

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. Кирова»

Кафедра биотехносферной безопасности

ТЕХНОЛОГИЯ
И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ
ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Методические указания по изучению дисциплины
для бакалавров направления
20.03.01 «Техносферная безопасность»

Санкт-Петербург
2017

Рассмотрены и рекомендованы к изданию
Институтом химической переработки биомассы дерева
и техносферной безопасности
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета
28 декабря 2016 г.

Составители:

кандидат технических наук, доцент **Н. Г. Занько**
кандидат химических наук, доцент **Е. Г. Раковская**

Рецензент

кафедра биотехносферной безопасности СПбГЛТУ

Технология и оборудование производств. Химическая промышленность: методические указания по изучению дисциплины для бакалавров направления 20.03.01 «Техносферная безопасность» / сост.: Н. Г. Занько, Е. Г. Раковская. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 32 с.

В методических указаниях кратко изложен теоретический материал по дисциплине, а также даны общие указания по ее изучению и рекомендации по выполнению контрольных работ по соответствующим разделам.

ВВЕДЕНИЕ

Химические производства являются одними из наиболее опасных техногенных источников воздействия на человека и объекты природной среды. Несмотря на некоторый спад производства, аварийность на предприятиях химической, нефтехимической и смежных отраслей промышленности остается очень высокой.

К химически опасным объектам относятся не только предприятия химической, нефтехимической, металлургической и других отраслей промышленности, где токсические химические вещества содержатся в сырье, вспомогательных материалах, технологических смесях, продуктах и отходах. Значительные массы сильнодействующих токсических веществ сосредоточены на объектах пищевой, мясомолочной промышленности, в жилищно-коммунальном хозяйстве и т. д.

В 1999 г. предприятия химической промышленности занимали третье место в списке наиболее аварийно опасных производственных объектов. Таким образом, химическая промышленность – один из наиболее вероятных источников промышленной техногенной опасности. Поэтому задача предотвращения аварий на химических и нефтехимических производствах, анализ и оценка риска и управление безопасностью химических производств является важнейшей.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать главные технологические процессы химических технологий;

уметь пользоваться полученными знаниями при анализе прикладных аспектов безопасности – надежности эксплуатации технологического оборудования химической промышленности;

владеть способами анализа и критической оценки технологических процессов и производств.

1. ПОНЯТИЙНЫЙ АППАРАТ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Изучив материал этого раздела, студент должен уметь формулировать основные понятия.

«**Технология** – учение о выгодных (т. е. поглощающих наименее труда людского и энергии природы) приемах переработки природных ресурсов в продукты, потребные (необходимые, или полезные, или удобные) для применения в жизни людей», – так начинается статья «Технология», написанная Д. И. Менделеевым в Энциклопедическом словаре под редакцией Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона.

Происхождение слова «технология» (гр. technos – искусство, ремесло и «logos» – учение, наука) вполне отвечает его содержанию: учение об умении, искусстве перерабатывать исходные вещества в полезные продукты.

Химическая технология – естественная, прикладная наука о способах и процессах производства продуктов (предметов потребления и средств производства), осуществляемых с участием химических превращений технически, экономически и социально целесообразным путем.

Как естественная наука химическая технология изучает материальные явления и объекты. Как прикладная наука – изучает производство.

По своей сути химическая технология представляет собой переработку, в процессе которой преобладают химические и физико-химические явления, что приводит к коренному изменению состава, свойств и строения веществ.

В химии соединения, участвующие в химическом превращении, называются веществами. В химической технологии компоненты реагирующей системы получают технологическое наименование.

Сырьем называют исходный материал, поступающий на переработку и обладающий стоимостью. Образующиеся в ходе реакций вещества называют **продуктами**. Сырье обычно состоит из полезного компонента и примесей: сырье = полезный компонент + примеси. Продукт, ради которого организовано производство, называется **целевым**, и соответственно реакция, в которой он образуется, называется целевой. Все остальные продукты получают наименование **побочных**. **Полупродукт** (полуфабрикат) – продукт, прошедший частичную промышленную обработку. **Вспомогательные материалы** – это вещества, которые не принимают участия в химическом превращении, но используются при разделении реакционных смесей или очистке продукта или исходного сырья от примесей (растворители, адсорбенты, экстрагенты и пр.). В группу вспомогательных материалов включают также катализаторы, ингибиторы, инициаторы. **Отходы** – примеси и остатки сырья, отработанные вспомогательные материалы, побочные продукты, которые частично или полностью утратили свои качества и более не соответствуют стандартам. Понятие **технологический режим** означает оптимальные условия проведения процесса.

Химическую технологию классифицируют на основе различных признаков – по характеру используемых технологических процессов, происхождению и характеру сырья, характеру и потребительским свойствам продуктов.

По отраслям, как они исторически сформировались в хозяйственной жизни, химическую технологию разделяют на два класса:

А. Неорганическая химическая технология:

1) основной неорганический синтез – производство кислот, щелочей, солей и минеральных продуктов;

2) тонкий неорганический синтез – производство неорганических препаратов, реактивов, редких элементов, материалов электроники, лекарственных веществ и др.;

- 3) ядерно-химическая технология;
- 4) металлургия – производство черных и цветных металлов;
- 5) силикатные производства – производства вяжущих материалов, керамических изделий, стекла.

Б. Органическая химическая технология:

1) переработка нефти и газа – первичная переработка (первичное разделение, очистка, облагораживание) газообразных, жидких и твердых природных углеводородов (ископаемого топливного сырья);

2) нефтехимический синтез – производство органических продуктов и полупродуктов на основе переработки газообразных жидких и твердых углеводородов, а также на основе оксидов углерода и водорода;

3) основной органический синтез – производство органических продуктов на основе, главным образом, углеводородного сырья;

4) биотехнология – производство кормовых дрожжей, аминокислот, ферментов, антибиотиков и др. на основе биологических процессов;

5) тонкий органический синтез – производство органических препаратов, реактивов, лекарственных веществ, средств защиты растений и др.;

6) высокомолекулярная технология – получение высокомолекулярных соединений (синтетический каучук, пластмассы, химические волокна, пленкообразующие вещества);

7) технологии переработки растительного и животного сырья.

Приведенная классификация основана на том, что в указанных процессах переработки сырья в продукты происходит коренное изменение состава, свойств и строения участвующих веществ, т. е. химическое превращение или физико-химический процесс.

Объектом исследования химической технологии является химическое производство. Основное назначение химического производства – получение продукта, при этом химическое производство является многофункциональным.

Общие требования к химическому производству:

- получение в процессе производства необходимого продукта;
- экологическая безопасность;
- безопасность и надежность эксплуатации;
- максимальное использование сырья и энергии;
- максимальная производительность труда.

Химическое производство – совокупность машин, аппаратов и других устройств, связанных между собой материальными трубопроводами и паропроводами, линиями электрическими, транспортными и связи (для информации и управления). Все они взаимосвязаны и функционируют вместе, обеспечивая получение продукции и выполняя другие функции производства. Такой объект называется системой. Система – совокупность элементов и связей между ними, функционирующая как единое целое.

Системный подход (гр. *susthma* – сочетание) является наиболее современным методом исследования. Основная задача в методологии сис-

темного подхода заключается в определении элементного состава и такой структуры системы, которые обеспечат полную совместимость элементов внутри системы и совместимость последней с внешней средой, а также достижение высоких результатов функционирования системы.

В химическом производстве элементы – это машины, аппараты и другие устройства; связи – это материальные трубопроводы, паропроводы и прочие, которые соединяют машины, аппараты, устройства. В элементах происходит превращение потоков (изменение их состояния – разделение, смешение, сжатие, нагрев, химические превращения и т. д.). По связям потоки (материальные, тепловые, энергетические) передаются из одного элемента в другой. Это позволяет представить химическое производство как химико-технологическую систему.

Для изучения состава и структуры систем используют метод декомпозиции (расчленение целого на части); для изучения свойств системы используют метод стратификации.

В настоящее время при описании систем используют их стратифицированное (послойное) представление. Название «стратификация» происходит от латинского *stratum* – настил и *facere* – делать. Появление метода связано с невозможностью получения детального описания системы из-за великого множества свойств самой системы и ее элементов, а также неоднозначного их поведения при изменении условий функционирования.

К числу основных уровней стратификации можно отнести морфологический (изучение структуры системы), функциональный (изучение состояния системы как совокупности свойств, позволяющее прогнозировать ее поведение), процессуальный (изучение протекающих в системе процессов) и информационный (как знание информационных характеристик системы, связанных с ее управлением).

Системный подход включает три уровня (страты) изучения системы в целом:

- собственный уровень, т. е. изучение общего поведения системы, ее интегративных характеристик, исключая вопросы структуры;
- высший уровень, на котором изучаемая система рассматривается в ее взаимодействии с другими системами (окружающей средой), т. е. исследуется влияние внешних связей на характеристики системы;
- низший уровень, когда исследуются все элементы и внутренние связи системы, эффективность функционирования элементов, выявляются их недостатки (диагностика), определяется степень влияния низшего уровня структуры на интегративные свойства системы и пр.

Вопросы:

1. Что такое технология.
2. Что такое сырье, промежуточный продукт, побочный продукт и отходы химического производства.

3. Каковы основные требования к химическому производству.
4. Что такое системный подход.

2. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Изучив материал этого раздела, студент должен иметь представление о процессах химической технологии, уметь построить структурную и операторную схемы химического производства по их описанию.

Химико-технологическая система (ХТС) – искусственная техническая система, предназначенная для выпуска химических продуктов высокого качества с минимальными затратами ресурсов и минимальным воздействием на окружающую среду. На практике ХТС соответствуют производственные объединения, химические заводы, химические комбинаты.

Основу ХТС составляет операционная система, т. е. система, производящая химический продукт.

2.1. Состав операционной системы ХТС

Операционная система иерархична и включает в себя элементы высшего и низшего рангов. К элементам высшего ранга относятся подсистемы. Простейшими элементами подсистем являются технологические операторы.

Операторами в ХТС называют физические и химические процессы, с помощью которых осуществляется последовательное превращение исходного сырья в химический продукт. Основные классы технологических операторов показаны на рис. 1–3. К ним относятся тепловые, механические, массообменные, гидромеханические и химические процессы.



Рис. 1. Классификация теплообменных процессов

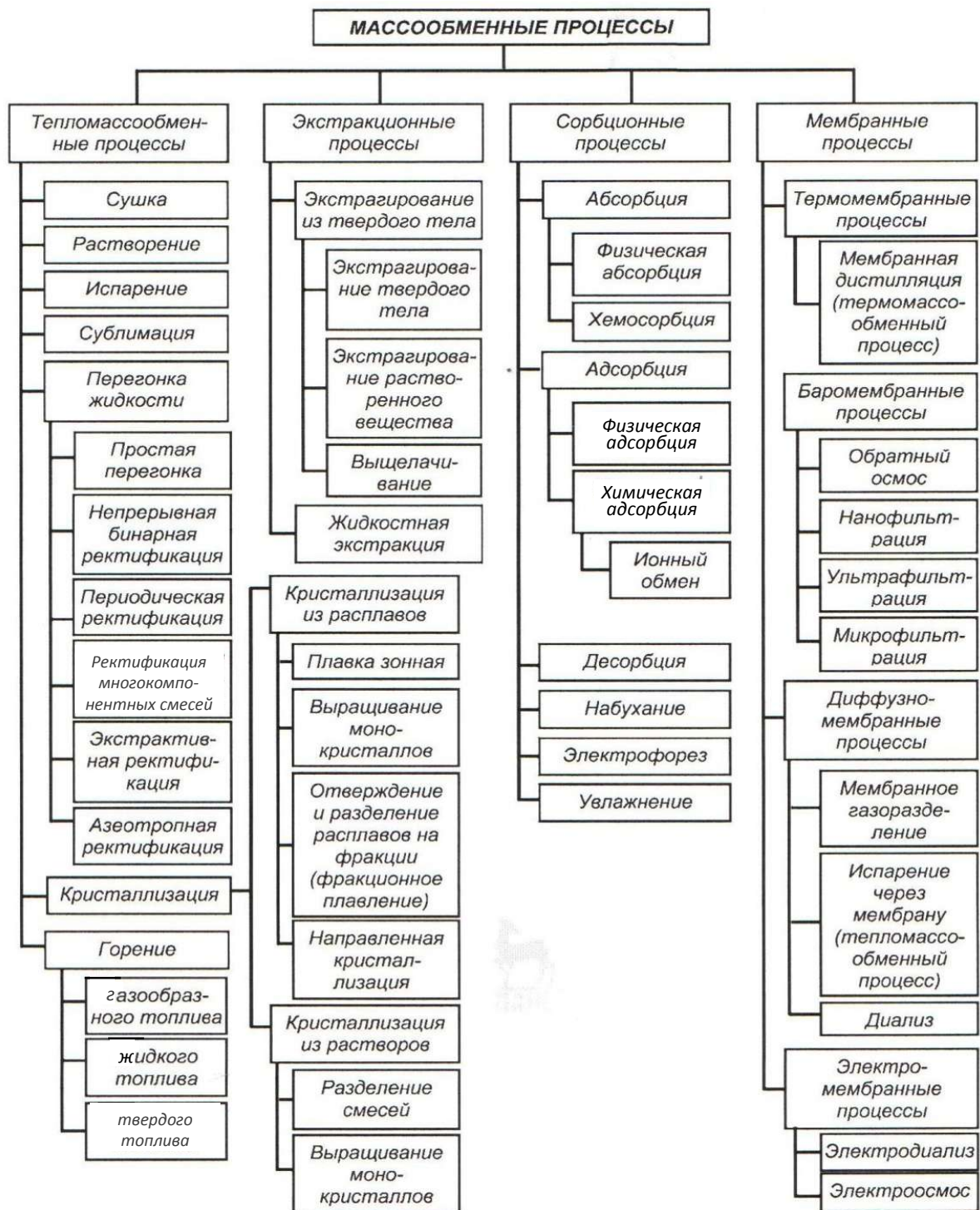


Рис. 2. Классификация механических процессов

Теплообменные процессы – нагрев, охлаждение, изменение фазового состояния. Химический и фазовый составы в них не меняются. Они протекают в теплообменниках, кипятильниках, конденсаторах, плавилках, сублиматорах.

Механические и гидромеханические процессы – перемещение материалов, изменение их формы и размеров, сжатие и расширение, смешение и разделение потоков. Все они протекают без изменения химического и фазового составов обрабатываемого материала. Для проведения этих про-

цессов предназначены: транспортеры, питатели, дробилки, диспергаторы, формователи, компрессоры, насосы, смесители, фильтры.

Массообменные процессы – межфазный обмен, в результате которого меняется компонентный состав контактирующих фаз без коренного изменения химического состава, т. е. химических превращений. К ним относятся: растворение, кристаллизация, сушка, дистилляция, ректификация, абсорбция, экстракция, десорбция, осуществляемые в соответствующих аппаратах – сушилках, дистилляторах, ректификаторах, абсорберах, экстракторах, десорберах.

Химические процессы – коренное изменение химического состава в химических реакторах.

Энергетические процессы – взаимное преобразование различных видов энергии (тепловой, механической, электрической) в турбинах, генераторах, моторах; процессы управления – получение и передача информации о состоянии потоков и веществ, изменение их состояния.

К устройствам управления относятся датчики, сигнальные и информационные системы, клапаны, задвижки, вентили, системы автоматического регулирования и т. д.

Подсистемой называют обладающую относительной автономией в рамках ХТС совокупность операторов, объединенных единой технологической цепью. Основные подсистемы и некоторые элементы инфраструктуры (обслуживающих систем) представлены на рис. 4.



Рис. 3. Классификация гидромеханических процессов

ПОДСИСТЕМЫ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ХТС			
Подготовка сырья и катализатора	Химическое превращение	Выделение целевого продукта	Обработка технического продукта
ПОДСИСТЕМЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ ХТС			
ЭНЕРГОКОМПЛЕКС			Экологизация подсистем ХТС
Производство энергии	Рекуперация энергии	Водо-подготовка	

Рис. 4. Основные подсистемы и элементы инфраструктуры

2.2. Характеристика подсистем

Подсистема подготовки сырья осуществляется в том случае, если сырье по составу или параметрам состояния не соответствует требованиям следующей за ней подсистемы химического превращения. Операторами этой стадии производственного процесса, кроме хранения и транспортировки сырья и вспомогательных материалов, могут быть нагрев, испарение, охлаждение, сжатие, растворение, плавление, смешение, очистка от примесей, сушка, измельчение и пр.

Подсистема химического превращения является главной в ХТС. Именно здесь осуществляется в одну или несколько стадий (химических реакций) получение химического продукта.

Подсистема выделения целевого продукта предназначена для разделения полученной в подсистеме химического превращения реакционной смеси на отдельные компоненты или смеси более узкого состава (фракции), чем исходная смесь. Реакционную массу, полученную в химическом реакторе, делят обычно с помощью различной сепарационной техники в зависимости от принятого метода (ректификации, экстракции, фильтрации, сорбции и пр.) на несколько потоков: непревращенного сырья, целевого и побочного продуктов, рециклов и т. д.

Подсистема обработки технического продукта – следующая по ходу процесса подсистема, целью которой является доведение целевого продукта до заданного уровня качества и придание ему товарного вида. В эту подсистему могут быть включены операторы транспорта, хранения, отгрузки продукта в торговую сеть, расфасовка, маркировка, укупорка.

Основные подсистемы инфраструктуры ХТС – подсистемы, обслуживающие основное производство. Одним из элементов инфраструктуры ХТС является энергокомплекс, в состав которого входят водоподготовка, производство и рекуперация энергии. Вторая важнейшая подсистема ХТС – подсистема экологизации производства. В задачи этого элемента инфраструктуры входит рекуперация сырья, а также очистка стоков и атмосферных выбросов от загрязняющих их веществ, переработка твердых отходов, в том числе углеводородосодержащих шламов.

2.3. Функционирование ХТС

Функционирование ХТС, т. е. ее деятельность, заключающаяся в переработке ресурсов в товарный продукт, складывается из функций операторов. Функцией оператора в системе является преобразование физических параметров входящих в него материальных и энергетических потоков (состав, температура, давление) в соответствующие параметры потоков.

Технологические операторы подразделяют на основные и вспомогательные. К основным относят операторы химического превращения, межфазного массообмена, смешения и разделения; к вспомогательным – операторы, изменяющие энергетическое и фазовое состояния технологических потоков. Графические символы основных операторов и функции, которые они должны выполнять в системе, показаны на рис. 5.

Функционирование ХТС как целого осуществляется по линиям связей между элементами. *Связь* – это физический канал, по которому происходит обмен веществом, энергией и информацией между элементами системы (внутренняя связь) и между отдельными системами (внешняя связь). Внешние связи ХТС показаны на рис. 6. К ним относят, прежде всего, ресурсы, т. е. сырье, вспомогательные материалы, энергию, финансы, трудовые ресурсы, технику.

Воздействие окружающей среды обычно относят к неучтенным факторам. Это могут быть стихийное бедствие, аварии в сопряженных системах и пр.

Информационные внешние связи могут быть представлены связями с поставщиками и потребителями, товаросырьевыми биржами, рынком ценных бумаг, налоговыми управлениями и пр.

Классификация связей основана на некоторых их свойствах: по физическому смыслу, направленности, мощности и роли в системе.

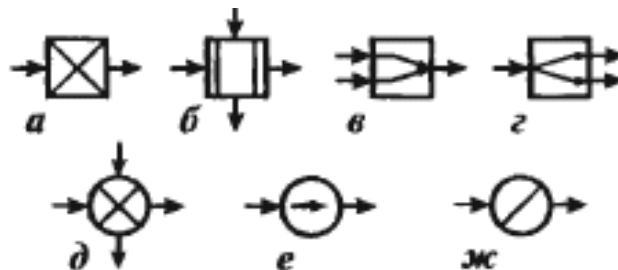


Рис. 5. Технологические операторы:

a – химического превращения; *б* – массообмена; *в* – смешения; *г* – разделения; *д* – теплообмена; *е* – сжатия, расширения; *ж* – изменения агрегатного состояния



Рис. 6. Внешние связи ХТС

По физическому смыслу связи подразделяют на материальные, энергетические и информационные. Первые два типа связей относятся к классу технологических.

Материальные связи представляют собой потоки сырья, вспомогательных материалов, продуктов и полупродуктов, твердых, газообразных и жидких отходов, катализаторов и пр. Материальные потоки переносят вещества и материалы по трубопроводам различного назначения, транспортерами и другими механическими устройствами.

К энергетическим связям относят потоки топлива, хладагентов и теплоносителей. Энергетические потоки переносят энергию в любом ее проявлении – тепловую, механическую, электрическую, топливо. Тепловая энергия и топливо для энергетических элементов передаются обычно по трубопроводам (пар, горячие потоки, горючие газы и жидкости), механическая энергия – также по трубопроводам (в виде газов под давлением) или через вал двигателей и другие элементы привода. Провода, силовые кабели передают электрическую энергию.

Информационные связи используются в системах контроля и управления процессами и производством. Информационные потоки поступают в систему в виде пневмо- или электросигналов. Для этого используются электрические провода и тонкие, капиллярные, трубки в пневматических системах.

Таким образом, с инженерной точки зрения технологические связи в ХТС представлены в виде магистралей, трубопроводов, газо- и водопроводов, топливопроводов; электрокабелей, электросетей, различных транспортных средств.

По направлению различают прямые и обратные связи. Следует отличать положительные и отрицательные обратные связи. Первые усиливают функционирование элемента, вторые – ослабляют.

Последовательность прохождения потоков через элементы ХТС определяет структуру связей и обеспечивает необходимые условия работы элементов системы. Основные типы структуры связей показаны на рис. 7: прямоугольники представляют элементы, линии со стрелками – связи и направления потоков.

Последовательная связь (схема 1, см. рис. 7). Поток проходит аппараты поочередно. Применение: последовательная переработка сырья в разных операциях, более полная переработка сырья последовательными воздействиями на него, управление процессом путем необходимого управляющего воздействия на каждый элемент.

Разветвленная связь (схема 2). После некоторой операции поток разветвляется, и далее отдельные потоки перерабатываются различными способами. Используется для получения разных продуктов.

Параллельная связь (схема 3). Поток разветвляется, отдельные части его проходят через разные аппараты, после чего потоки объединяются. Если мощность некоторых аппаратов ограничена, то устанавливают несколько аппаратов параллельно, обеспечивая суммарную производительность всей системы. Другое применение такой связи – использование периодических стадий в непрерывном процессе. В этом случае поочередно работает один из параллельных аппаратов. После завершения рабочего цикла одного аппарата поток переключают на другой аппарат, а отключенный подготавливают к очередному рабочему циклу. Так включают адсорберы с коротким сроком службы сорбента. Пока в одном из них происходит поглощение, в другом сорбент регенерируют. Еще одно назначение параллельной схемы – резервирование на случай выхода из строя одного из аппаратов, когда нарушение может привести к резкому ухудшению работы всей системы и даже к аварийному состоянию. Такое резервирование называют «холодным» в отличие от резервирования, обусловленного периодичностью процесса, – «горячего».

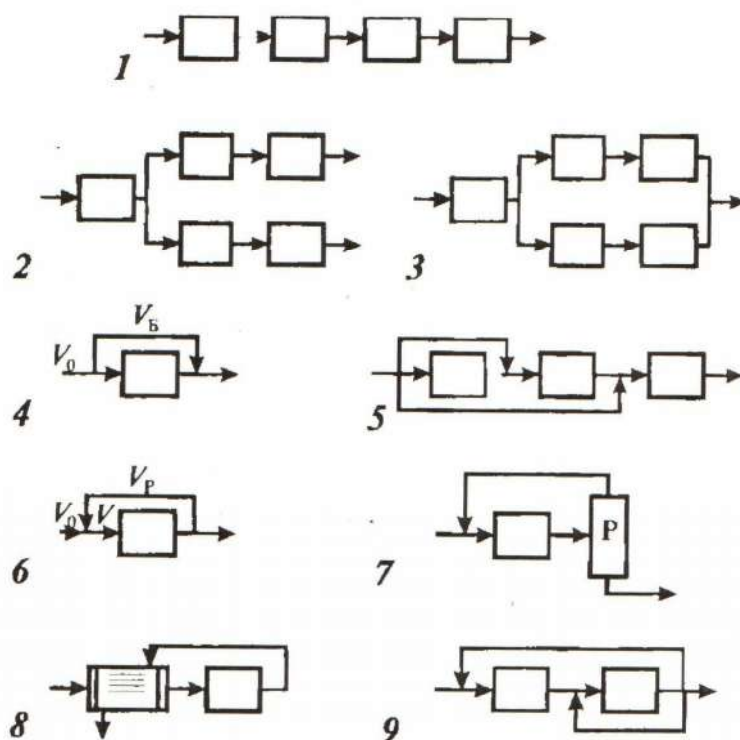


Рис. 7. Связи в химико-технологической системе

Обводная связь, или байпас (схемы 4 и 5). Часть потока, не поступая в аппарат, «обходит» его. Такая схема используется в основном для управления процессом. Например, в процессе эксплуатации теплообменника условия передачи теплоты в нем меняются (загрязнение поверхности, изменение нагрузки). Поддерживают необходимые температуры потоков байпасированием их мимо теплообменника.

Обратная связь, или рецикл (схемы 6–9). Часть потока после одного из аппаратов возвращается в предыдущий. Количественно величину рецикла характеризуют кратностью циркуляции.

Если выходящий из аппарата поток разветвляется и одна его часть образует обратную связь (схема 6), то такая связь образует полный рецикл – составы выходящего потока и рециркулирующего одинаковы.

Возможен возврат (рецикл) части компонентов после системы разделения Р (схема 7). Фракционный рецикл (возвращается фракция потока) широко применяется для более полного использования сырья. Фракционный рецикл используют также для полного использования вспомогательных материалов.

К фракционному рециклу можно отнести схему 8. Свежая смесь нагревается в теплообменнике теплом выходящего из реактора потока. Рециркулирует тепловая фракция потока (а не компонентная, как в схеме 7). Схемы 6–8 представляют собой простой рецикл, а схема 9 – сложный.

Приведенные типы связей присутствуют практически во всех ХТС, обеспечивая необходимые условия их функционирования.

2.4. Формы представления ХТС

ХТС обладают сложной структурой, содержащей большое количество операторов и многочисленные комбинации разнообразных связей между ними.

В зависимости от элементного состава, характера связей и предназначения различают функциональные, операторные, структурные и технологические схемы.

Функциональная схема является наиболее компактным представлением структуры системы. Элементами здесь выступают подсистемы, соединенные друг с другом материальными связями. На основе функциональной схемы составляют материальные балансы, поскольку она позволяет установить количество материальных потоков, которыми оперирует система.

Операторная схема более детально описывает систему. Элементами операторной системы являются технологические операторы, т. е. химические, тепловые, механические процессы, способствующие переработке сырья в готовый продукт.

При разработке *структурной схемы* изображения операторов заменяют прямоугольниками, которые затем объединяют в систему материальными и энергетическими потоками.

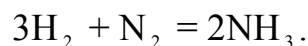
Технологическая схема составляется на основе операторной, при этом взамен технологического оператора ставится аппарат, который наиболее соответствует требованиям той технологической операции, которая осуществляется данным оператором (реактор, смеситель, теплообменник).

Технологическая схема состоит из описания технологического процесса и графического изображения (чертежа) соответствующих аппаратов и технологических линий. Описание технологической схемы производится по каждой подсистеме, начиная с поступления и подготовки сырья и кончая отгрузкой готового продукта, с указанием основных технологических параметров процесса, характеристики используемого основного оборудования, систем регулирования и блокировок со ссылкой на чертеж технологической схемы.

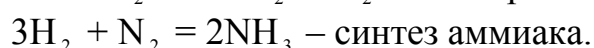
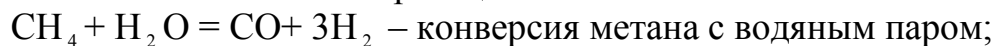
Рассмотрим в качестве примера ХТС производство аммиака.

Химическая схема представлена основными реакциями (химическими уравнениями), которые обеспечивают переработку сырья в продукт.

Синтез аммиака из водорода и азота представлен одним химическим уравнением

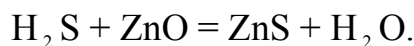


Производство аммиака из природного газа (метана) требует проведения нескольких химических реакций:

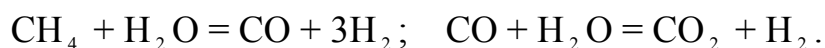


Эти уравнения – химическая схема – показывают генеральный путь превращения сырья в продукт. Но реализация превращения не ограничивается только данными уравнениями – необходимы еще стадии, обеспечивающие химические преобразования или детализирующие их.

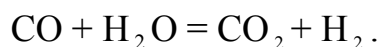
1. Очистка природного газа от серосодержащих соединений адсорбцией сероводорода, который мешает дальнейшим превращениям:



2. Конверсия метана с водяным паром. И природный газ CH_4 , и вода H_2O являются сырьем для получения одного из компонентов для синтеза аммиака – водорода H_2 . В этом превращении протекают одновременно две реакции:

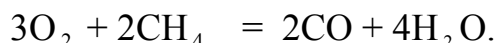


3. Конверсия оксида углерода с водяным паром (в предыдущем процессе оксид углерода CO не полностью превращается в CO₂ из-за равновесных ограничений):



После этого процесса достигается максимально возможное извлечение водорода из исходного сырья – метана CH₄ и воды H₂O.

4. Получение азота N₂ – второго исходного компонента для синтеза аммиака. В современных схемах его получают «выжиганием» из воздуха кислорода:

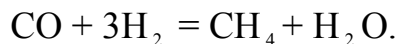


Это наиболее простой способ освободить азот воздуха от кислорода, тем более что сжигание части природного газа все равно необходимо для обеспечения теплом всего процесса. Продукты горения – CO и H₂O – участники получения водорода.

5. Абсорбция диоксида углерода – удаление CO₂ при получении водорода. Его поглощают раствором моноэтаноламина:



6. Очистка газа от оксида углерода CO. После конверсии небольшое количество CO остается, и он мешает дальнейшим превращениям. Освобождаются от него, превращая в метан:



7. Синтез аммиака (после всех стадий получена чистая азотоводородная смесь; примесь CH₄, полученная в предыдущей стадии, мала) :



Функциональная схема (рис.8) строится на основе химической и наглядно отражает основные стадии химико-технологического процесса и их взаимосвязи. Каждая из них представлена прямоугольником, линии между ними – связи. Структурную и операторную схемы производства аммиака иллюстрирует рис. 9.

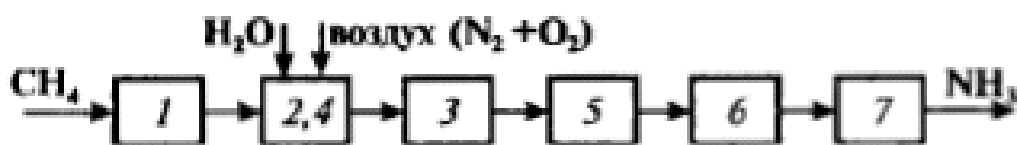


Рис. 8. Функциональная схема производства аммиака

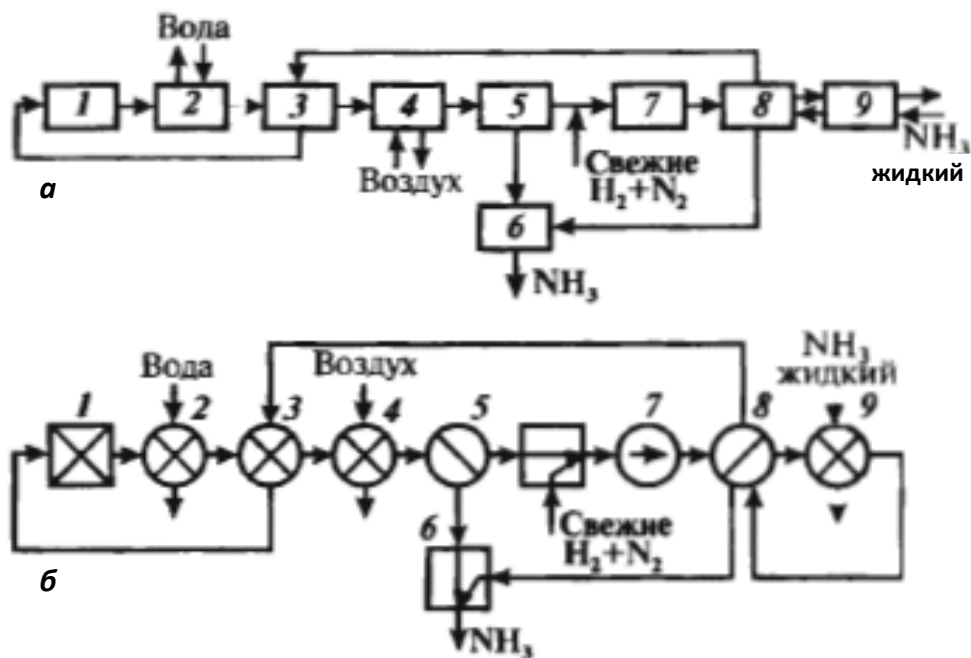


Рис. 9. Структурная (а) и операторная (б) схемы синтеза аммиака

На технологической схеме показывают элементы системы, порядок их соединения и последовательность технологических операций. В технологической схеме каждый элемент (агрегат, аппарат, машина) имеет общепринятое изображение, соответствующее его внешнему виду. Связи изображены обычно линиями со стрелками или даже в виде трубопроводов. Нередко расположение аппаратов соответствует их примерной расстановке в цехе. На технологической схеме кратко могут быть приведены данные о параметрах процесса.

Несколько сокращенная технологическая схема синтеза аммиака приведена на рис. 10. Азотоводородная смесь поступает в реактор 1. Нагретая за счет теплоты экзотермической реакции прореагировавшая реакционная смесь охлаждается в трех теплообменниках. В первом из них (2) газ охлаждается водой – частично используется теплота реакции. В теплообменнике 3 подогревается газ, направляемый в реактор. Окончательное охлаждение происходит в воздушном холодильнике 4. Это наиболее простое и безопасное решение. Если охлаждать водой, вода может загрязняться, и необходимо создать сложную замкнутую систему водооборота, работающую на чуть теплой воде.

В охлажденном газе конденсируется аммиак (частично), и его отделяют в сепараторе 5. Жидкий аммиак собирается в сборнике 6 как продукт. Охлаждение до температуры окружающей среды недостаточно для полного выделения аммиака, и газ из сепаратора направляется в конденсационную колонну 8. В ней газ охлаждается до $-(2 \div 3)^\circ\text{C}$, так что в нем остается 3–5 % аммиака.

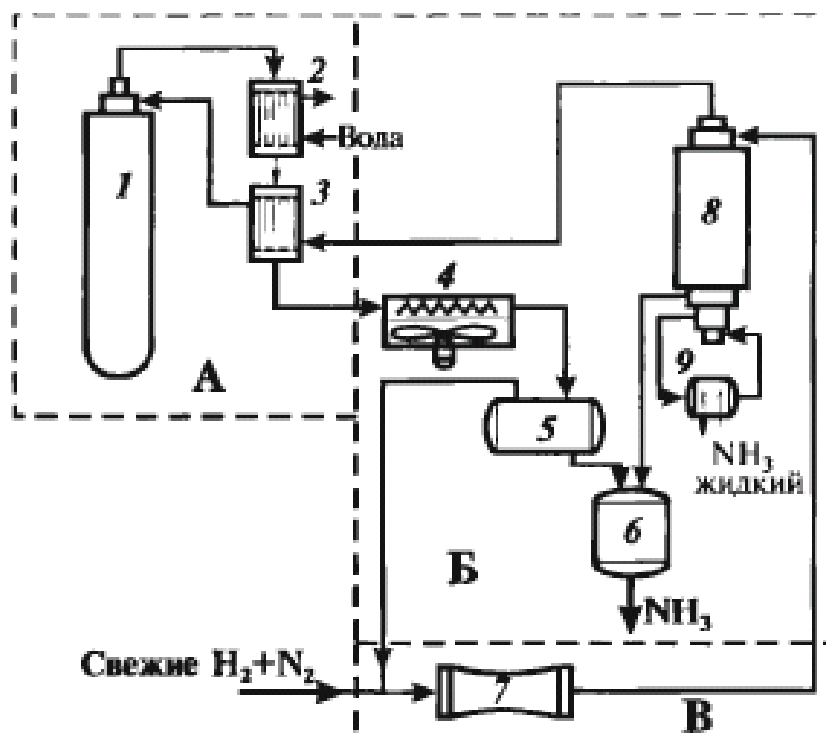


Рис. 10. Технологическая схема синтеза аммиака:
 1 – колонна (реактор) синтеза NH_3 ; 2 – водяной холодильник;
 3 – теплообменник; 4 – воздушный холодильник; 5 – сепаратор;
 6 – сборник аммиака; 7 – циркуляционный компрессор;
 8 – конденсационная колонна; 9 – испаритель

Охлаждение осуществляют за счет испарения жидкого аммиака в испарителе 9 (подобно аммиачному холодильнику). Испаритель может быть конструктивно совмещен с конденсационной колонной. В ней же аммиак отделяют от газа и направляют в сборник. Холодный газ затем подогревают в теплообменнике 3 и возвращают в колонну синтеза 1. Обеспечивают циркуляцию потока циркуляционным компрессором 7. Перед ним в циркулирующий реакционный газ добавляют свежую азотоводородную смесь.

Отметим наглядность отображения конкретного производства, дающую почти осязаемое представление о нем. Технологические схемы входят в проектную и техническую документацию каждого производства.

2.5. Технологический регламент

Эксплуатация любой ХТС осуществляется согласно технологическому регламенту. Технологический регламент — основной технологический документ, по которому устанавливают способ производства, технические средства и средства управления, нормативы расхода ресурсов, технологический режим работы оборудования.

Технологический регламент должен обеспечивать производство продукта заданного уровня качества, безопасность эксплуатации, экономическую эффективность и экологическую чистоту окружающей среды.

В зависимости от уровня разработки технологии различают постоянные, временные, разовые и лабораторные регламенты.

В свою очередь лабораторный регламент является основой для создания полупромышленного регламента, но может также использоваться самостоятельно для обеспечения работы лабораторных, пилотных и модельных установок.

Разовые регламенты используются для выпуска партии новой продукции. Соблюдение правил, устанавливаемых технологическим регламентом, обязательно для всех эксплуатирующих технологические установки независимо от их масштаба.

Все технологические регламенты содержат следующие основные разделы:

- научно-технический уровень, патентоспособность и патентная чистота (продукта, способа производства, аппарата);
- техническая характеристика сырья, продуктов, основных и вспомогательных материалов;
- технические характеристики отходов и выбросов;
- технология процесса;
- условия проведения процесса;
- нормы расхода ресурсов;
- материальный баланс процесса;
- физико-химические свойства процесса;
- расчет основных технологических аппаратов;
- физико-химические и теплофизические свойства веществ и смесей;
- контроль производства и управление процессом;
- основы безопасной эксплуатации;
- охрана окружающей среды;
- основные производственные инструкции.

Приведем краткое содержание некоторых разделов технологического регламента.

В разделе «Технология производства» приводят технологическую схему, ее описание и схему материальных потоков процесса. В описании рассматриваются все стадии технологической схемы: подготовительная обработка сырья, химическое превращение, разделение реакционной смеси, очистка технического продукта, а также стадия обезвреживания отходов, стоков и выбросов. Последовательно описываются основные аппараты и технологические операции схемы, ее особенности, даются характеристика процесса, его организационная структура, приводятся основные параметры режима работы оборудования. Кроме описания основного

процесса, в этот раздел включают также и сведения по технологической схеме переработки отходов и очистки выбросов, стоков и охлаждающей воды.

«Контроль и управление производством». В данном разделе описывается совокупность контрольных точек производства, согласно которой осуществляют безопасное ведение процесса и получают качественную продукцию. Этот перечень должен включать наименования стадий и оборудования, объектов контроля, технического средства контроля, а также контролируемого параметра и соответствующих нормативов, метод и частоту контроля. Для безопасного ведения процесса необходима разработка мер предосторожности, обеспечиваемых системой контроля высокой надежности, которая исключает возможность пожара, взрыва, утечки токсичных веществ.

Каждый технологический процесс характеризуется четырьмя режимами работы: пуск, регламентный, аварийный и остановка. Следует помнить, что, кроме регламентного режима, параметры остальных режимов могут зависеть от случайных факторов, поэтому при обработке измерений необходимо использовать вероятностные методы. Следует также проанализировать принятый способ оценки опасности, которая часто возникает из-за неадекватности условий определения параметра в производстве. В случае отклонения какого-либо параметра технологического режима за пределы допустимой величины в системе регулирования необходимо предусмотреть такие меры, как независимые и параллельно работающие схемы регулирования и защитных блокировок, установку нескольких параллельно работающих датчиков на каждый наиболее важный технологический параметр для сокращения случаев отказа и ложного срабатывания систем защиты при возникновении неисправности датчика.

В регламенте должны быть приведены: перечень взрыво- и пожароопасных веществ, присутствующих в сырье, вспомогательных материалах и реакционных смесях; характеристика процесса по опасности накопления статического электричества; перечни токсичных и вредных веществ, наиболее опасных мест производства и меры по обеспечению безопасности персонала, а также санитарная характеристика производственных процессов. Кроме того, в регламенте должна быть установлена категоричность производства по пожарной опасности и взрывоопасности при применении электрооборудования.

Раздел «Охрана окружающей среды» включает процессы переработки отходов и обезвреживания стоков и выбросов, перечень и характеристику отходов, отбросов, стоков и выбросов до и после очистки.

Заключительный раздел регламента содержит производственные инструкции, обеспечивающие нормальный и безопасный ход работ при их строжайшем исполнении (технологические инструкции, инструкции по технике безопасности, пожарной безопасности и электробезопасности, по эксплуатации, пуску и остановке производства и пр.). Инструкции представляют собой программу управления производством и поведения в угрожающих и аварийных ситуациях.

Вопросы

1. Основные функциональные части химического производства.
2. Какие процессы включает подготовка сырья.
3. Какие механические процессы используются в химической технологии.
4. Какие гидромеханические процессы используются в химической технологии.
5. Какие тепловые процессы используются в химической технологии.
6. Какие массообменные процессы используются в химической технологии.

3. ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Изучив материал этого раздела, студент должен иметь представление об аппаратном оформлении процессов химической технологии и возможных опасностях при эксплуатации химического оборудования.

Химический объект – объект техносферы, где обращаются (производятся, получают, образуются, используются, перерабатываются, хранятся, транспортируются и/или уничтожаются) химические вещества.

Химически опасным объектом принято называть объект техносферы, при аварии на котором или разрушении которого может произойти массовое отравление людей, сельскохозяйственных животных и растений либо химическое заражение окружающей природной среды химическими веществами в количествах, превышающих естественный уровень их содержания в среде.

Химико-технологические объекты – объекты техносферы, в технологическом цикле которых используются химические вещества, способные при их попадании в окружающее пространство привести к массовым поражениям людей, животных и растений. Такие объекты, как правило, представляют пожаро- и взрывоопасность.

Современные химико-технологические объекты отличаются рядом специфических особенностей, влияющих на их уровень опасности.

Во-первых, они характеризуются многообразием различных производственных сред, которые используются на объекте. Многие из них обладают повышенной токсичностью, горючестью, воспламеняемостью и склонностью к коррозии.

Во-вторых, современные химико-технологические объекты отличаются использованием агрегатов большой единичной мощности, в которых сконцентрированы значительные массы химических веществ.

В-третьих, на химико-технологических объектах в настоящее время в более широких масштабах, чем ранее, используется оборудование, работающее в экстремальных условиях (высокая и слишком низкая температура производственных сред, высокое давление и значительное разрежение в аппаратах, большие скорости движения и колебания элементов оборудования и др.)

В-четвертых, в химико-технологических схемах современных химико-технологических объектов используется большое количество структурных элементов разного назначения, от нормального функционирования (надежности, безотказности) которых во многом зависит безаварийность объекта в целом.

В-пятых, в состав химико-технологических объектов теперь, как правило, входят автоматизированные системы управления, автоматические системы защиты и мониторинга, оснащенные современной вычислительной техникой, контроллерами, микропроцессорами, что должно учитываться при анализе надежности и уровня их опасности.

Среди большого числа отличающихся по характеру процессов химической технологии можно выделить группу процессов, которые при определенных условиях, возникающих вследствие нарушения требований регламента, выходят в аварийные режимы с последствиями различной степени тяжести. Такие процессы называются **потенциально опасные процессы химической технологии**, и их можно разделить на четыре группы: переработка и получение токсичных веществ; переработка и получение взрывоопасных веществ и смесей; процессы, протекающие с большой скоростью; смешанные процессы.

Значительная часть потенциально опасных процессов химической технологии – это смешанные процессы, которые можно отнести одновременно к двум или трем указанным группам. В них присутствуют все или часть видов опасности: токсичность, взрыв, механическое разрушение оборудования и аппаратуры, выброс реакционной массы, технологический брак. Классификация потенциально опасных процессов химической технологии по виду опасности приведена на рис. 11.

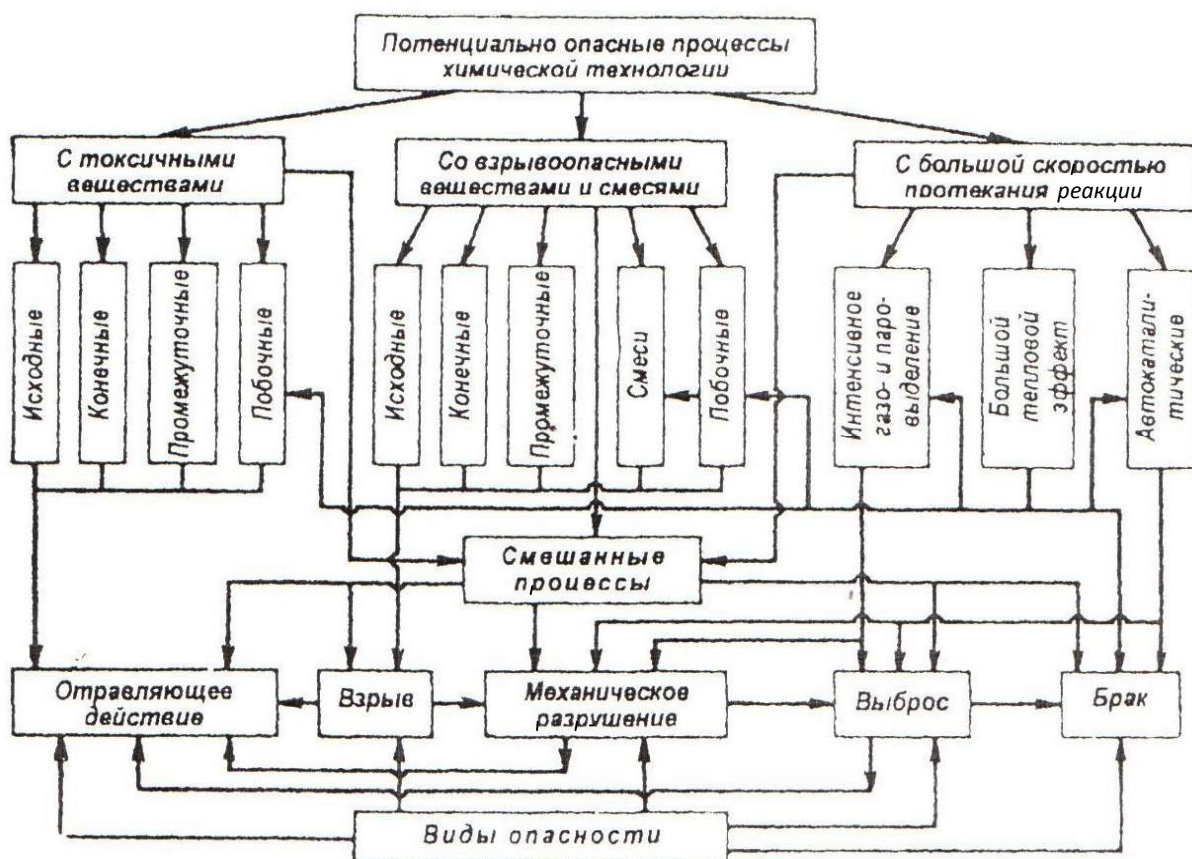


Рис. 11. Классификация потенциально опасных процессов химической технологии

Причины, приводящие к отклонению от нормального режима работы и вызывающие аварийную ситуацию очень разнообразны. Основные причины возникновения аварийной ситуации можно свести к следующим.

1. Изменение соотношения подаваемых компонентов (непрерывный процесс) или скорости слива одного из компонентов (полунепрерывный процесс). И в том, и в другом случаях скорость химического превращения веществ растет, что приводит к увеличению количества выделяемого тепла, подъему температуры, ускорению побочных реакций, интенсивному газовыделению и пр. Оба отклонения возникают при отказах средств автоматизации, оборудования, регламентирующего подачу, или в результате ошибок обслуживающего персонала (при ручном управлении).

2. Снижение (или отсутствие) расхода хладагента, подаваемого для охлаждения. Это приводит к снижению теплоотбора, увеличению температуры и т. д. и возникает в результате ошибок обслуживающего персонала.

3. Отсутствие перемешивания. В этом случае возможно накопление непрореагировавших компонентов, что при последующем включении мешалки ведет к интенсивному росту скорости реакции и, как следствие, к

нарушению температурного режима. Возникает в результате отказа технологического оборудования (например, остановка или обрыв лопастей мешалки).

4. Попадание посторонних продуктов в аппарат. Приводит к ускорению побочных реакций, нарушению температурного режима и т. д. Возникает при отказе технологического оборудования и в результате ошибок обслуживающего персонала.

5. Нарушение состава исходных компонентов, подаваемых в виде смеси или раствора. Приводит к изменению соотношения реагирующих веществ, следствием чего возможно увеличение скорости химического превращения веществ и т. д. Причины этого нарушения – отказы средств автоматизации и ошибки обслуживающего персонала.

6. Нарушение режима удаления газов или паров. Приводит к увеличению давления и возникает при отказах средств автоматизации, технологического оборудования, стоящего на линии: отвода газов или паров из реактора, и при ошибках обслуживающего персонала.

Надежное средство интенсификации и защиты потенциально опасных процессов – создание автоматических систем защиты. В практике химических производств применяется принцип снижения опасности, реализуемый в следующих направлениях.

Первое направление – наиболее традиционное – повышение надежности используемого технологического оборудования, введение технических систем обеспечения безопасности (двойные стенки резервуаров, факельные системы, предохранительные клапаны, обвалования и т. п.)

Второе направление – придание технологиям «внутренне присущей» безопасности. Наиболее известные примеры такого подхода – сокращение объемов опасного вещества или замена их неопасными компонентами (функционально подобными исходным веществам), а также модификация используемых технологических процессов.

Третье направление – административное, в рамках которого осуществляется менеджмент (т. е. планирование, организация, руководство и контроль) всей системы взаимосвязанных действий по обеспечению безопасности. Здесь имеется в виду распределение ответственности, учет человеческого фактора, ведение проекта и внесение в него необходимых исправлений, расследование происшествий и подготовка персонала, проведение ревизий, осуществление контроля технологий и т. п.

Четвертое направление в практическом осуществлении безопасности в промышленности – это организация действий в чрезвычайных ситуациях. Такие действия осуществляются с помощью систем раннего обнаружения и предупреждения аварии, технических средств противодействия ее распространению: водяных и паровых завес, управляемых источником воспламенения, нейтрализаторов токсичности паровых облаков и т. п.

Экологические проблемы химических производств

Химические производства являются одним из основных источников загрязнения биосферы. Неуклонный рост выработки различных химических веществ сопровождается, как правило, соответствующим увеличением количества вредных отходов. В результате в ряде центров химической и нефтехимической промышленности наблюдается катастрофическое загрязнение водоемов, почвы, атмосферы.

Наиболее существенными источниками загрязнения окружающей среды являются отходы, образующиеся при химико-технологических процессах. К ним относятся: продукты побочных реакций, не находящие применения; продукты неполного и чрезмерно глубокого превращения и полимеризации, а также фильтры; промышленные воды и воды из абсорбционных установок очистки отходящих газов; отработанный воздух окислительных процессов; газы, не вступившие в реакцию (хлор, аммиак и др.) и т. д.

Окружающую среду загрязняют вспомогательные вещества и материалы, применяемые в химико-технологических процессах: отработанные катализаторы; адсорбенты, абсорбенты и растворители; осушающие агенты; воздух после регенерации катализатора и пневмотранспорта продуктов; газы, отсасываемые из аппаратов при создании разрежения; тара и фильтровальные материалы, непригодные для повторного использования и пр.

Кроме того, в химических производствах источниками загрязнения окружающей среды являются механические потери сырья, промежуточных и готовых продуктов вследствие негерметичности оборудования и коммуникаций.

Вредным воздействием обладают сточные воды химических производств. Основные химические производства потребляют большое количество воды – на производство 1 т: серной кислоты расходуется 70 м³; кальцинированной соды – 115; аммиака – 800; акриланитрила – 1960; ацетилена – 2800.

Сточные воды химических производств содержат значительное количество минеральных и органических примесей. В настоящее время в промышленности используют различные эффективные методы очистки сточных вод. Однако следует иметь в виду, что очистка сточных вод не предотвращает загрязнения водоемов, так как при сбросе даже очищенных вод требуется многократно разбавлять их свежей водой. В противном случае естественные водоемы будут заполняться водами, обедненными кислородом и непригодными для жизни рыб. Необходимая кратность разбавления очищенных сточных вод составляет: для нефтеперерабатывающей промышленности до 60 раз; целлюлозно-бумажной – 20–40; для производства синтетического волокна – 10–15; синтетического каучука – до 2000; для минеральных удобрений и азотной промышленности – 10 раз.

Последнее обстоятельство осложняется нарастающим дефицитом природных ресурсов пресной воды. Следовательно, одним из основных направлений в снижении воздействия химических производств на окружающую среду является перевод предприятий на замкнутое водоснабжение, когда очищенные сточные воды используются для технических целей на этом же или другом предприятии промышленного региона.

Для правильного и полного понимания воздействия отходов на биосферу необходимо знать механизм превращения соединений, первоначально содержащихся в отходах; механизм миграции вредных и токсичных соединений из мест складирования отходов в окружающую среду и пути попадания этих загрязнителей непосредственно в организм человека и животных.

Для определения степени токсичности того или иного химического отхода используют общие критерии оценки:

- токсичность по отношению к человеку, т. е. эффект непосредственного воздействия на здоровье людей;
- токсичность по отношению к животным (домашним и диким);
- свойства продуктов разложения (токсичность, устойчивость, биоаккумулятивность);
- синергетический эффект.

Вопросы:

1. Что называется химически опасным объектом.
2. Какие процессы химической технологии являются потенциально опасными.
3. Какие отходы существуют на химических предприятиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди различных видов техногенной опасности для людей и окружающей среды химическая опасность занимает особое место.

Под **химической безопасностью** понимается совокупность определенных свойств объектов окружающей среды и создаваемых регламентируемых условий, при которых, с учетом экономических и социальных факторов и научно обоснованных допустимых дозовых нагрузок химических вредных веществ, удерживается на разумно низком, минимально возможном, уровне риск возникновения аварии на химическом опасном объекте, а также риск прямого или косвенного воздействия этих веществ на окружающую среду и человека, и исключаются отдаленные последствия воздействия химических вредных веществ для настоящих и последующих поколений.

Учитывая специфические особенности химической опасности, проявляющиеся в аварийном и/или систематическом загрязнении окружающей природной среды В. А. Легасов сформулировал принципы химической безопасности. Один из которых гласит: система обеспечения химической

безопасности должна опираться на анализ и управление химическими рисками, исходя из базового положения о приемлемых уровнях риска взамен существовавших ранее подходов к обеспечению полной (абсолютной) безопасности. В основу выбора подходов к оценке риска положена концепция многосредового воздействия с учетом взаимного влияния сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кондауров, Б. П.* Общая химическая технология: учеб. пособие / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов. – М.: «Академия», 2005. – 336 с.

2. *Харлампиди, Х. Э.* Общая химическая технология / Х. Э. Харлампиди. – СПб.: Лань, 2013. – 448 с.

3. *Бесков, В. С.* Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебник для вузов / В. С. Бесков, В. С. Сафронов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.

1. Творческое задание

Цель задания – ознакомление с различными химическими производствами, типовым производственным оборудованием, мероприятиями в области безопасности и охраны окружающей среды.

Вам необходимо:

1. Выбрать производство (в соответствии с заданием) и изучить его.
2. Написать пояснительную записку:
 - 2.1) составить технологическую схему производства с описанием главных стадий технологического процесса (кратко);
 - 2.2) составить функциональную (структурную) схему производства согласно технологической схеме;
 - 2.3) выбрать одну технологическую операцию и описать оборудование, используемое для осуществления данного процесса;
 - 2.4) оценить безопасность и надежность эксплуатации описанного оборудования, риск возникновения аварийной ситуации, понимая, что любой технологический процесс характеризуется некоторым набором переменных процесса, отклонения которых от рекомендованных значений могут приводить к нежелательным химическим реакциям, превышению рабочего давления и/или температуры и, как следствие, к повреждению (разрушению) технологического оборудования;
 - 2.5) назвать отходы и побочные продукты производства.
3. Подготовить сообщение (презентацию), которое может быть заслушано на занятиях.

2. Рекомендации по выполнению творческого задания

Основные этапы работы студента над творческим заданием:

- 1) подбор и изучение литературы по теме работы;
- 2) написание работы.

Подбор и изучение литературы по теме работы. Придерживайтесь списка рекомендуемой кафедрой литературы, так как он соответствует программе курса. При написании работы наряду с учебниками можно пользоваться и периодическими изданиями. Вся рекомендуемая литература имеется в библиотеке на абонементе или в читальном зале, на сайте библиотеки.

Написание содержательной части творческой работы. Работа пишется строгим научным языком, не допускается использование разговорной речи, а также дословное переписывание материала из литератур-

ных источников. Текстовая часть работы должна содержать четкий и развернутый ответ.

Оформление работы. Работа должна быть определенным образом оформлена. Текст должен быть выполнен в текстовом редакторе Word for Windows версии не ниже 6.0. Тип шрифта: Times New Roman Cyr. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов: полужирный, размер 16 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Межсимвольный интервал: обычный. Межстрочный интервал: одинарный. Формулы должны быть выполнены в редакторе формул Equation Editor и вставлены в документ как объект. Размеры шрифта для формул: обычный – 14 пт; крупный индекс – 10 пт; мелкий индекс – 8 пт; крупный символ – 20 пт; мелкий символ – 14 пт.

Иллюстрации должны быть вставлены в текст. Текст отчета выполняется на листах формата А4 (210 × 297 мм) без рамки, соблюдая следующие размеры полей: левое, верхнее и нижнее – не менее 20 мм, правое – не менее 10 мм. Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют в низу страницы, в центре, без точки в конце.

Допускается выполнение работы и в письменной форме, в обычной школьной тетради. В этом случае она должна быть написана аккуратно, разборчиво, без помарок и сокращений (кроме общепринятых), на листах с полями для пометок преподавателя. Текст, написанный от руки неразборчивым почерком, рецензироваться не будет.

На титульном листе обязательно указываются: дисциплина, название темы, ФИО преподавателя, ФИО студента, факультет, группа. В конце работы приводится список использованных источников. Обратите внимание на его правильное библиографическое описание.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Понятийный аппарат химической технологии	3
2. Химико-технологические системы	7
2.1. Состав операционной системы ХТС.....	7
2.2. Характеристика подсистем.....	10
2.3. Функционирование ХТС.....	11
2.4. Формы представления ХТС.....	14
2.5. Технологический регламент	18
3. Химически опасные объекты и обеспечение безопасности	21
Заключение	26
Библиографический список.....	27
Приложения.....	28
1. Творческое задание.....	28
2. Рекомендации по выполнению творческого задания	28

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Составители:

Занько Наталья Георгиевна
Раковская Екатерина Геннадьевна

ТЕХНОЛОГИЯ
И ОБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ
ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Методические указания по изучению дисциплины
для бакалавров направления
20.03.01 «Техносферная безопасность»

Редактор *М. А. Молчанова*
Компьютерная верстка – *Н. А. Ушакова*

Подписано в печать с оригинал-макета 27.04.17.
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная.
Уч.-изд. л. 2,0. Печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 54. С 58.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
Издательско-полиграфический отдел СПбГЛТУ
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 3