

Тема 1. Химическая технология. Введение.

- Базовый учебник (выделить жирным шрифтом)
- **Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учеб. для студентов хим.-технол. специальностей вузов / А. Г. Касаткин. - 14-е изд., стер. - Перепеч. с 9 изд. 1973 г. - Москва : Альянс, 2008. - 750 с.**
-
- Основная литература
- Кондауров Б. П. Общая химическая технология [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 656100 "Технология и конструирование изделий легкой промышленности" по специальности 281000 "Технология кожи и меха" / Б. П. Кондауров, В. И. Александров, А. В. Артемов ; [рец. : В. С. Бесков, Х. Э. Харлампиди]. - Москва : Академия, 2005. - 332, [1] с. : рис. - (Высшее профессиональное образование. Химическая технология). - Библиогр.: с. 328.
- Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. - 14-е изд., стер., перепечатка с изд. 1987 г. - Москва : Альянс, 2007. - 575 с.

- **Наука, изучающая способы и процессы переработки сырья в предметы потребления и средства производства, носит название технология.**
- Под понятием «способы и процессы переработки сырья..» понимают ряд последовательных операций, проводимых с сырьем в различных машинах и аппаратах с целью получения и него заданного продукта.
- **Химическая технология – естественная прикладная наука о способах и процессах производства продукции, осуществляемых с участием химических превращений, технически, экономически и социально целесообразным методом.**
- Химическая технология устанавливает закономерности и изучает процессы не только основной химической промышленности, но и многих других важнейших отраслей техники.
- Основной задачей современной химической технологии является не описание химических процессов и аппаратов, а установление точных данных выражаемых в математической форме, о зависимости отдельных стадий, так и всего процесса от ряда различных факторов.

- Предмет изучения – химическое производство.
- Методы исследования – экспериментальный, моделирование и системный анализ.
- Объектом изучения – химическое производство.

Все многообразие процессов химической технологии можно структурировать по видам производств в виде шести модулей:

1. Технология органических производств
2. Производство промышленных газов
3. Каталитическая переработка газов в основной химической промышленности
4. Технология производства солей и щелочей
5. Технология электрохимических и электротермических производств
6. Технология силикатов

- *Технология органических производств:* рассматриваются добыча и переработка нефти, производство промежуточных продуктов и красителей, приведены данные о производстве целлюлозы и ее химической переработке, производство пластмасс, лаков и красок, биохимический производств (этиловый, бутиловый спирты, ацетон, уксусная, лимонная кислоты, гидролиз древесины).
- *Производство промышленных газов:* рассматривается твердое топливо как сырье для химических производств и способы получения и переработки промышленных газов.
- *Каталитическая переработка газов в основной химической промышленности:* рассматриваются процессы химических производств, связанной с каталитической переработкой газов (производство серной кислоты, азотводородной смеси, синтез аммиака и метанола, получение азотной кислоты).

- *Технология производства солей и щелочей:* рассматриваются технологии производства минеральных удобрений, кальцинированной соды, едкого натра и окиси алюминия.
- *Технология электрохимических и электротермических производств:* рассматриваются основные технологии производства путем электролиза.
- *Технология силикатов:* рассматривается производство вяжущих веществ, керамических изделий и стекла.

- Химический комплекс России, который объединяет более 1000 крупных и средних промышленных предприятий, более 150 научных и проектно-конструкторских организаций, опытных и экспериментальных заводов с общей численностью 920 тыс. чел.
- В последние годы является одним из самых быстро развивающихся в экономике страны. Темпы ее ежегодного роста в 5-7% существенно превышают динамику других секторов, а спрос во многих областях по-прежнему превышает предложение, что обеспечивает хорошие перспективы роста в дальнейшем.
- На функционирование химического комплекса значительное влияние оказывают вертикально интегрированные структуры (ЗАО "ЛУКОЙЛ-Нефтехим", холдинг "ФосАгро", ОАО "МХК "ЕвроХим", ОАО "Сибур-Холдинг", ОАО "Нижекамскнефтехим", Группа "Амтел-Фредештайн" и др.), которые производят значительную часть внутреннего валового продукта.
- Если соотнести химический комплекс России с мировым химическим производством, то на нашу долю приходится около 1,1% мирового объема химической продукции.

- Два крупнейших направления химического комплекса – производство полимеров и выпуск минеральных удобрений – за первое полугодие 2019 года показали рекордные результаты, по некоторым видам достигнув исторических максимумов. Так, по данным Росстата, выпуск пластмасс в России увеличился в январе-июне на 3,1% до 4,3 млн тонн, минудобрений – на 2% до 12 млн тонн.

Лидер нефтехимического сектора «СИБУР Холдинг» за последние шесть лет реализовал 14 проектов на 210 млрд. руб. До конца года компания запустит свой ключевой завод – «Запсибнефтехим» -- стоимостью в \$9,5 млрд., который полностью закроет внутренний спрос на ряд крупнотоннажных продуктов.

В отрасли химической промышленности были введены крупные мощности и по выпуску минудобрений: «Акрон» запустил агрегат аммиака на 700 тыс. тонн и две очереди ГОК «Олений Ручей» на 1,2 млн тонн апатитового концентрата», «Фосагро» - установки по выпуску аммиака на 760 тыс. тонн и карбамида – на 500 тыс. тонн. Одним из последних ярких событий в отрасли стал ввод в июне 2019 года в Ленинградской области нового предприятия «Еврохима» на 1 млн тонн аммиака, которое является крупнейшим производством в Европе.

По данным Росстата



Выпуск первичных полимеров

за I полугодие 2019 увеличился
на **3,1%**
к уровню **2018** года



Выпуск минудобрений

в I полугодии 2019 года
увеличился на **2%**
к уровню **2018** года

Но текущие успехи химпрома являются лишь этапом восстановления после 1990-ых годов, когда отрасль была фактически разрушена. Если в СССР выпускался огромный ассортимент химической продукции от реактивов до автомобильных шин, то в современной России объем производства химического сектора упал в разы, а многие предприятия закрылись, не выдержав конкуренции с хлынувшим в страну импортом.

Ситуация качественно улучшилась только к концу 1990-х годов, когда заводы обрели инвесторов, обновили фонды и наладили производство качественной и современной продукции.

С 2002 года Россия превратилась в нетто-импортера химической продукции. Россия ввозит более 50% потребляемых пластмасс, химических волокон, лакокрасочных материалов. За последние пять лет объем производства в химической промышленности увеличился на 60%. Химическая отрасль России находится на 20-м месте в мире по объему производства и на 11-м - по объему продукции на душу населения.

ДО 2% ЕДВА ДОТЯГИВАЕТ ДОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В СТРУКТУРЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА, А ДОЛЖНА БЫТЬ – 30%.

1. СНИЖЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.

2. НЕДОСТАТОЧНЫЕ ТЕМПЫ МОДЕРНИЗАЦИИ

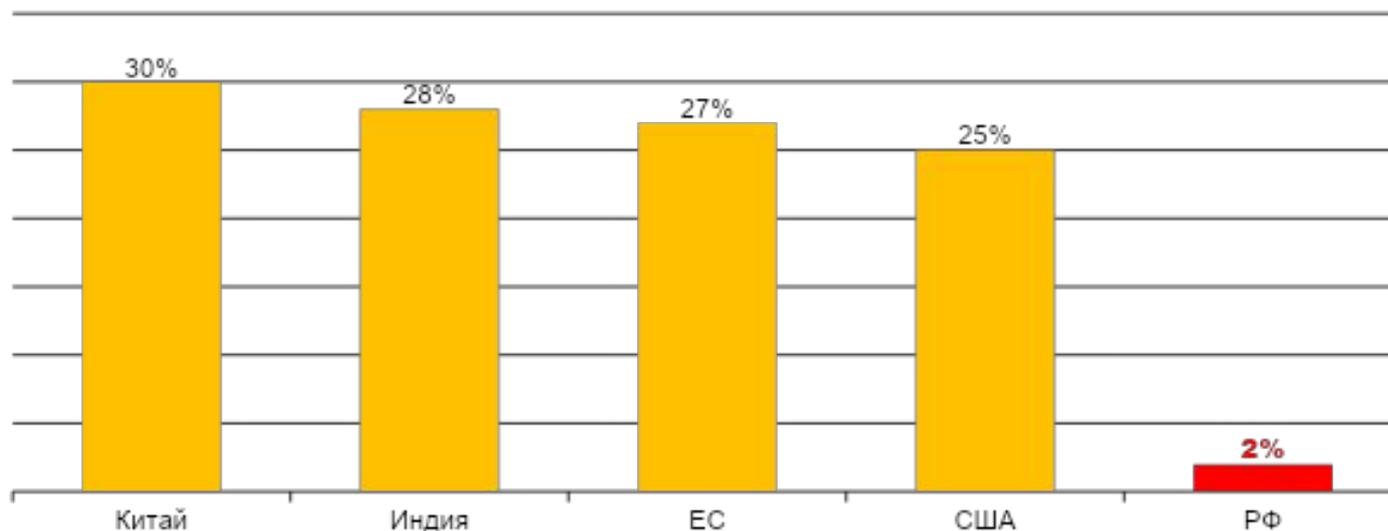
3. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ ДЕФИЦИТ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ.

4. НЕХВАТКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И НИЗКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕРМИНАЛОВ.

5. НЕСОВЕРШЕНСТВО ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ПО ВОПРОСАМ ЭКОЛОГИИ

ХИМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ЗА РУБЕЖОМ

Доли химического комплекса в объеме промышленного производства в РФ и других странах



Показатели региональных рынков КАУСТИЧЕСКОЙ СОДЫ по итогам 2010 г., млн. т

РЕГИОН	ПРОИЗВОДСТВО	ЭКСПОРТ	ИМПОРТ	ПОТРЕБЛЕНИЕ
Западная Европа	9,897	0,454	0,285	9,728
США	11,373	2,067	0,897	10,203
ИНДИЯ	3,12	0,019	0,309	3,410
Китай*	20,856	1,465	0,017	19,408

* В 2011 г. объем выпуска каустической соды в Китае составил 24,7 млн. тонн

- *«Ключевыми тенденциями развития химического комплекса в России и в мире являются увеличение выпуска высокотехнологичной продукции, развитие процесса внедрения так называемой «зелёной» химии, глубокая цифровизация производства».*

Статс-секретарь – заместитель Министра промышленности и торговли РФ Виктор Евтухов

- *«Мы бы хотели большего: и большего процента прироста, и больших инвестиций в нашу отрасль, больше государственно-частных партнерств в области химизации всей страны. Без химии ни одна отрасль развиваться не может».*

Президент РСХ Виктор Иванов

- *«Мы видим, что наступает время более тесных партнерских отношений науки с бизнесом. Например, сегодня один из главных приоритетов СИБУРа - глубокие переделы нефтехимии – химия среднетоннажная и малотоннажная»*

Председатель Правления ПАО «СИБУР Холдинг» Дмитрий Конов

Объем производства
минеральных удобрений
в России:

46%
азотные

23

млн
тонн

в пересчете
на 100%
питательных
веществ

17%
фосфорные

37%
калийные



Объем
инвестиций

«Уралкалия» в
2020-2025 годы
составит **\$3** млрд



Производство
удобрений

«Фосагро» увеличится на
30%
к **2025** году

- Химическая промышленность подразделяется на отрасли широкой специализации (горная химия, основная химия, производства органического синтеза и т.д.) и отрасли узкой специализации (производство минеральных удобрений, пластмасс, красителей и т.д.). Продукция химической промышленности по принятой в стране классификации сгруппирована в 7 классов, каждый из которых насчитывает от сотен до тысяч различных наименований:
- 1 класс. Продукты неорганического синтеза.
- 2 класс. Полимерные материалы, синтетические каучуки, пластмассы, химические волокна.
- 3 класс. Лакокрасочные материалы.
- 4 класс. Синтетические красители и полупродукты.
- 5 класс. Продукты органического синтеза (нефте. - коксо и лесохимия).
- 6 класс. Химические реактивы и чистые вещества.
- 7 класс. Химико-фармацевтические препараты.

- Химическая технология отличается от теоретической химии не только необходимостью учитывать экономические требования к изучаемому ею производству. Между задачами, целями и содержанием теоретической химии и химической технологий существуют принципиальные различия, вызванные спецификой производственных процессов, что накладывает ряд дополнительных условий на метод изучения.

Химик – технолог должен учитывать другие факторы:
доступность и стоимость сырья и энергии,
конструкцию реактора и коррозионно-стойкие материалы для изготовления,
меры по защите окружающей среды и т.д.

Контрольные вопросы

- Дайте определение понятию Химическая технология .
- Классификации химической технологии

Структура, состав и компоненты химического производства

Химическое производство должно быть организовано таким образом, чтобы соблюдались следующие требования:

- получение в производстве необходимого продукта
- экологическая безопасность
- безопасность и надежность эксплуатации оборудования
- максимальное использование сырья и энергии

Любое производство включает несколько обязательных элементов:

- максимальная производительность труда.
1. **сырье**, т.е. объект превращения;
 2. **энергию**, т.е. средство воздействия на объект
 3. **аппаратуру**, в которой это превращение осуществляется
 4. **Вода не только служит средой, в которой протекают многие химические превращения, но широко используется в процессе, как растворитель, теплоноситель, хладагент, транспортное средство**

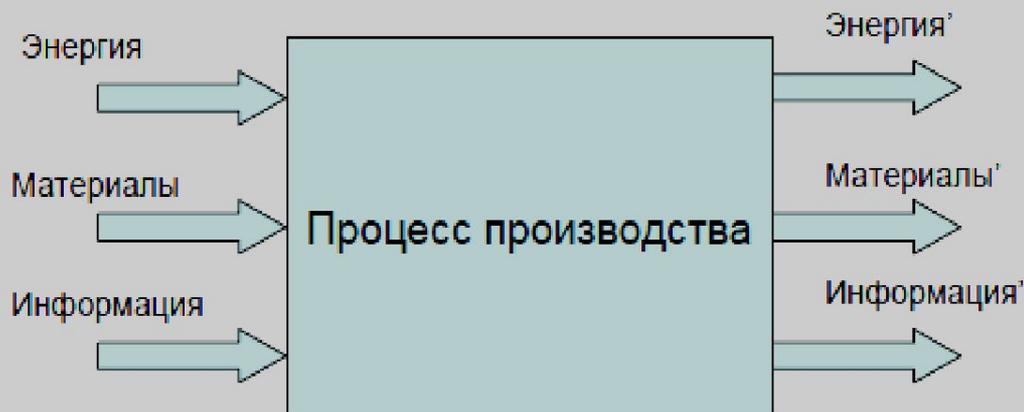
- Сложное химическое производство невозможно эксплуатировать без системы управления.
- **Принципы, методы и технические средства систем управления химико-технологическими процессами. Структура современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), приемы выбора и использования систем аварийного контроля, сигнализации, блокировки и защиты.**
- **Основные принципы системного подхода**
- Впервые основные принципы системного подхода были сформулированы в 1937 году американским биологом Лео фон Берталанфи. В то время новый исследовательский подход не привлек особого внимания ученых и только после II мировой войны получил широкое распространение в связи с развитием кибернетики и социальных наук.

- Основные принципы системного подхода можно сформулировать следующим образом:
- - любой объект исследования следует рассматривать как систему, отвлекаясь от его конкретной природы;
- - эффективность функционирования этой системы зависит от ее состава и структуры;
- - нельзя изучать отдельные элементы системы в отрыве от других элементов;
- - полное знание одного элемента системы не означает знание всей системы, и неполная информация может привести к неожиданным последствиям;
- - для изучения состава и структуры системы используют метод декомпозиции – расчленение целого на части;
- - при изучении отдельных элементов системы исследуются лишь те свойства элемента, которые определяют его взаимодействие с другими элементами или влияют на свойства системы в целом;
- - системный подход заключается в определении состава и структуры системы, которые обеспечат полную совместимость элементов внутри системы и совместимость последней с внешней средой при достижении высоких результатов функционирования системы.

- Сложность такой системы как химическое производство сделало целесообразным применение для ее исследования системного подхода и введения понятия уровень протекания процесса. При подобном подходе в химическом производстве выделяются несколько последовательно возрастающей сложности подсистем – уровней, каждому из которых свойственен свой метод изучения явления. Такими уровнями в химическом производстве являются:
- молекулярный уровень, на котором механизм и кинетика химических превращений описывается как молекулярное взаимодействие (микрокинетика);
- уровень малого объема, на котором явления описываются как взаимодействие макрочастиц (гранул, капель, зерен катализатора).
- Для анализа явлений на этом уровне и описания химического процесса введено понятие - макрокинетика, задачей которой является изучение влияния на скорость химических превращений процессов переноса масс исходных веществ и продуктов реакции, процессов теплопередачи и влияние состава катализатора.

Цель управления химико-технологическим процессом

Автоматизация производства



Химико-технологическая система (ХТС) функционирует нормально, если ее режимные параметры (температура, давление, расход, состав и т.п.) не отклоняются существенным образом от расчетных значений. Для обеспечения нормального функционирования технологической системы ею надо управлять.

Виды производств

- • Непрерывное

Требуется регулировать расход, давление, температуру, напряжение, перемещение подвижных элементов и пр. величины во всех их диапазонах изменений

- • Дискретное

Требуется регулировать переменные величины с дискретным количеством состояний, например, вкл. или откл. клапанов, задвижек, пускателей и т.п.

- • Производственный процесс — это совокупность действий, необходимых для выпуска готовых изделий из полуфабрикатов или связанных с функционированием производственного подразделения.
- • Технологический процесс — это совокупность действий, связанных с обеспечением требуемых выходных параметров данного процесса.
- • Технологический процесс является основной частью производственного процесса, поэтому можно говорить о наличии технологического процесса у любого подразделения данной производственной системы независимо от того, выполняет ли оно основные или вспомогательные функции по отношению к так называемому основному продукту производства.

Управление – процесс, обеспечивающий необходимое, в соответствии с целевым назначением, протекание химико-технологического процесса (ХТП) путем изменения материальных и энергетических потоков. Технологический процесс, с точки зрения управления, называется объектом управления.

Система управления – это система, объединяющая объект управления и, собственно, управляющую систему.

Управляющая система осуществляет сбор информации о состоянии объекта управления, возмущающих воздействий и состояния внешней среды. На основе полученной информации принимаются решения по управлению и вырабатываются управляющие воздействия.



Виды управления

- Управление технологическим процессом (АСУТП) - Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека – не только управление – в технологическом процессе может присутствовать человек, в том числе, если технологические процессы относятся к организациям.
- Управление предприятием (АСУП) – АСУТП + автоматизация управления запасами, финансами, кадрами, маркетингом + документооборот.

Цели автоматизации технологического процесса

- Повышение эффективности производственного процесса – оптимизация
- Повышение безопасности производственного процесса

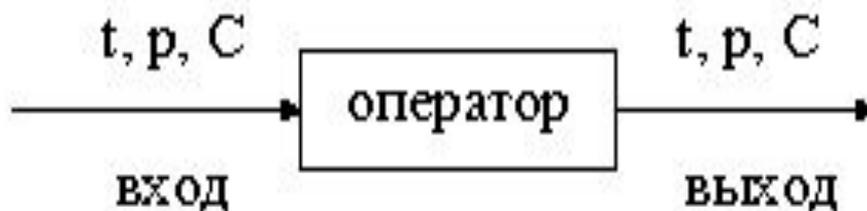
Решение задач путем:

- Внедрения современных методов автоматизации
 - Методов автоматического регулирования
 - Методов оптимизации;
 - Методов визуализации;
 - Методов искусственного интеллекта.
- Внедрения современных средств автоматизации
 - Конкретной SCADA-системы;
 - Конкретных современных датчиков;
 - Конкретных контроллеров;
 - Программных средств ИИ (экспертных оболочек, оболочек для работы с нейронными сетями и т.д.).

Виды автоматизации ТП

1. • Автоматизация непрерывных технологических процессов (Process Automation)
2. • Автоматизация дискретных технологических процессов (Factory Automation)
3. • Автоматизация гибридных технологических процессов (Hybrid Automation)

- **Состав ХТС**
- Простейшим элементом ХТС является оператор, под которым понимают типовой процесс химической технологии и соответствующую ему технику. Оператор преобразует физические параметры входящих в него потоков в соответствующие параметры выходящих потоков. ХТС является оператор, под которым понимают типовой процесс химической технологии и соответствующую ему технику.



- Можно выделить несколько классов операторов (типовых технологических процессов):
- химические процессы, скорость которых определяется законами химической кинетики;
- массообменные (диффузионные) процессы, скорость которых определяется скоростью переноса вещества из одной фазы в другую (растворение, кристаллизация, адсорбция, десорбция, экстракция и др.); гидродинамические процессы, скорость которых определяется законами механики и гидромеханики (отстаивание, перемешивание, пенообразование и др.); тепловые процессы, скорость которых определяется законами теплопередачи (нагревание, охлаждение); энергетические процессы, заключающиеся во взаимном преобразовании различных видов энергии: тепловой, механической, электрической в турбинах, генераторах и моторах; механические процессы (дробление, прессование, гранулирование, дозирование и др.); процессы управления – получение и передача информации о состоянии потоков и продуктов и изменении их свойств.
- Операторы классов 1–6 часто объединяют под одним названием – технологические операторы.

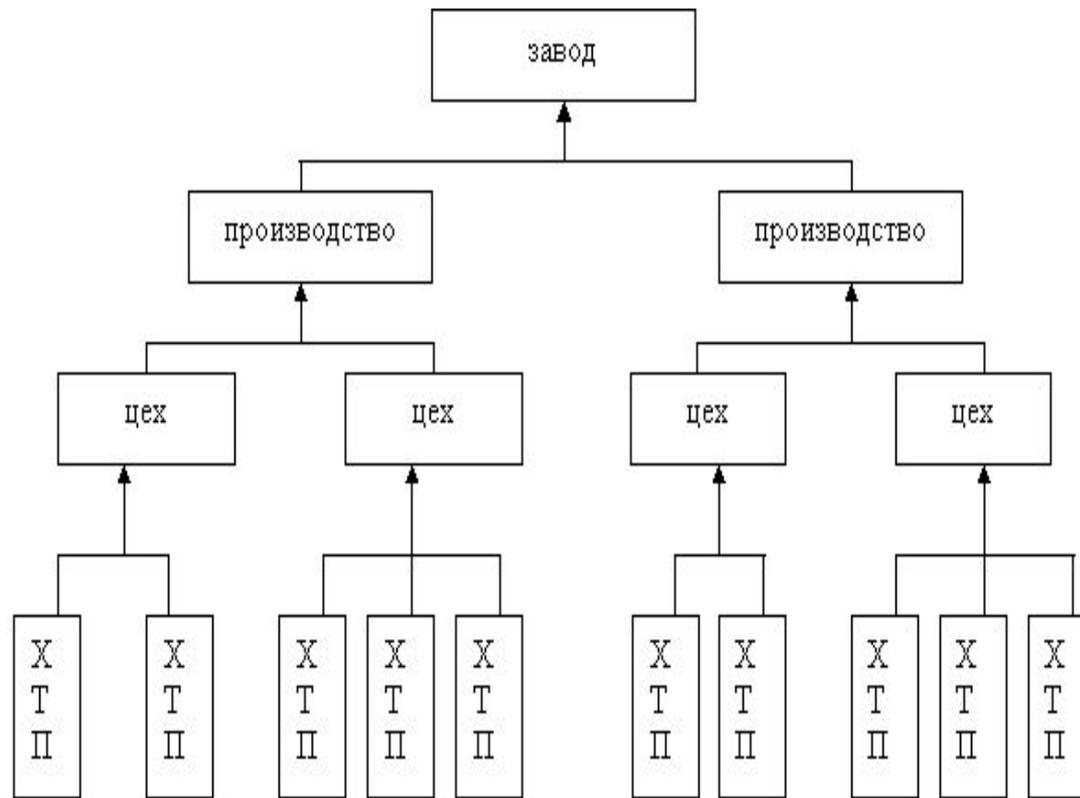
- Более крупной структурной единицей ХТС является подсистема. Подсистемой называют совокупность операторов, объединенных одной технологической схемой. Подсистема – это самостоятельно функционирующая часть системы.
- Подсистемы могут быть выделены по любому, удобному для изучения системы признаку. Например, химическое производство можно представить как иерархическую структуру, состоящую из 3 – 4 уровней или ступеней иерархии (соподчинения):
 1. 1 (низшая) ступень – типовые ХТП и соответствующая техника;
 2. 2 ступень – совокупность типовых технологических процессов, осуществляющих определенную операцию. Чаще всего, это цехи или их отдельные участки;
 3. 3 ступень – химические производства, состоящие из нескольких цехов, где получают целевые продукты;
 4. 4 ступень – химическое предприятие в целом

- **Химическое производство как система**
- Производственные процессы в химической промышленности могут существенно различаться видами сырья и продукции, условиям их проведения, мощностью аппаратуры и т. д. Однако при всем многообразии конкретных процессов современное химическое производство имеет одно общее: это сложная химико-технологическая система, состоящая из большого числа аппаратов и разнообразного оборудования (узлов) и связей (потоков) между ними. При этом под химико-технологической системой (ХТС) понимается совокупность всех процессов и средств для их проведения с целью получения продукта заданного качества и в требуемом количестве.
- Особенность ХТП в том, что они протекают с высокими скоростями, при высоких температурах и давлениях в многофазных системах. Это определяет их сложность, большое число параметров, многочисленность связей между ними и взаимное влияние параметров друг на друга внутри ХТС.

ХТС присущи некоторые общие признаки. К ним относятся:

1. -общая цель функционирования (выпуск химической продукции),
2. -многочисленность элементов и связей между ними,
3. -большое число параметров, характеризующих работу системы,
4. -высокая степень автоматизации процессов управления производством.

Химическое производство как ХТС представляет достаточно сложную иерархическую структуру, включающую 3 – 4 уровня.



- По функциональному признаку, наиболее часто используемому технологами, выделяют следующие подсистемы ХТС:
- - подсистема подготовки сырья;
- - подсистема химического превращения;
- - подсистема выделения целевого продукта;
- - подсистема обработки технического продукта;
- - энергетическая подсистема;
- - экологическая подсистема.

- Подсистема химического превращения является главной подсистемой ХТС, здесь происходит получение целевого продукта.
- Подсистему подготовки сырья вводят в том случае, если сырье по своим характеристикам не соответствует требованиям главной подсистемы. Операторами этой подсистемы являются хранение и транспортировка сырья, нагрев и охлаждение, испарение, плавление, растворение, сушка, измельчение и др.
- Подсистема выделения целевого продукта предназначена для разделения реакционной смеси на отдельные компоненты. Операторы подсистемы – ректификация, экстракция, фильтрация и др.
- Подсистема обработки технического продукта имеет целью доведение целевого продукта до заданного уровня качества и придания ему товарного вида. В эту подсистему могут быть включены операторы расфасовки, укупорки, маркировки, транспорта, хранения и др.
- Энергетическая подсистема включает в себя подсистемы производства энергии, рекуперации энергии и водоподготовки.
- Экологическая подсистема предназначена для рекуперации сырья, очистки сточных вод и газовых выбросов.

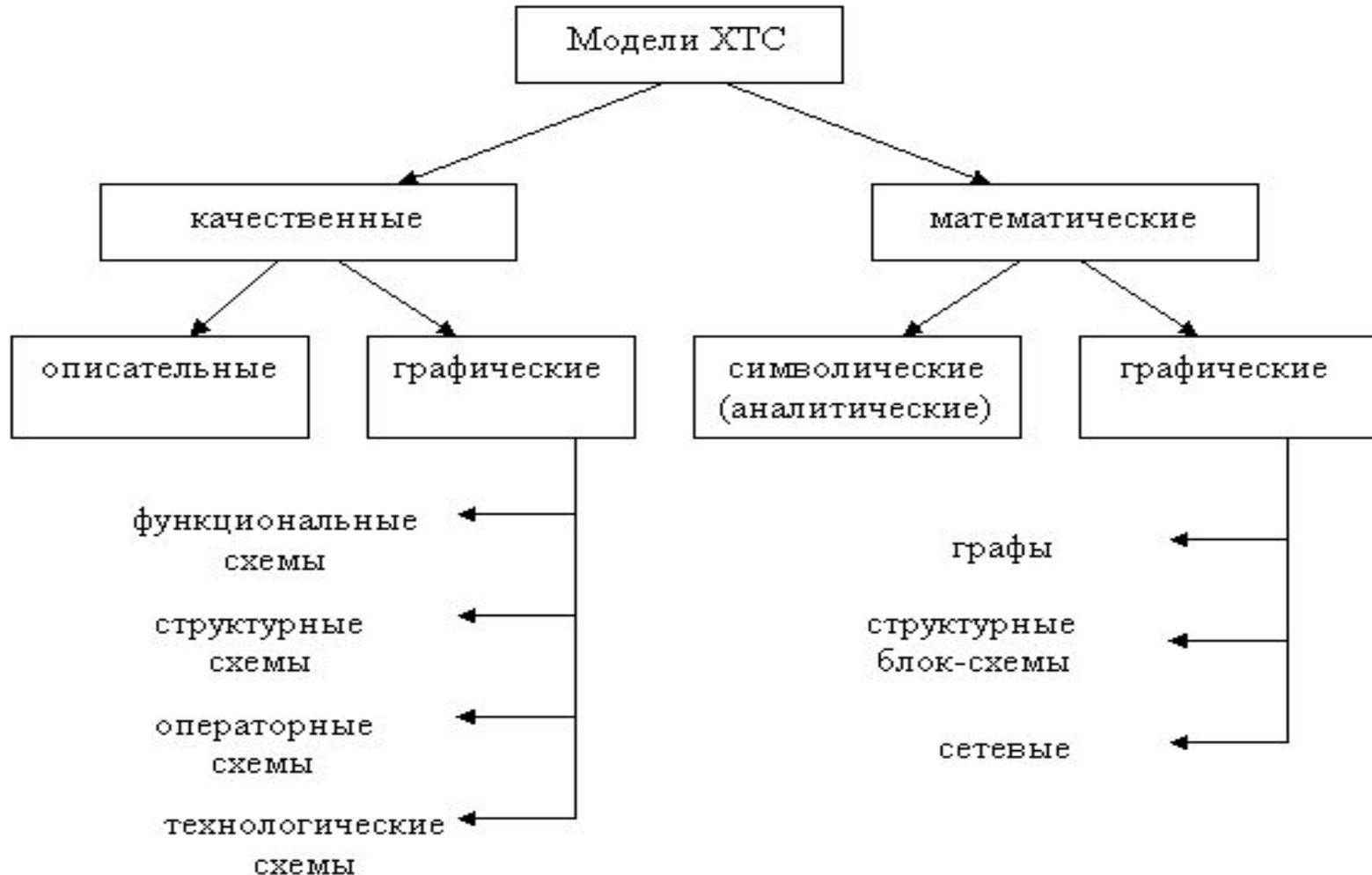
- В состав ХТС кроме элементов включаются еще связи. Связь - это физический канал, по которому происходит обмен веществом, энергией или информацией между элементами (внутренние связи) и между отдельными системами (внешние связи). По физическому смыслу связи бывают материальные, энергетические и информационные.
- Материальные связи – потоки сырья, вспомогательных материалов, продуктов и отходов.
- Энергетические связи – потоки топлива, хладагентов и теплоносителей.
- Материальные и энергетические связи называют технологическими.
- Информационные связи – это связи, обеспечивающие управление системой.

Структура, состав и компоненты химического ХТС

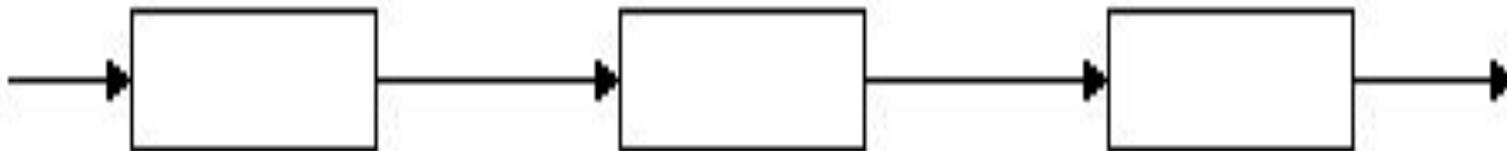
Химическое производство должно быть организовано таким образом, чтобы соблюдались следующие требования:

1. получение в производстве необходимого продукта
 2. экологическая безопасность
 3. безопасность и надежность эксплуатации оборудования
 4. максимальное использование сырья и энергии
 5. максимальная производительность труда.
-
- Структура ХТС – это способ соединения элементов в единую систему. Можно выделить 4 основные структуры:
 1. последовательное соединение операторов;
 2. параллельное соединение операторов;
 3. обводное (байпасное) соединение операторов;
 4. обратное соединение операторов (рецикл).

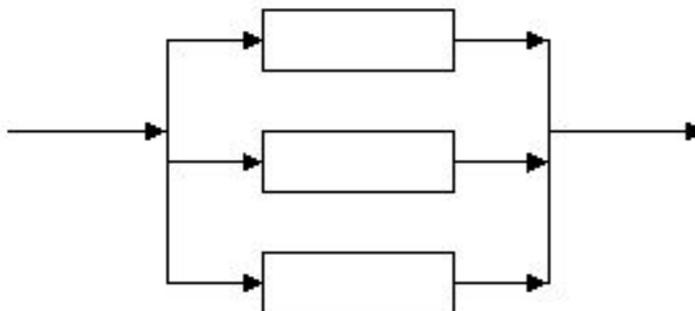
Состав и структуру ХТС можно описать с помощью качественных и математических моделей.



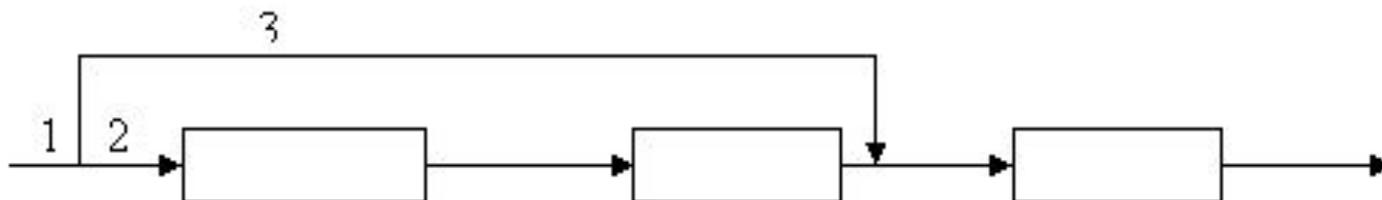
- При последовательном соединении аппаратов весь технологический поток, выходящий из предыдущего элемента поступает полностью в последующий элемент; при этом через каждый элемент схемы поток проходит лишь один раз.



При параллельном соединении технологический поток разделяется на несколько более мелких потоков, поступающих в различные элементы системы. Выходящие из этих элементов потоки могут объединяться в один поток или выходить из системы отдельно. Через каждый элемент поток проходит один раз



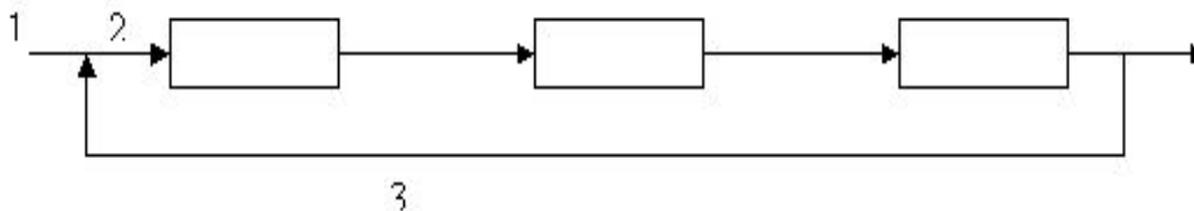
- Обводное соединение элементов – это ряд последовательно соединенных аппаратов, через которые проходит лишь часть технологического потока. Другая часть потока обходит один или несколько аппаратов и затем соединяется с основной частью потока. При байпасном соединении направление главного и побочного потоков совпадают; каждый проходит через какой-либо элемент только один раз.



1 – прямой поток (m_1), 2 – главный поток (m_2), 3 – побочный поток (m_3).

$$m_1 = m_2 + m_3$$

Рецикл характеризуется наличием в цепи последовательно соединенных элементов хотя бы одного обратного потока. В отличие от ранее рассмотренных схем это замкнутая система.



$$m_2 = m_1 + m_3$$

- Такие системы характеризуются степенью рециркуляции, показывающей, какая для главного потока после его разветвления возвращается в процесс

$$R = \frac{m_3}{m_2}$$

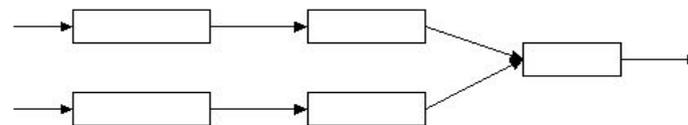
- и коэффициентом рециркуляции, который показывает, во сколько раз главный поток больше прямого .

$$r = \frac{m_2}{m_1}$$

- Все остальные структуры ХТС являются комбинацией этих четырех основных способов соединения элементов. Комбинированные структуры весьма многообразны; их можно разделить на две большие группы: разветвленные



и перекрестные



- Рассмотренные четыре структуры используется в производстве при соединении в технологическую цепочку любых аппаратов, в том числе и химических реакторов. Рассмотрим, какие технологические задачи решаются при использовании различных вариантов соединения реакторов.

Последовательное и параллельное соединение реакторов осуществляют при необходимости увеличения производительности установки. При заданной скорости химической реакции производительность установки, работающей в непрерывном режиме, можно увеличить при достижении более высокой степени превращения реагента за счет увеличения времени пребывания реагентов в реакционной зоне; путем увеличения количества перерабатываемого сырья в единицу времени при сохранении $\alpha = \text{const}$. В обоих случаях это приводит к увеличению объема реакционной зоны (объема реактора).

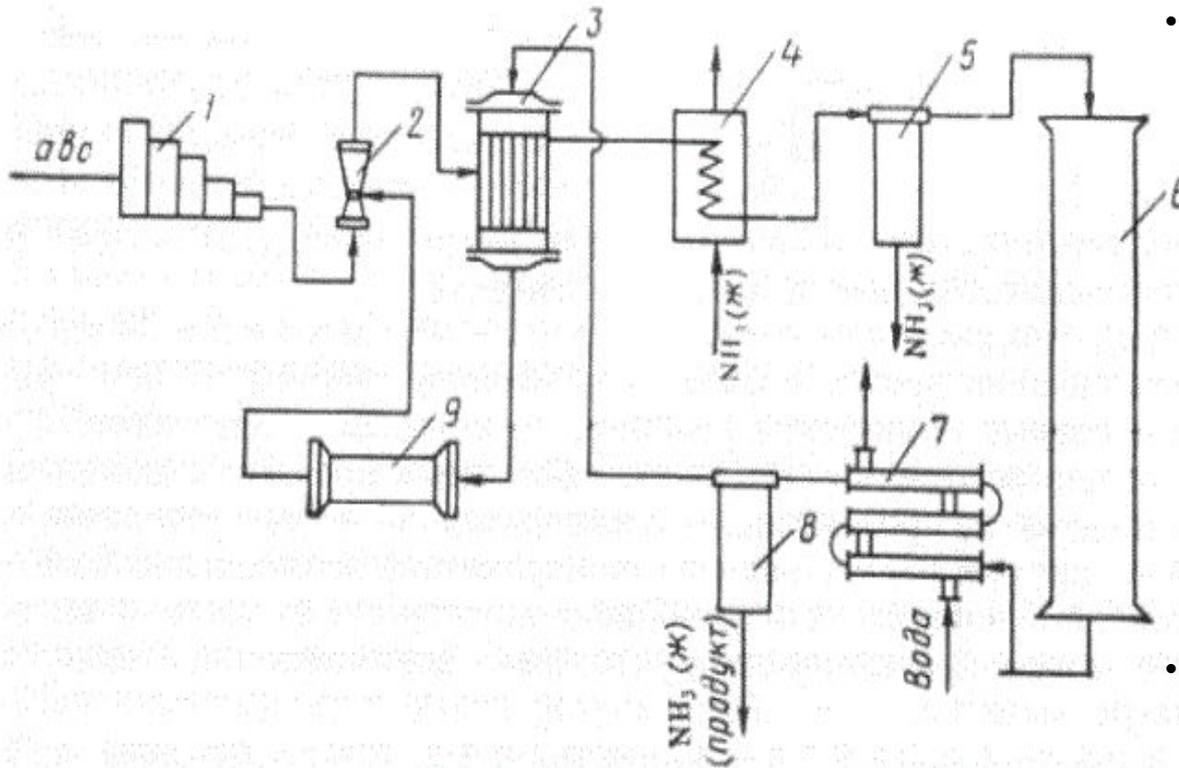
В случае повышения производительности за счет повышения времени пребывания реагентов в реакторе (τ) используют последовательное соединение реакторов; для повышения объемной скорости подачи сырья ($v_{об.}$) применяют параллельную схему соединения реакторов.

$$V_p = v_{об.} \tau$$

V_p – объем реактора (м³); $v_{об.}$ – объемная скорость подачи сырья (м³/час); τ – время пребывания реагентов в реакционной зоне (час).

- Последовательное включение реакторов используют также при оптимизации условий проведения отдельных стадий технологического процесса; параллельное соединение удобно для оптимальной организации производства (попеременное включение реакторов).
- Обвод широко применяется для создания оптимального температурного и концентрационного режима.
- Рецикл находит применение при использовании избытка одного из реагентов или невозможности достижения высоких степеней превращения реагента; в этом случае непревращенный реагент выделяют и возвращают в реактор.

Упрощенная технологическая схема производства аммиака.



1—компрессор; 2 — инжектор; 3 — теплообменник; 4 — испаритель жидкого аммиака; 5, 6 - сепараторы; 6 — колонна синтеза; 7 — водяной холодильник; 9 — циркуляционный компрессор

- Все оборудование схемы нумеруют слева направо в порядке направления сырьевых и продуктовых потоков, используя буквенный индекс оборудования с добавлением через черточку порядкового номера аппарата, например, колонна К-1, теплообменник Т-2 и т.д. Технологическая схема снабжается спецификацией оборудования, технологических линий и привязки основной контрольно-измерительной аппаратуры и регулирующих приборов. Форма представления спецификации также стандартизирована.
- Технологическая схема сопровождается описанием. Описание производится по каждой подсистеме, начиная с поступления и подготовки сырья и кончая отгрузкой готового продукта с указанием технологических параметров процесса, характеристикой оборудования, систем регулирования и т.д. со ссылкой на чертеж технологической схемы. Технологическая схема совместно с описанием составляет основу технологического регламента.