство эксплуатации, долговечность и ремонтпригодность.

9. Возможность применения в разнообразных условиях; т.е. максимально возможная технологическая гибкость производства.

10. Минимальная стоимость приобретения, монтажа и эксплуатации оборудования.

Требования безопасности продукции и работ являются общетехническими. Они в достаточной мере изложены в руководящих документах – как национальных, так и принятых международными обязательствами России (ОПВПБХП-98; ПУЭ-96; система НПБ, Правила котло-надзора, система САНПиН, система СНиП; Правила Радиационной безопасности; система стандартов и нормалей машиностроения; Codex Alimentarius; система ГОСТ Р; система ГОСТ 14000 и т.д.).

Требования оптимальности отчасти также вытекают из общетехнических правил. Но они в основном должны быть сформулированы в Задании на проектирование и Исходных данных.

ОБЩАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА И ПРИМЕНЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ. В целом можно сказать, что, несмотря на различия в назначении оборудования и громадное разнообразие типов конструкций, существует общая методология выбора и оценки условий применения.

Общие исходные положения, на которых основывается эта методология, таковы:

1. Следование общим правилам безопасности; требованиям технического и экологического законодательства.

2. Учёт общих требований к оборудованию в химических производствах и показателей эффективности его работы.

3. Учёт и понимание системы технических характеристик оборудования и правил его эксплуатации.

4. Содержание задачи технолога-проектировщика: техперевооружение, реконструкция или новое строительство.

5. Конкретные требования Задания на проектирование и условия Исходных данных:

- вид процесса – непрерывный или периодический;
- мощность производства;
- класс опасности проектируемого процесса (коррозионные, токсические, взрывопожароопасные свойства веществ и материалов, количество опасных материалов);
- система (нормы и график) планово-предупредительных ремонтов;
- используемый технологический метод;
- нормы технологического режима на всех стадиях и операциях (материальный баланс, порядок загрузки-выгрузки реагентов, температурные режимы процессов, воздействие внешних полей и излучений).

ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО РАБОТЫ. Существует ряд основных характеристик и требований, предъявляемых к технологическому оборудованию в химических производствах (в первую очередь – к реакторам).

1. *Производительность* - количество продукта, получаемого в единицу времени.

$$П = G/\tau \text{ [кг/с; кг/ч; т/ч]} - \text{массовая,} \quad (2.1)$$

$$П = V/\tau \text{ [м}^3\text{/с; м}^3\text{/ч]} - \text{объёмная.}$$

где G , V - количество продукта в массовом или объёмном измерении;

τ - время.

Как правило, следует стремиться к достижению максимальной производительности.

В первую очередь этого можно добиться увеличением размеров аппарата. Однако нужно помнить, что без значительного усложнения конструкции это возможно лишь в определённых пределах; при этом снижается удельная поверхность теплообмена, возрастает энергопотребление аппарата. Кроме того, всегда растут габариты, масса, цена и стоимость эксплуатации реактора.

Поэтому следует идти путём повышения интенсивности работы реактора.

2. *Интенсивность* - количество продукта, получаемого в единицу времени с единицы размера рабочей зоны оборудования.

Для объёмных аппаратов:

$$I_V = \Pi / V_P = G / V_P \quad [\text{кг/м}^3 \cdot \text{с}; \text{кг/м}^3 \cdot \text{ч}; \text{т/м}^3 \cdot \text{ч}] - \text{массовая} \quad (2.2)$$

$$I_V = \Pi / V_P = V / V_P \quad [\text{с}^{-1}; \text{ч}^{-1}] - \text{объёмная.}$$

Для поверхностных аппаратов:

$$I_S = \Pi / V_P = G / S_P \cdot \tau \quad [\text{кг/м}^3 \cdot \text{с}; \text{кг/м}^3 \cdot \text{ч}; \text{т/м}^3 \cdot \text{ч}] - \text{массовая} \quad (2.3)$$

$$I_S = \Pi / V_P = V / S_P \quad [\text{с}^{-1}; \text{ч}^{-1}] - \text{объёмная.}$$

где V_P , S_P - рабочий объём или рабочая поверхность реактора.

Интенсивность зависит от: конструктивного типа аппарата, механизма процесса, реализуемого макрокинетического режима, температурного режима процесса; способа подачи и отвода продуктов. Следовательно, интенсифицировать работу можно за счёт оптимизации технологического режима процесса и за счёт правильного выбора конструкции оборудования.

3. *Максимальная селективность и выход целевого продукта.* Это едва ли не самый важный критерий эффективности работы реакторов. Достигается также за счёт оптимизации технологического режима процесса и за счёт правильного выбора конструкции реактора.

4. *Минимальное энергопотребление.* Энергозатраты определяются в основном режимом движения среды, условиями перемешивания и тепловым балансом процесса. Снизить энергозатраты можно за счёт оптимизации температурного режима, использования теплоты, экзотермических процессов, правильного выбора энергоносителей.

5. *Управляемость* - достигается оптимизацией (упрощением структуры) технологического режима и обеспечением необходимого уровня автоматизации управления процессом. Важным аспектом этой проблемы является максимальная простота и удобство технического обслуживания оборудования, т.е. фактор эргономичности.

6. *Надёжность и безопасность* - обеспечивается в первую очередь конструкцией аппарата, а также средствами управления и автоматической защиты процесса.

7. *Минимальные экономические издержки изготовления, монтажа и эксплуатации.* Экономические характеристики как таковые являются следствием найденных технических решений, но с другой стороны, экономические возможности в большой мере определяют технические решения.

Основные факторы, определяющие выбор оборудования.

1. Физико-химические:

- природа, механизм и динамика процесса;
- агрегатное и фазовое состояние среды (растворение или выделение твердых продуктов, газовыделение, эмульгирование жидкостей);
- коррозионная активность реакционной массы;
- тепловой режим; интенсивность выделения (поглощения) тепла;
- необходимость использования лучистой энергии (ИК- и СВЧ-аппараты и фотохимические реакторы имеют специфические конструктивные черты).

2. Техничко-экономические:

- потенциальная опасность процесса и необходимость его защиты;
- материальный баланс процесса;
- проектируемый режим работы: периодический, полупериодический, полунепрерывный, непрерывный;
- временная определённость технологического режима (в первую очередь теплового): стационарный или нестационарный;
- достижение максимальной селективности процесса и высокого выхода продукта;
- возможность совмещения нескольких операций;
- обеспечение максимальной интенсивности работы аппарата;
- режим теплообмена и применяемые энергоносители;
- эргономичность;
- мощность создаваемого (модернизируемого) производства и тип создаваемой ХТС: индивидуальная, совмещённая, мобильная;
- экономические ресурсы: при прочих равных условиях следует использовать более дешёвое оборудование.

Действие этих факторов и соответствующие требования противоречивы. Поэтому выбор оборудования всегда осуществляется на основе компромиссного решения.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ХТП.

Отражает всю процедуру выбора аппарата в ходе проектирования. Технолог здесь выполняет самую сложную и ответственную часть своей работы. От результатов её зависит правильность и эффективность всех последующих проектных решений.

Основные этапы работы.

1. Анализ задания и исходных данных.
2. Построение циклограмм – графиков, отражающих а) синхронизацию работы аппаратов на разных стадиях процесса во времени и б) физическое состояние каждого аппарата.
3. Расчёт количества циклов (серий производства) на весь выпуск и среднесуточной мощности. Расчёт материального баланса операции (серия для периодических и единица времени для непрерывных процессов).
4. Оценка требований к аппарату.
5. Предварительный выбор аппарата по материальному балансу и требованиям.
6. Расчёт (поверочный) параметров интенсивности процесса и оценка соответствия их требованиям Задания (соответствие аппарата).
7. Выработка технических и технологических решений по дооснащению аппарата и уточнению режима процесса.
8. Принятие комплекса окончательных решений для рабочего проекта.

Практическое занятие № 6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Оборудование применяют (и выбирают в процессе проектирования) в соответствии с его технологическим назначением. Поэтому полезно провести некоторую технологическую классификацию оборудования; она не может совпадать ни с конструктивной классификацией, принятой машиностроителями, ни с теоретической классификацией ПАХТ.

Классификация включает десять основных классов.

1. Реакционно-массообменное оборудование (реакторы)

Бесспорно, реакторы суть главнейший класс химической аппаратуры. Однако, в реальных ХТП химические реакции всегда сопровождаются процессами тепло-массообмена (а также перемещением среды, поглощением и испусканием излучений и

иными физическими явлениями). В качестве реакторов используются те же массообменные аппараты.

Условность в том, что, бесспорно, существует много процессов тепло-массообмена, не осложнённых химическими реакциями.

Сюда относятся: реакторы; кристаллизаторы; диссольтеры; выпарные, дистилляционные и ректификационные аппараты; абсорберы и адсорберы (в т.ч. технологические хроматографы); ионообменники; мембранные, электро- и магнитофоретические аппараты.

2. Теплообменное оборудование. Собственно теплообменники общего назначения.

3. Холодильное оборудование.

4. Сушильное оборудование. Сушка представляет специфический по механизму, оформлению, требованиям безопасности и значению класс процессов. Поэтому вынесение сушилок в отдельный класс оборудования вполне оправдано.

5. Сепарационное оборудование. Оборудование гидромеханического разделения гетерогенных систем. Напорные, вакуумные и напорно-вакуумные фильтры; осадительные и фильтрующие центрифуги; центробежные жидкостные сепараторы; флорентийские сосуды; отстойники и жалюзийные пылеуловители; циклоны, проходные сепараторы и гидроциклоны; электростатические фильтры-сепараторы; магнитные сепараторы.

6. Дозировальное оборудование. Дозирование, а также измерение и учёт количества веществ и материалов – особый и очень важный вид операция в химической технологии. Эти операции осуществляются как средствами КИПиА, так и специальными видами технологических машин и аппаратов.

Сюда относятся: весы; весовые дозаторы с автоматами и механизмами отсечного, шлюзового, вибрационного, шнекового типов; поршневые, плунжерные, мембранные, перистальтические дозирующие насосы и насосные агрегаты; шприцевые дозаторы для наполнения ампул; мерные сосуды (мерники). Специфика этого оборудования в том, что оно относится к средствам измерения и подлежит метрологическому надзору.

7. Механико-технологическое оборудование. Измельчительное: дробилки; дезинтеграторы и дисмембраторы; мельницы. Классифицирующее: сита и грохоты. Формовальное: прессы; таблетующие и гранулирующие машины; каландры; экструдеры; смесители. Упаковочные: машины и автоматы.

8. Оборудование механизации технологических процессов. По преимуществу это оборудование для перемещения продуктов и материалов: конвейеры и рольганги; шнековые, ленточные, ковшовые, цепные (нории) транспортеры; системы пневмо- и гидротранспорта; тельферы и лифты; подъёмники и кантователи для контейнеров, малых ёмкостей, штучных материалов и изделий. Особое место здесь занимают средства малой механизации: ручные тележки и подъёмники, а также авто- и электрокары для внутрицехового транспорта.

9. Оборудование транспортировки и хранения продуктов и материалов.

Жидких: сборники; монтежю (монжусы) и газлифты; цистерны (в т.ч. автомобильные и железнодорожные); баки, бочки, канистры: бутылки (в т.ч. большой вместимости – до 2000 л).

Газообразных: баллоны; ресиверы; газгольдеры.

Твёрдообразных (штучных, кусковых, сыпучих): барабаны; контейнеры.

Это оборудование по преимуществу представляет собой, строго говоря, возвратно-оборотную тару. Однако во многих случаях это достаточно сложные изделия, содержащие устройства подключения и коммутации, а также системы автоматизации. Зачастую они являются штатными компонентами транспортных (цеховых и складских) систем. Значение их очень велико, что и позволяет выделить их в отдельный класс.

10. Трубопроводное оборудование.

Сюда относятся:

- трубы круглого и прямоугольного сечения, рукава и шланги;
- соединительно-сборочные детали – фланцы, муфты и уплотнительные детали к ним;
- коммутационные детали: углы, отводы, тройники, фитинги, крестовины, коллекторы;
- запорно-регулирующая трубопроводная арматура: краны; вентили; клапаны; заслонки;
- задвижки; двух- и многоходовые переключатели; дроссели; диафрагмы и ограничительные шайбы и втулки; шиберы.
- исполнительные механизмы КИПСА: регуляторы прямого действия; клапаны, заслонки, задвижки, переключатели - с механическим, электрическим, пневмо- и гидроприводом.

3 МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕКОТОРОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Практическое занятие № 7. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА И РАСЧЕТ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ

3.1 Расчет теплообменника

Рассмотрим рекуперативный теплообменник, например кожухотрубчатый теплообменник. Различают проектный и проверочный расчеты теплообменников.

Цель проектного расчета – определение необходимой площади (F) и режима работы теплообменника для обеспечения заданного переноса теплоты от одного теплоносителя к другому.

Цель проверочного расчета – определение количества передаваемой теплоты и конечных температур теплоносителей в данном теплообменнике с заданной площадью (F) при заданных условиях его работы.

Основы расчетов: уравнения теплопередачи и тепловых балансов.

Проектный расчет теплообменников

Например, задано: расход, T_k, T_n одного из теплоносителей, T_n – другого теплоносителя.

Расход тепла \dot{Q} определяется по основному уравнению теплопередачи:

$$\dot{Q} = K \cdot F \cdot \Delta T_{cp} \quad (3.1.1)$$

тепловой баланс можно записать следующим образом:

$$\dot{Q} = L_1 (H_{1n} - H_{1k}) = L_2 (H_{2k} - H_{2n}) \quad (3.1.2)$$

Здесь $L_{1,2}$ – расходы теплоносителей; H_{1n}, H_{1k} – начальная и конечная энтальпия более нагретого теплоносителя; H_{2k}, H_{2n} – конечная и начальная энтальпия менее нагретого теплоносителя, то

$$H = C \cdot T$$

C – теплоемкость теплоносителя при T_{cp} .

Если агрегатное состояние не меняется, то T_{cp} находится как среднеарифметическое:

$$T_{icp} = 0.5(T_{in} - T_{ik}) \quad (i = 1, 2)$$

Среднюю движущую силу ΔT_{cp} определяют как среднелогарифмическую:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_n - \Delta T_k}{\ln\left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_k}\right)} \quad (3.1.3)$$

для модели идеального вытеснения.

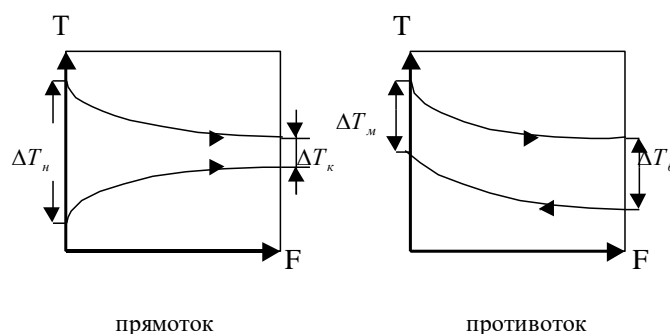


Рисунок 2.1

Для противотока уравнение (1.3) имеет вид:

$$\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_m}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_m}\right)} \quad (3.1.4)$$

Если $\Delta T_{\delta} \sim \Delta T_m$, то $\Delta T_{cp} = \frac{\Delta T_{\delta} + \Delta T_m}{2}$.

В аппаратах с противотоком ΔT_{cp} больше, чем в аппаратах с прямотоком.

Определение коэффициента теплопередачи K :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \left(\frac{\delta}{\lambda}\right) + \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.1.5)$$

Значение (приближенное) можно брать из справочников, или же определить (приближенно) по критериальным уравнениям типа $Nu = f(\dots)$. По известным $Q, \Delta \dot{T}_{cp}, K$ определяют предварительное значение F .

Проверочный расчет теплообменника

Проверочный расчет теплообменника проводят после выбора типа и конструкции теплообменника (нормализованного). Производят уточненный расчет $\alpha_i, K, F_{расч}$. Далее сопоставление $F_{расч}$ и $F_{норм}$, если $F_{норм} > F_{расч}$ расчет прекращают.

3.2 Расчет выпарной установки

Однокорпусное (однократное) выпаривание

Процесс выпаривания непрерывный. Материальный баланс по общему количеству продуктов:

$$\dot{L}_n = \dot{L}_k + \dot{W} \quad (3.2.1)$$

Здесь $\dot{L}_{n,k}$ – расходы исходного и упаренного растворов, $\frac{кг}{с}$;

\dot{W} – выход вторичного пара, $\frac{кг}{с}$.

Материальный баланс по нелетучему продукту:

$$\dot{L}_n \cdot X_n = \dot{L}_k \cdot X_k \quad (3.2.2)$$

где $X_{n,k}$ – концентрация растворенного продукта в исходном и упаренном растворе, 1 кг на 1 кг продукта.

Искомые величины: \dot{L}, \dot{W}, X_k .

$$\dot{L}_k = \dot{L}_n \frac{X_n}{X_k} \quad (3.2.3)$$

$$\dot{W} = \dot{L}_n \left(1 - \frac{X_n}{X_k}\right)$$

$$X_k = \frac{\dot{L}_n \cdot X_n}{\dot{L}_n - \dot{W}} \quad (3.2.4)$$

По двум исходным уравнениям три величины найти невозможно, поэтому одной из величин, например, X_k задаемся.

Тепловой баланс

$$\dot{D} H_\Gamma + \dot{L}_n H_n = \dot{L}_k H_k + \dot{W} H_{ВП} + \dot{D} H_{ГК} + \dot{Q}_П + \dot{Q}_R \quad (3.2.5)$$

Здесь D – расход греющего пара, $\frac{кг}{с}$; H – энтальпия, $\frac{Дж}{кг}$; $\dot{Q}_П$ – потери теплоты в окружающую среду, $\frac{Дж}{с}$; \dot{Q}_k – теплота концентрирования, равная теплоте растворения, но с обратным знаком. Индексы n – начальное, k – конечное, $ВП$ – вторичный пар, n – потери, $ГК$ – конденсат греющего пара.

Запишем частный случай, рассматривая исходный раствор как смесь упаренного раствора и испаряемой влаги при постоянной температуре кипения:

$$\dot{L}_n C_n T_{кип} = \dot{L}_k C_k T_{кип} + \dot{W} C_B T_{кип} \quad (3.2.6)$$

где C_B – удельная теплоемкость воды при температуре $T_{кип}$.

Тогда получим:

$$\dot{Q} = \dot{D}(H_\Gamma - H_{ГК}) = \dot{L}_n C_n (T_{кип} - T_n) + \dot{W}(H_{ВП} - C_B T_{кип}) + \dot{Q}_{конц} + \dot{Q}_П \quad (3.2.7)$$

$\dot{D}(H_\Gamma - H_{ГК})$ – количество теплоты, выделяющееся в выпарном аппарате при конденсации D .

$\dot{L}_n C_n (T_{кип} - T_n)$ – нагревание исходного сырья от T_n до $T_{кип}$.

$\dot{W}(H_{ВП} - C_B T_{кип})$ – теплота на испарение растворителя при $T_{кип}$

При небольшой степени концентрирования и хорошей изоляции выражение $(\dot{Q}_{конц} - \dot{Q}_П)$ мало и ей можно пренебречь.

Если предположить, что $T_n = T_{кип}$, то есть раствор поступает в аппарат при температуре кипения, то

$$\dot{D}(H_\Gamma - C_\Gamma T_{конд}) = \dot{W}(H_{ВП} - C_B T_{кип}) \quad (3.2.8)$$

отсюда

$$\frac{\dot{D}}{\dot{W}} = \frac{H_{ВП} - C_B T_{кип}}{H_\Gamma - C_\Gamma T_{конд}} = \frac{r_\Pi}{r_K} \quad (3.2.9)$$

r_Π – теплота парообразования;

r_K – теплота конденсации греющего пара.

Если в качестве греющего пара используют насыщенный водяной пар, а упаривают водный раствор, то $\frac{\dot{D}}{\dot{W}} \approx 1$. Это означает, что на испарение 1 кг растворителя затрачивается 1 кг греющего пара. Реально, $\frac{\dot{D}}{\dot{W}} = 1.05 - 1.15$ то есть пара необходимо больше на 1.05 – 1.15.

Основная расчетная формула:

$$\dot{Q} = F_{II} \cdot K \cdot \Delta T_{II} \quad (3.2.10)$$

Искомая величина F_{II} , K – коэффициент теплопередачи определяется по известным формулам. Возникает проблема расчета полезной разности температур ΔT_{II} .

Температурные потери. Обычно в выпарных установках известны давления греющего пара и вторичных паров, то есть их температуры. Разность между температурами греющего и вторичного паров называют общей разностью температур выпарных аппаратов:

$$\Delta T_{ОБЩ} = T_{Г} - T_{ВП} \quad (3.2.11)$$

Общая разность температур $\Delta T_{ОБЩ}$ связана с полезной разностью температур ΔT_{II} соотношением:

$$\Delta T_{II} = \Delta T_{ОБЩ} - \Delta' - \Delta'' \quad (3.2.12)$$

$$\Delta T_{II} = T_{Г} - T_{ВП} - \Delta' - \Delta'' - \Delta''' = T_{Г} - T_{КШ} \quad (3.2.13)$$

здесь Δ' – концентрационная температурная депрессия.

Δ'' – гидростатическая температурная депрессия.

Δ''' – гидравлическая температурная депрессия.

Δ' – определяют как разницу температур кипения раствора и чистого растворителя при $p = \cos nst$:

$$\Delta' = T_{КИП}(p) - T_{КИП}(ч.р.) \quad (3.2.14)$$

Таким образом, температура образующегося при кипении раствора вторичных паров ниже, чем температура кипения самого раствора, то есть часть температур теряется бесполезно.

Δ'' характеризует повышение температуры кипения раствора с увеличением гидростатического давления. Обычно по высоте кипятыльника определяют среднее давление, и для этого давления определяют среднюю температуру кипения раствора T_{cp} .

$$p_{cp} = p_a + \frac{\rho_{нж} \cdot gH}{2} \quad (2.15)$$

здесь p_a – давление в аппарате, $\rho_{нж}$ – плотность парожидкостной смеси ($\rho_{нж} = \rho_{ж} \frac{z}{2}$),

H – высота кипятыльных труб.

$$\Delta'' = T_{cp} - T_{ВП} \quad (3.2.16)$$

где T_{cp} – температура кипения раствора при $p = p_{cp}$, $T_{ВП}$ – температура вторичных паров при давлении p_a .

Гидравлическая температурная депрессия Δ''' связана с потерей давления насыщенных вторичных паров при прохождении через каплеотбойник и при движении по трубопроводам. При снижении давления падает температура насыщенного пара.

Практическое занятие № 8. РАСЧЕТ ОТСТОЙНИКА

3.3 Расчет отстойника

Процесс отстаивания осуществляется в наиболее простых в конструктивном

отношении аппаратах - отстойниках. Движущей силой в этом случае является разность удельных весов участвующих в отстаивании фаз. Для систем “газ - твердое тело”, “газ - жидкость” она относительно больше, чем для систем “жидкость - жидкость” и “жидкость - твердое тело”. Малость величины движущей силы при отстаивании ограничивает область применения отстаивания и его эффективность.

В промышленности отстаивание применяют для грубой очистки газов, для сгущения суспензий, для разделения эмульсий (в основном не стойких). Отстаивание применяют часто для предварительного разделения неоднородных сред, что удешевляет окончательное тонкое разделение более сложными способами.

При отстаивании концентрация дисперсной фазы в сплошной достаточно велика и происходит стесненное движение частиц, при этом скорость стесненного движения $W_{oc,c}$ меньше скорости свободного осаждения W_{oc} . Скорость стесненного движения зависит также от объемной доли сплошной фазы ϵ . При стесненном движении твердых частиц, например, для суспензий и капель жидкости - для эмульсий, возможно их соприкосновение и образование ансамблей частиц, скорость которых значительно уменьшается, по сравнению со скоростью свободного осаждения. Следует учитывать и то, что если осаждается полидисперсная фаза, то определение скорости стесненного осаждения значительно осложняется, т.к. крупные и мелкие частицы движутся с различными скоростями. Определение скорости стесненного осаждения производится по различным эмпирическим зависимостям.

Материальный баланс процессов разделения

Для составления материального баланса введем обозначения $G_{ис}$, G_{ou} , G_{oc} - массовые расходы исходной смеси, очищенной сплошной фазы, осадка (сгущенной дисперсной фазы), кг/с; $\bar{X}_{ис}$, \bar{X}_{ou} , \bar{X}_{oc} - массовые доли дисперсной фазы в исходной смеси, в очищенной сплошной фазе и в осадке.

При отсутствии потерь вещества в процессе разделения уравнение материального баланса для двухфазной системы запишется:

$$G_{ис} = G_{ou} + G_{oc} \quad (3.3.1)$$

по дисперсной фазе

$$G_{ис} \bar{X}_{ис} = G_{ou} \bar{X}_{ou} + G_{oc} \bar{X}_{oc} \quad (3.3.2)$$

Из уравнений (3.1) и (3.2) следует, что

$$G_{ou} = G_{ис} \frac{\bar{X}_{oc} - \bar{X}_{ис}}{\bar{X}_{oc} - \bar{X}_{ou}} \quad (3.3.3)$$

$$G_{oc} = G_{ис} \frac{\bar{X}_{ис} - \bar{X}_{ou}}{\bar{X}_{oc} - \bar{X}_{ou}} \quad (3.3.4)$$

Полученные уравнения в данной форме применимы к процессам осаждения и фильтрования.

Эффективность процесса разделения по степени очистки η (в %) газа или жидкости определяется зависимостью

$$\eta = \frac{\bar{X}_{ис} - \bar{X}_{ou}}{\bar{X}_{ис}} \cdot 100 \quad (3.3.5)$$

Схема расчета отстойника

В отстойнике прямоугольного сечения длиной L (м) и шириной b (м) суспензия разделяется на осадок и слой осветленной жидкости высотой h (м). Производительность отстойника по осветленной жидкости $\dot{V}_{осе}$ (м³/с), скорость потока жидкости вдоль аппарата равна $W_{п}$ (м/с). Для данных условий:

$$\dot{V}_{ocB} = W_{\Pi} \cdot bh \quad (3.3.6)$$

Время t прохождения суспензией отстойника составит

$$t = \frac{L}{W_{\Pi}} \quad (3.3.7a)$$

За это же время частицы, осаждающиеся со скоростью $W_{oc,c}$ (м/с) должны пройти наибольший путь h , следовательно, время отстаивания определится из уравнения

$$t = \frac{h}{W_{oc,c}} \quad (3.3.7b)$$

Приравнивая правые части уравнений (3.7a) и (3.7b) и подставляя вместо W_{Π} его значение из уравнения (3.6), получим

$$\frac{h}{W_{oc,c}} = \frac{L}{W_{\Pi}} = \frac{Lbh}{\dot{V}_{ocB}}$$

откуда производительность отстойника по осветленной жидкости составит

$$\dot{V}_{ocB} = W_{oc,c} Lb = W_{oc,c} F \quad (3.8.8)$$

где $F = L \cdot b$ - поверхность отстойника, м².

Уравнение (3.8) показывает, что производительность отстойника не зависит в явном виде от его высоты. Поэтому при проектировании отстойников их высоту следует принимать возможно меньшей, но такой, чтобы поперечное сечение потока было достаточным для обеспечения ламинарного режима течения. Из уравнения (3.8) можно определить поверхность осаждения (в м²):

$$F = \frac{\dot{V}_{ocB}}{W_{oc,c}} \quad (3.3.8a)$$

При известной плотности осветленной жидкости ρ_{ocB} (кг³/м³), ее массовый расход будет $G_{ocB} = \dot{V}_{ocB} \cdot \rho_{ocB}$, тогда

$$F = \frac{G_{ocB}}{\rho_{ocB} W_{oc,c}} \quad (3.3.8b)$$

Поставляя из уравнения (3.4) значение G_{ocB} в уравнение (3.8b), получаем новую зависимость для определения поверхность осаждения:

$$F = \frac{G_{ис}}{\rho_{ocB} W_{oc,c}} \frac{\bar{X}_{ис} - \bar{X}_{ou}}{\bar{X}_{oc} - \bar{X}_{ou}} \quad (3.3.8b)$$

При выводе этого уравнения не учитывались обстоятельства, ухудшающие процесс отстаивания в реальных условиях: возможность вихреобразования в области ввода суспензии, наличие застойных зон и другие. Поэтому при инженерных расчетах следует увеличить величину поверхности, полученную по уравнению (3.8b), на 30 - 35%.

Осаждение под действием центробежных сил

Скорость разделения неоднородных систем значительно можно повысить в поле центробежных сил по сравнению с отстаиванием под действием силы тяжести. Такое повышение обуславливается увеличением движущей силы процесса разделения. Для создания поля центробежных сил используют два способа:

1. обеспечивают вращательное движение потока в неподвижном аппарате; такой процесс разделения называется циклонным, а аппарат для его осуществления - циклонами.
2. поток направляют во вращающийся аппарат, этот способ разделения называют осадительным центрифугированием; аппараты, в которых он осуществляется осадительными центрифугами.

Для оценки эффективности осаждения под действием центробежной силы по сравнению с разделением под действием силы тяжести вводится понятие о факторе

разделения, равном их отношению:

$$K_p = \frac{m \cdot a_{ц}}{m \cdot g} = \frac{a_{ц}}{g} \quad (3.3.9)$$

где m - масса осаждаемой частицы.

Таким образом, центробежная сила, действующая на частицу, больше силы тяжести во столько раз, во сколько ускорение центробежной силы $a_{ц}$ больше ускорения силы тяжести g . Центробежное ускорение равно;

$$a_{ц} = \frac{w_r^2}{r} \quad (3.3.10)$$

где r - радиус вращения частицы, w_r - окружная скорость вращения частицы вместе с потоком на радиусе r . Окружную скорость можно выразить через частоту вращения частицы $n(c^{-1})$, т.е. $w_r = 2\pi n r$. В этом случае выражение для центробежного ускорения примет вид

$$a_{ц} = \frac{(2\pi n)^2}{r} = 4\pi^2 n^2 r \quad (3.3.10a)$$

Подставляя значения $a_{ц}$ по формулам (3.10) и (3.10a) в зависимость (3.9), получим:

$$K_p = \frac{w_r^2}{rg} \quad (3.3.11a)$$

$$K_p = \frac{4\pi^2 n^2 r}{g} \quad (3.3.11b)$$

Значение K_p для циклонов имеет порядок сотен, а для центрифуг - около 3000; таким образом, движущая сила процесса осаждения в циклонах и центрифугах на 2 - 3 порядка больше, чем в отстойниках. По этой причине производительность циклонов и центрифуг выше производительности отстойников, в них можно отделять мелкие частицы: в центрифугах порядка 1 мкм, в циклонах - порядка 10 мкм.

Практическое занятие № 9. РАСЧЕТ ЦИКЛОНА, ЦЕНТРИФУГИ И РАСЧЕТ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

3.4 Расчет циклона

Теоретический расчет циклонов очень сложен и на практике используют метод выбора циклона (типа, его размеров) на основе ряда заданных и расчетных величин. Должны быть заданы: расход газа \dot{V} , фракционный состав пыли; начальная концентрация пыли в газе и степень очистки. По таблицам ориентировочно выбирают тип нормализованного циклона. Далее определяется диаметр циклона следующим путем.

Гидравлическое сопротивление циклона характеризуется уравнением:

$$\Delta p = \zeta_{ц} \frac{\rho w_{ц}^2}{2} \quad (3.4.12)$$

где $w_{ц}$ - фиктивная скорость газа в циклоне, получаемая делением объемного расхода газа на поперечное сечение цилиндрической части циклона; ρ - плотность газа; $\zeta_{ц}$ - коэффициент гидравлического сопротивления циклона (справочная величина).

Для выбора типа циклона необходимо знать отношение

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \zeta_{ц} \frac{w_{ц}^2}{2} \quad (3.4.13)$$

каждый тип циклонов имеет свое оптимальное значение $\frac{\Delta p}{\rho}$. Так для циклонов типа

НИИОгаз $\frac{\Delta p}{\rho} = 500 - 750 \text{ м}^2/\text{с}^2$. По принятым значениям $\frac{\Delta p}{\rho}$ и $\zeta_{ц}$ исходя из формулы (3.4.13)

можно вычислить $w_{ц}$.

По уравнению расхода $\frac{\pi D_{\text{ц}}^2}{4} = \dot{V}_{\text{ц}}$ определяют диаметр циклона:

$$D_{\text{ц}}^2 = 2 \cdot \left(\frac{\dot{V}_{\text{ц}}}{\pi w_{\text{ц}}} \right)^{1/2} \quad (3.4.14)$$

Далее по нормальям для вычисленного значения $D_{\text{ц}}$ определяют все остальные размеры циклона по справочным данным. С учетом фракционного состава пыли находят степень очистки. Так как значение степени очистки после первого вычисления может быть неудовлетворительным, то приходится делать несколько последовательных расчетов, принимая новые значения $\frac{\Delta p}{\rho}$, $\zeta_{\text{ц}}$, $D_{\text{ц}}$, или выбрать новый тип циклона. При выборе циклона следует учитывать вариант установки нескольких параллельно соединенных циклонов.

Рекомендуется выбирать тип циклона и число циклонов на основе минимальных приведенных затрат.

3.5 Расчет производительности осадительной центрифуги

Пусть центрифуга имеет размеры D , D_0 и H . Примем ламинарный режим осаждения, что соответствует осаждению наиболее мелких частиц, лимитирующих производительность центрифуги; рассмотрим свободное осаждение, когда концентрация твердого вещества невелика и частицы не влияют на движение друг друга.

Переменная скорость осаждения может быть выражена производной от радиуса по времени, так как рассматриваем только радиальное движение

$$w_{\text{ц}} = \frac{dr}{dt} = \frac{(\rho_1 - \rho_2) d^2 g \omega^2 r}{18\mu}$$

где ω - угловая скорость вращения ротора (с^{-1}); ρ_1 , ρ_2 - плотности твердой частицы и жидкости.

Разделим переменные и интегрируя в пределах самого длинного пути от R_0 до R , находим время, затрачиваемое на осаждение наименьшей частицы диаметра d в самом неблагоприятном случае

$$dt = \frac{18\mu}{(\rho_1 - \rho_2) d^2 \omega^2} \frac{dr}{r}$$

$$t_{\text{ос}} = \int_{R_0}^R \frac{18\mu}{(\rho_1 - \rho_2) d^2 \omega^2} \frac{dr}{r} = \frac{18\mu}{(\rho_1 - \rho_2) d^2 \omega^2} \ln \left(\frac{R_0}{R} \right) \quad (3.5.15)$$

Время осаждения должно быть меньше или в крайнем случае равно времени $t_{\text{п}}$ пребывания жидкости в барабане. Последнее можно найти, допуская, что барабан работает в соответствии с моделью идеально вытеснения, из соотношения

$$t_{\text{п}} = \frac{V_{\text{р}}}{\dot{V}} \quad (3.5.16)$$

где $V_{\text{р}}$ - рабочий объем барабана, равный объему жидкостного кольца, находящегося в нем

$$V_{\text{р}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_0^2) H$$

\dot{V} - объемный расход подаваемой в центрифугу жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$. Отсюда

$$t_{\text{п}} = \frac{\pi (D^2 - D_0^2) H}{4 \dot{V}} \quad (3.5.17)$$

причем $t_{\Pi} > t_{oc}$.

Может быть получено и иное выражение:

$$\dot{V} = \frac{V_p}{t_{\Pi}} = \frac{\pi(D^2 - D_0^2)H}{4t_{oc}} \quad (3.5.18)$$

характеризующее предельное значение объемного расхода. Структура потока в барабане центрифуги отличается от модели идеального вытеснения, жидкость движется с большей скоростью в части слоя, прилегающей к внутренней стороне кольца, для которой время пребывания оказывается меньше среднего по уравнению (3.5.16); кроме того, по мере отложения в барабане осадка, рабочий объем жидкости уменьшается. Таким образом, приведенные выше зависимости не вполне точны. Расчет можно скорректировать если при нахождении \dot{V} ввести коэффициент запаса, меньший единицы, или учесть реальную структуру потока в аппарате.

Из уравнения (3.5.16) следует, что в барабане данных размеров ($V_p = \text{const}$), при уменьшении производительности центрифуги увеличивается среднее время пребывания жидкости в барабане, следовательно, и возможная продолжительность осаждения t_{oc} , и тогда, в соответствии с уравнением (3.5.15), уменьшается предельный диаметр тех частиц d , которые при данной производительности центрифуги способны достигнуть стенок барабана. Таким образом, совместное решение уравнений (3.5.15) и (3.5.16) позволяет определить предельный диаметр частиц, выше которого центрифуга обеспечит осаждение при принятой производительности.

3.6 Расчет перемешивающего устройства

Перемешивание в жидких средах

Большое значение на интенсивность перемешивания в аппарате с мешалкой оказывает циркуляция жидкости в нем, которая вызывается насосным эффектом, т.е. способностью мешалки транспортировать жидкость подобно насосу. Насосный эффект характеризуется объемным расходом жидкости в радиальном \dot{V}_p и аксиальном \dot{V}_a направлениях.

Насосный эффект мешалки, создающий радиальный поток жидкости, определяется величиной средней радиальной скорости \bar{W}_p и вычисляется по уравнению:

$$\dot{V}_p = d_m h_m \cdot \bar{W}_p \quad (3.6.1)$$

где d_m и h_m - диаметр и высота лопастей мешалки. Величину \bar{W}_p - принимают пропорциональной окружной скорости мешалки $\bar{W}_p \sim n d_m$ (n - частота вращения мешалки). Для геометрически подобных мешалок отношение $\frac{h_m}{d_m}$ - величина постоянная.

Отсюда

$$\dot{V}_p = C' n d_m^3 \quad (3.6.1a)$$

C' - постоянная величина для данного типа мешалок.

Насосный эффект в аксиальном направлении движения жидкости \dot{V}_a , определяется уравнением

$$\dot{V}_a = \frac{\pi d_m^2}{4} \bar{W}_a \quad (3.6.2)$$

где \bar{W}_a - средняя скорость жидкости в аксиальном направлении. Величина \bar{W}_a пропорциональна частоте вращения мешалки n и ее шагу S , т.е. $\bar{W}_a \sim nS$.

Для группы геометрически подобных мешалок $\frac{S}{d_m} = \text{const}$, отсюда:

$$\dot{V}_a = C'' n d_m^3 \quad (3.6.2a)$$

Для пропеллерных мешалок шаг винта определяется по выражению

$$S = \pi d_m \operatorname{tg} \varphi \quad (3.6.3)$$

где φ - угол наклона лопасти.

Константы C' и C'' определены экспериментально для различных конструкций мешалок и приводятся в справочной литературе.

Практическое занятие № 10. РАСЧЕТ СТАЦИОНАРНЫХ ВАНН ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

3.7 Расчет стационарных ванн для покрытия деталей на подвесках

Расчет количества и производительности ванн

Расчет количества ванн можно производить одним из рассмотренных ниже способов.

Первый способ расчета

1. Время обработки (покрытия) одной загрузочной единицы (детали или подвески с деталями) $\tau = \tau_1 + \tau_2$, в минутах.

2. Суммарное время τ_c в часах, потребное для обработки (покрытия) годового количества загрузочных единиц, определяется по формуле

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60}, \quad (3.7.1)$$

где $P_{\text{год}}$ – годовая производственная программа цеха в штуках загрузочных единиц (деталей или подвесок с деталями).

Время на подготовительные и заключительные операции – τ_3 , в часах.

3. Количество деталей или подвесок с деталями, загружаемых одновременно во все ванны, определяется по формуле

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_c}{T_{\text{д}} \cdot z - T_0 \cdot \tau_3} \approx \frac{\tau_c \cdot k}{T \cdot z}, \quad (3.7.2)$$

где $T_{\text{д}} \cdot z$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $T_0 \cdot \tau_3$ – суммарное время на подготовительные и заключительные операции, ч; k – коэффициент, учитывающий время на подготовительные и заключительные операции.

Если расчетная величина $Y_{\text{п}}$ выражается дробным числом, то можно округлить ее до целого числа в большую сторону. Величина загрузки для одной ванны Y выбирается в зависимости от размеров деталей, плотности тока, конструктивных особенностей оборудования и т.д.

4. Количество одинаковых (по виду покрытия и габаритам) ванн n определяется как отношение величины одновременной загрузки всех ванн $Y_{\text{п}}$ к принятой величине загрузки одной ванны Y :

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y} \quad (3.7.3)$$

Если расчетная величина n оказывается дробным числом, то последнюю округляют до целого n' в большую сторону, т.е. $n' > n$.

5. Производительность оборудования в год $P'_{\text{год}}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \frac{T \cdot 60}{\tau \cdot k}, \quad (3.7.4)$$

где Y – величина загрузки, принятая для одной ванны; n' – количество ванн, устанавливаемых в цехе.

Зная производительность оборудования, можно определить коэффициент загрузки

оборудования k_1 , который представляет собой отношение установленной производственной программы цеха (по количеству или площади поверхности деталей) к рассчитанной производительности оборудования (в год или сутки), т.е.

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} \text{ или в процентах } k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} 100 \quad (3.7.5)$$

Приближенно коэффициент загрузки оборудования можно выражать как отношение расчетного числа единиц оборудования n к принятому n' , т.е.

$$k_1 = \frac{n}{n'} \text{ или в процентах } k_1 = \frac{n}{n'} 100.$$

Пример 1. Требуется рассчитать стационарные ванны для никелирования деталей велосипеда с выпуском 300000 машин в год. Производственная программа цеха со спецификацией деталей (первая группа) приведена в программной и загрузочной ведомостях деталей.

Данные, принятые для расчета: согласно загрузочной ведомости в год должно быть покрыто 286588 подвесок с деталями (1 318 800 деталей), площадь поверхности каждой около 15 дм². Режим работы: прерывная семидневная рабочая неделя в две смены по 8 ч каждая.

Решение. Номинальный годовой фонд времени оборудования

$$T_0 \cdot z = 302 \cdot 16 = 4832 \text{ ч.}$$

Принимаем общие годовые потери времени на простои оборудования $T_1 \cdot z$ (ремонт и пр.) в размере 3,5 % от номинального фонда времени.

Тогда действительный годовой фонд времени оборудования с учетом годовых потерь

$$T_d \cdot z = T_0 \cdot z - T_1 \cdot z = 4832 - 0,035 \cdot 4832 = 4663 \text{ ч.}$$

Расчет ведем по годовой программе цеха.

Принимаем среднюю толщину покрытия никелем $\delta = 0,025$ мм, плотность тока $j_{\text{кт}} = 4$ А/дм², температуру электролита около 50 °С, выход металла по току $\eta_t = 96$ %. Электролиз протекает с перемешиванием электролита сжатым воздухом.

Расчет количества ванн осуществляем в такой последовательности:

1. Определяем время, потребное для операции покрытия деталей, $\tau = \tau_1 + \tau_2$:

а) продолжительность электролиза

$$\tau_1 = \frac{S \cdot \gamma \cdot 1000 \cdot 60}{j_k \cdot \bar{\eta} \cdot \eta_t} = \frac{0,025 \cdot 8,8 \cdot 1000 \cdot 60}{4 \cdot 0,95 \cdot 96} = 31,3 \text{ (мин)};$$

б) время на загрузку и выгрузку подвесок с деталями принимаем $\tau_2 = 1,7$ мин, следовательно, продолжительность процесса покрытия с учетом загрузки и выгрузки деталей (или продолжительность одной загрузки деталей в ванну)

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 31,3 + 1,7 = 33 \text{ мин};$$

в) время на подготовительные и заключительные операции τ_3 за каждые сутки принимаем равным 0,5 ч, т.е. около 3 % от времени работы цеха за сутки, следовательно, поправочный коэффициент к времени обработки деталей равен 1,03, а суммарное годовое время на подготовительные и заключительные операции:

$$T_0 \cdot \tau_3 = 302 \cdot 0,5 \approx 151 \text{ ч.}$$

2. Время, потребное для покрытия никелем годового количества подвесок с деталями,

$$\tau_c = \frac{P_{\text{год}} \cdot \tau}{60} = \frac{286588 \cdot 33}{60} \approx 157624 \text{ (ч)}.$$

3. Величина одновременной загрузки всех ванн с учетом подготовительного и заключительного времени

$$Y_{\text{п}} = \frac{\tau_{\text{с}}}{T_{\text{д}} \cdot z - T_0 \cdot t} = \frac{157624}{4663 - 151} \approx 34,9$$

$$\text{или } Y_{\text{п}} = \frac{\tau_{\text{с}} \cdot k}{T_{\text{д}} \cdot z} = \frac{157624 \cdot 1,03}{4740} \approx 34,3 \text{ (подвески)}.$$

Величину загрузки одной ванны (на две катодные штанги) берем равной 6 подвескам.

4. Количество ванн

$$n = \frac{Y_{\text{п}}}{Y} = \frac{34,9}{6} = 5,81;$$

принимаем округленно $n' = 6$ ванн.

5. Годовая производительность ванн

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_{\text{д}} \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k} = 6 \cdot 6 \cdot \frac{4663 \cdot 60}{33 \cdot 1,03} = 296324 \text{ (подвесок)}.$$

Коэффициент загрузки оборудования

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} = \frac{286588}{296324} = 0,97.$$

Второй способ расчета

В отличие от первого способа количество ванн определяется как отношение суммарного времени, потребного для обработки годового количества загрузочных единиц (с учетом времени на подготовительные и заключительные операции τ_3), к годовому (действительному) фонду времени работы оборудования $T \cdot z$. Загрузочной или расчетной единицей в данном случае является загрузка деталями одной ванны, колокола, барабана и т.п. определенных габаритов и емкости. При этом время обработки всех загрузок принимается равным произведению времени обработки деталей τ на число загрузок x .

Этот способ применим при большой производственной программе цеха и в том случае, если габариты и емкость ванн по загрузке заранее известны, т.е. имеются чертежи или готовое оборудование. В случае небольшой производственной программы цеха в результате расчета может оказаться, что при выбранных габаритах оборудования процент загрузки его незначителен, и тогда потребуется пересчет на другой размер оборудования.

Ход расчета количества и производительности ванн по этому способу следующий:

1. Величина загрузки одной ванны Y принимается в соответствии с существующими размерами ванн и габаритами деталей или подвесок с деталями. Габариты и емкость ванн выбираются по чертежам стандартного оборудования, имеющегося в данном цехе.

2. Количество загрузок в год $x_{\text{год}}$ определяется в данном случае как отношение программы цеха к величине загрузки единицы оборудования (ванны, колокола, барабана и т. п.) по формуле

$$x_{\text{год}} = \frac{P_{\text{год}}}{Y},$$

где $P_{\text{год}}$ – годовая производственная программа цеха в штуках подвесок с деталями, м^2 или кг.

Если значение $x_{\text{год}}$ – дробное число, то его округляют до целого числа в большую сторону.

3. Время, потребное для обработки (покрытия) одной загрузки $\tau = \tau_1 + \tau_2$, мин, определяется, как указано выше.

4. Суммарное время $\tau_{\text{с}}$, ч, потребное для обработки всех загрузок в год,

$$\tau_{\text{с}} = \frac{\tau \cdot x_{\text{год}}}{60}.$$

Время τ_3 на подготовительные и заключительные операции определяется, как указано выше.

5. Количество ванн n рассчитывается по формуле

$$n = \frac{\tau \cdot k}{T_d \cdot z},$$

где $T \cdot z$ – годовой (действительный) фонд времени оборудования, ч;
 k – коэффициент, учитывающий время τ_3 .

Если расчетная величина n выражается дробным числом, то последнее округляют до целого числа n' в большую сторону, т.е. $n' > n$.

6. Производительность в год определяется по следующей формуле:

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_d \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k},$$

где Y – величина загрузки, принятая для одной ванны; n' – принятое количество ванн.

Коэффициент загрузки оборудования

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}}.$$

Пример 2. Требуется рассчитать количество и габариты ванн для покрытия никелем деталей велосипеда с выпуском 300 000 машин в год. Все исходные данные, принимаемые для расчета, приведены в предыдущем примере.

Решение

1. Величина загрузки одной ванны $Y = 6$ подвесок.

2. Количество загрузок ванн в год

$$x_{\text{год}} = \frac{P_{\text{год}}}{Y} = \frac{286588}{6} \approx 47765.$$

3. Время обработки (никелирования) одной загрузки по предыдущему примеру

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 31,3 + 1,7 = 33 \text{ мин.}$$

4. Суммарное время обработки (никелирования) всех загрузок – ванн в год

$$\tau_c = \frac{\tau \cdot x_{\text{год}}}{60} = \frac{33 \cdot 47765}{60} = 26271 \text{ ч.}$$

Время τ_3 на подготовительные и заключительные операции принимаем равным 3 % от времени работы цеха ($\tau_3 \approx 0,5$ ч; $k \approx 1,03$).

5. Количество ванн

$$n = \frac{\tau_c \cdot k}{T_d \cdot z} = \frac{26271 \cdot 1,03}{4663} = 5,8.$$

Принимаем $n' = 6$ ванн.

6. Производительность в год

$$P'_{\text{год}} = Y \cdot n' \cdot \frac{T_d \cdot z \cdot 60}{\tau \cdot k} = 296324 \text{ подвесок.}$$

Коэффициент загрузки оборудования

$$k_1 = \frac{P_{\text{год}}}{P'_{\text{год}}} = \frac{286588}{296324} = 0,97.$$

Расчет габаритов ванн

Внутренние размеры ванны зависят, главным образом, от принятого количества и размеров деталей или подвесок, загружаемых в данную ванну.

Внутренняя длина ванны $l_{\text{вн}}$, мм,

$$l_{\text{вн}} = n_1 \cdot l_1 + (n_1 - 1)l_2 + 2l_3,$$

где l_1 – размер деталей или подвески по длине ванны; l_2 – расстояние между деталями или подвесками в ванне (30 – 100 мм); l_3 – расстояние между торцевой стенкой ванны и краем детали или подвески (100–150 мм); для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок $l_3 = 50$ мм и больше; n_1 – количество деталей или подвесок,

устанавливаемых в один ряд (или на одну штангу) по длине ванны.

Внутренняя ширина ванны $\omega_{\text{вн}}$, мм,

$$\omega_{\text{вн}} = n_2 \cdot \omega_1 + 2n_2 \cdot \omega_2 + 2\omega_3 + n_3 \cdot D,$$

где ω_1 – размер деталей (или подвески) по ширине ванны; если в одну и ту же ванну загружаются различные по габаритам детали, то величина ω_1 должна соответствовать детали, имеющей наибольший размер по ширине ванны; ω_2 – расстояние между анодом и ближайшим краем деталей; величина ω_2 зависит от системы завески и конфигурации детали и увеличивается для рельефных деталей; для деталей, имеющих правильную форму (плоских, цилиндрических небольшого диаметра), можно допускать ω_2 в пределах 100 – 150 мм, для рельефных деталей более или менее сложной формы ω_2 берут в пределах 150 – 200 мм; ω_3 – расстояние между внутренней стенкой продольного борта ванны и анодом (50 – 100 мм); для ванн с неизолированной внутренней поверхностью металлических стенок $\omega_3 = 150$ мм и больше; n_2 – количество катодных штанг; n_3 – количество анодных штанг (в большинстве случаев $n_3 = n_2 + 1$); D – толщина анода, мм.

Внутренняя высота ванны $h_{\text{вн}}$, мм, без бортовой вентиляции

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = (h_1 + h_2 + h_3) + h_6,$$

где h_3 – высота уровня электролита; h_1 – высота деталей или подвески без подвесного крюка; h_2 – расстояние от дна ванны до нижнего края деталей или подвески; величина h_2 зависит от материала ванны (для ванн с неизолированными внутренними металлическими стенками она должна быть больше), а также от расположения паропроводных и воздухопроводных труб в ванне; h_2 обычно бывает в пределах 150 – 300 мм; h_3 – высота электролита над верхним краем детали (20–50 мм); h_6 – расстояние от поверхности зеркала электролита до верхнего края бортов ванны (бортовая вентиляция здесь не учитывается); для ванны, работающей без перемешивания сжатым воздухом, h_6 берут в пределах 100–50 мм, а для ванны с перемешиванием – 150–250 мм.

Объем электролита в ванне

$$V = V_1 - V_2,$$

где V_1 – объем электролита, л, вместе с деталями и анодами, завешиваемыми в ванну ($V_1 = l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3$); V_2 – объем металла в деталях и анодах, дм^3 .

Наружные размеры ванны складываются из соответствующих внутренних ее размеров, толщины стенок, дна и пр. Толщина стенок зависит от материала ванны и изоляции, габаритов и конструктивных ее особенностей (системы крепления, способа нагревания, например с "рубашкой" или без нее, и пр.).

Толщина стенок стальных ванн, применяемых для щелочных растворов, колеблется в пределах от 4 до 8 мм.

Пример 3. Требуется рассчитать габариты ванн для покрытия деталей на подвесках.

Решение. В соответствии с данными, полученными в предыдущих расчетах, выбираем ванну на две катодные штанги с загрузкой по три подвески на каждую. Габариты подвески: 400х100х500 мм. Внутренние размеры:

а) длина

$$l_{\text{вн}} = n_1 \cdot l_1 + (n_1 - 1)l_2 + 2l_3 = 3 \cdot 400 + 2 \cdot 100 = 1500 \text{ мм} = 15 \text{ дм};$$

б) ширина

$$\begin{aligned} \omega_{\text{вн}} &= n_2 \cdot \omega_1 + 2n_2 \cdot \omega_2 + 2\omega_3 + n_3 \cdot D = \\ &= (2 \cdot 100) + (2 \cdot 2 \cdot 140) + (2 \cdot 50) + (3 \cdot 10) = 890 \approx 900 \text{ мм} \approx 9 \text{ дм}; \end{aligned}$$

в) высота

$$h_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = (h_1 + h_2 + h_3) + h_6 = (500 + 200 + 50) + 150 = 900 \text{ мм} = 9 \text{ дм}.$$

Можно считать, что объем электролита в ванне

$$V \approx V_1 \approx l_{\text{вн}} \cdot \omega_{\text{вн}} \cdot h_3 = 15 \cdot 9,0 \cdot 7,5 = 1000 \text{ л}.$$

Для сокращения расчета наружные размеры ванны в данном случае не вычисляем.

Расчет площади поверхности загрузки и силы тока.

Поверхность загрузки складывается из двух величин: рабочей поверхности, т.е. поверхности деталей, и нерабочей поверхности, т.е. поверхности материала заведывающих приспособлений в неизолированной части. Надо стремиться к тому, чтобы нерабочая поверхность была минимальной, т.к. она вызывает бесполезный частичный расход тока, потери осаждаемого металла и загрязнение электролита металлическими наростами, осыпающимися с подвесок. При хорошей изоляции подвесок (за исключением тех мест, которые контактируют с деталями) величиной нерабочей поверхности можно пренебречь. Таким образом, суммарная поверхность загрузки для одной ванны

$$S_y = (S_1 + S_2) \cdot Y,$$

где S_1 – рабочая поверхность деталей на одной подвеске; S_2 – нерабочая поверхность материала подвески в неизолированной части; Y – количество подвесок с деталями в одной ванне.

Суммарная поверхность одновременной загрузки всех ванн S_{Π} соответственно установленной их производительности выразится формулой

$$S_{\Pi} = S_y \cdot n' = (S_1 + S_2) \cdot Y \cdot n'.$$

Сила тока определяется по формулам:
на одну ванну

$$I_y = S_y \cdot j_k;$$

на все ванны одного типа

$$I_{\Pi} = S_{\Pi} \cdot j_k = I_y \cdot n',$$

где j_k – плотность тока.

Пример 4. Требуется рассчитать поверхность одновременной загрузки и силу тока для одной ванны.

Решение

В соответствии с данными, полученными в предыдущих расчетах, для определения поверхности загрузки за исходную единицу S_1 принимаем подвеску с деталями, имеющую наибольшую рабочую поверхность, т.е. $S_1 = 14,72 \text{ дм}^2$. Поверхность неизолированной части подвесок (наибольшую поверхность) принимаем равной 5 % от рабочей поверхности, т.е.

$$S_2 = 14,72 \cdot 0,05 = 0,74 \text{ дм}^2.$$

Следовательно, поверхность одновременной загрузки для одной ванны

$$S_y = (S_1 + S_2) \cdot Y = 6 (14,72 + 0,74) = 92,76 \text{ дм}^2 \approx 93 \text{ дм}^2,$$

для всех (шести) ванн

$$S_{\Pi} = S_y \cdot n' = 93 \cdot 6 = 588 \text{ дм}^2.$$

Сила тока на одну ванну

$$I_y = S_y \cdot j_k = 93 \cdot 4 = 372 \text{ А},$$

на все ванны

$$I_{\Pi} = I_y \cdot n' = 372 \cdot 6 = 2232 \text{ А}.$$

При выборе выпрямителя на основании существующих стандартов для данного случая можно принять выпрямительный агрегат на 1000 А и 6 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы проектирования химических производств / С.И. Дворецкий, Г.С. Кормильцин, В. Ф. Калинин. М.: Машиностроение-1, 2005. 180 с.
2. Процессы и аппараты химической технологии. Основы теории процессов химической технологии / под ред. А. М. Кутепова. М.: Логос, 2000. Т. 1. 480 с.
3. Дворецкий Д. С., Дворецкий С. И., Островский Г. М. Новые подходы к проектированию химико-технологических процессов, аппаратов и систем в условиях интервальной неопределенности. М.: Издательский дом «Спектр». 2012.
4. СНиП 11-01–95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений.
5. Макаревич В. А. Строительное проектирование химических предприятий. М.: Высшая школа, 1977. 208 с.
6. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987. 496 с.
7. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии, М.; Химия 2002; 1 и 2 том.
8. Дьяконов С.Г., Елизаров В. В., Елизаров В. И. Теоретические основы проектирования промышленных аппаратов химической технологии на базе сопряженного физического и математического моделирования. Казань, КГТУ.2009.
9. Гринберг Я.И. Проектирование химических производств. М.: Химия, 1970. 268 с.
10. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии; М.; Химия, 1973г.
11. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу ПАХТ.; Л., Химия., 1987г.
12. Александров В.М., Антонов Б.В., Гендлер Б.И., Ефимов А.Г. и др. Оборудование цехов электрохимических покрытий. – Л.: Машиностроение, 1987. – 309 с.