

# Системный подход в изучении ХТП



Производственный процесс на химическом предприятии можно рассматривать как химико-технологическую систему (ХТС), предназначенную для выпуска химической продукции высокого качества с минимальными затратами ресурсов и вредного воздействия на окружающую среду.

Для ХТС, как для любой системы, применимы все ее основные принципы:

- возможность независимого рассмотрения системы, отвлекаясь от конкретной ее природы;
- зависимость эффективного функционирования системы от ее состава и структуры, взаимосвязь и взаимообусловленность отдельных элементов системы;
- возможность изучения системы путем расчленения ее на отдельные элементы;
- возможность исследования системы на различных уровнях.

Система – это не просто совокупность множества единиц, в которой каждая единица подчиняется законам причинно-следственных связей отдельных частей, обуславливающих выполнение определенной слож-ной функции, которая и возможна лишь благодаря структуре и большому числу взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом элементов.

# Классификация систем

К первому классу относятся системы, существующие в объективной действительности, живой и неживой природе, обществе.

Второй класс составляют системы концептуальные, идеальные, различной степени полноты и точности, в большей или меньшей степени адекватные реальным системам.

Такие системы иногда называют *абстрактными*.

К третьему классу относят системы, которые спроектированы, сконструированы и созданы человеком для своих целей.

Эти системы называют *искусственными*.

Системы, составляющие четвертый класс, – это смешанные системы, в которых органически слиты элементы естественной или общественной природы и элементы, созданные человеком.

# Основные части системы

**Компонент** – это часть системы, вступающая в определенные соотношения с другими ее частями.

Компонентами могут являться любые подсистемы и элементы.

**Подсистема** – это составная часть системы, которая сама образована из компонентов, имеющих аналогичные свойства. Следовательно, это тоже система, но более низкого порядка.

**Элемент** – это часть системы, являющаяся пределом членения в рамках данного качества системы.

Она представляет собой элементарный носитель данного качества.

В химическом производстве элементами могут служить отдельные аппараты (реактор, теплообменник, ректификационная колонна, насос, сепаратор, компрессор).

Это справедливо, если в качестве системы рассматривается производство, цех, отделение, то есть любая часть технологии.

Системный подход включает три уровня изучения системы.

1. Собственный уровень, то есть изучение общего поведения системы, ее основных характеристик, исключая вопросы структуры.
2. Высший уровень, на котором изучаемая система рассматривается в ее взаимодействии с другими системами, например с окружающей средой.
3. Низший уровень, когда исследуются все элементы и внутренние связи системы, эффективность функционирования ее отдельных элементов, выявляются ее недостатки, определяется степень влияния низшего уровня структуры на общие свойства системы.

Целостные системы, в том числе и ХТС, характеризуются специфическими связями и отношениями, среди которых наиболее значимыми являются координация и субординация.

*Координация* отражает пространственную горизонтальную упорядоченность составляющих частей системы, то есть взаимодействие компонентов одного уровня организации.

*Субординация* отражает вертикальную упорядоченность, которая предусматривает подчинение и соподчинение разноуровневых составляющих системы.

# Основные свойства ХТС

1. Любое химическое производство может быть разделено на под-системы и элементы. В частности, если рассматривать завод, то подсистемой может быть цех или отдельная технологическая установка.

Элементами в данном случае являются машины и аппараты.

2. Между цехами и даже отдельными аппаратами (элементами) существуют материальные, энергетические и информационные связи. Эти связи особенно выражены в непрерывном производстве. Такое производство связано с другими системами, одни из которых поставляют сырье, энергию, воду, а другие потребляют продукты и отходы. Эти системы отображают среду, в которой существует данное производство.



# Основные свойства ХТС

3. Среди разных видов связей в химическом производстве матери-альные и энергетические являются главными, так как разрыв хотя бы од-ной из них может привести к прекращению функционирования произ-водства. Химическое производство не может содержать изолированные аппараты, то есть любой аппарат (реактор, колонна, теплообменник) из всего множества аппаратов связан, по крайней мере, с одним другим ап-паратом.

4. Химической отрасли, как и любой ее части, присуща еще опреде-ленная структура отношений и взаимосвязей. В частности, в рамках отрас-ли есть определенные отношения между объединениями и заводами в виде взаимной передачи сырья и продуктов. Это же можно отнести и к це-хам, но в рамках одного предприятия.

# Основные свойства ХТС

5. Любое производство либо создается для получения необходимых продуктов, либо выделено из отрасли для выяснения, например, возможности его реконструкции.

6. Поскольку любое химическое производство может функционировать только при непрерывной поставке сырья, энергии, воды из других производств, то отсюда следует, что оно может работать только в среде, то есть при наличии других систем.

7. Любое производство базируется на конкретной технологии, определяющей его структуру. Для производства тех или иных продуктов создается определенная технология, отражающая структуру. И наоборот, производство определенной структуры может выпускать только определенную продукцию.

# Основные свойства ХТС

8. Внутри любого производства имеется своя иерархия, например, завод – цех – отделение – установка – аппарат. Это же отражается и в технологии.

9. Производство работает таким образом, чтобы выпускать определенные продукты или полупродукты.

10. В зависимости от того, как протекают процессы во времени и в пространстве, возможно либо непрерывное, либо периодическое их функционирование. Если процессы протекают в одном аппарате и распределены во времени, то такие установки являются установками периодического действия. Если же каждый процесс протекает в своем аппарате, а все они осуществляются одновременно, то такие установки являются установками непрерывного действия.

# Основные свойства ХТС

11. Если установка непрерывная, то она длительное время (до уни-чтожения) будет выпускать единожды заданные продукты. Периодичес-кие установки также выпускают определенную продукцию, но дискретно во времени.

12. Все существующие технологические установки совершенствуются и, следовательно, изменяются, но сохраняют при этом поставленную цель. При этом, как правило, изменение в одной подсистеме или элементе вле-чет изменение в других взаимосвязанных элементах или подсистемах.

Все химико-технологические системы обладают характеристическими свойствами.

Под *чувствительностью* обычно понимают свойства системы изменять технологические режимы функционирования под влиянием изменения собственных параметров системы и внешних возмущающих воздействий.

*Управляемость* – это свойство системы достигать желаемой цели (заданного состава продукции, производительности в каждой подсистеме) при тех ограниченных ресурсах управления, которые имеются в реальных условиях эксплуатации.

*Устойчивость* – это способность системы возвращаться в исходное состояние после прекращения действия возмущения.

*Помехозащищенность* – это способность системы эффективно функционировать в условиях действия внешних и внутренних помех.

# Основные положения системного подхода

- любой объект исследования следует рассматривать как систему;
- от состава и структуры системы зависит ее функционирование;
- нельзя изучать отдельные элементы системы в отрыве от других, по-скольку между ними существует обратная связь;
- полное знание отдельного элемента не означает полное знание всей системы в целом;
- для изучения состава и структуры системы используется метод деком-позиции (расчленение целого на части);
- для изучения свойств системы используют метод стратификации.

*Способ производства* рассматривается как последовательное описа-ние операций, протекающих при определенных условиях в определенных аппаратах.

Такое описание называется *технологической схемой*.

Технологическая схема дает полную информацию об аппаратах, по-токах, автоматическом регулировании параметров процесса и включает следующие данные:

- количество и химический состав исходных, промежуточных, вспомо-гательных и конечных продуктов, то есть содержит все сведения, не-обходимые для составления материального баланса по производству в целом;
- термодинамические и физико-химические показатели всех веществ, то есть содержит все сведения для составления энергетического баланса производства в целом;
- последовательность отдельных операций и процессов;
- типы, число и взаимосвязь применяемых машин и аппаратов;
- способы автоматического регулирования всех потоков и контроля па-раметров, при которых происходит процесс.

Описание технологической схемы дается по каждой подсистеме с указанием основных технологических параметров процесса, характеристик используемого основного оборудования, систем регулирования и блокировок, со ссылкой на чертеж технологической схемы.

На чертеже указывают оборудование, направление движения материальных потоков сырья, продуктов, теплоносителей, вспомогательных материалов, места контроля и регулирования технологических параметров процесса, а также сигнализации и блокировок.

Технологическая схема снабжается спецификацией оборудования, технологических линий и привязкой контрольно-измерительных (КИП) и регулирующих приборов (РП).



# Классификация технологических схем

Технологические схемы разделяются по характеру организационной структуры, числу химических стадий, направлению технологических потоков, их числу.

<b>Признак классификации</b>	<b>Характеристика</b>
Организационная структура процесса	Периодическая; непрерывная; комбинированная
Число химических стадий	Одно-, двух-, многостадийная
Технологический маршрут сырья	Прямая; циркуляционная
Число продуктовых линий	Однопродуктовая, многопродуктовая
Номенклатура товарной продукции	Индивидуальная; совмещенная; гибкая (модульная)
Способ рекуперации энергии	Энерготехнологическая; технологическая
Степень экологизации	Традиционная технологическая; экотехнологическая
Размещение оборудования	Вертикальная; горизонтальная; смешанная

# Классификация технологических схем

*Периодические* схемы в настоящее время почти не применяются в химической технологии, так как они уступают по ряду основных показателей схемам непрерывной структуры:

производительности,  
стационарности химико-технологического процесса,  
возможности рекуперации энергии,  
создания оптимальных условий процесса в каждом аппарате  
ввиду их пространственной разобщенности.

# Классификация технологических схем

*Технологический маршрут сырья* – это направление движения сырья по технологическим аппаратам схемы.

Существуют процессы с открытой цепью и циклические (круговые).

В процессах с *открытой цепью* превращение исходного сырья в конечный продукт совершается за один проход через систему аппаратов.

*Циклическую схему* применяют в случае низкой степени превращения сырья за один проход через реактор, когда непревращенное сырье рециркулируют в начало технологического процесса и смешивают со свежим исходным сырьем и снова направляют в процесс превращения.

Такое непревращенное сырье называют *рециклом*, а способ его организации – *принципом рециркуляции*.

# Классификация технологических схем

Циркуляционная схема имеет ряд преимуществ:

- возможность более полного использования сырья в условиях ограниченной степени превращения;
- наличие высокой скорости реакции и ее стационарности;
- возможность проведения процесса при неблагоприятных кинетических и термодинамических условиях;
- возможность управления процессом путем изменения количества, состава и температуры рецикла.

Элементами структуры в *функциональной схеме* являются подсистемы, соединенные материальными связями.

Элементами *операторной схемы* служат соединенные материальными связями технологические операторы.

Операторные схемы дают наглядное представление о физико-химической сущности технологических процессов, используемых системой для последовательного превращения сырья в готовый продукт.

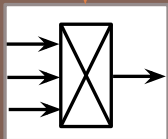
Операторами в ХТС называют химические и физические процессы, с помощью которых осуществляется последовательное превращение исходного сырья в товарный продукт.

Функцией оператора в подсистеме является преобразование физических параметров входящих в него материальных и энергетических потоков (состав, температура, давление) в соответствующие параметры выходящих потоков.

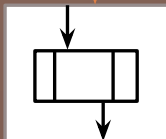
# Типовые технологические операторы

## Основные технологические операторы

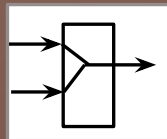
Химическое превращение



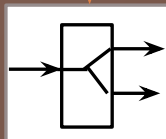
Межфазный массообмен



Смешение

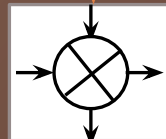


Разделение

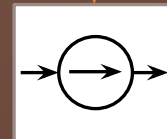


## Вспомогательные технологические операторы

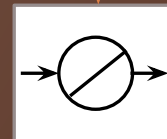
Нагрев



Сжатие



Изменение агрегатного состояния



Обозначения операторов

*В структурной схеме* операторы представлены в виде блоков, имеющих несколько входов и выходов, соединенных между собой сплошными линиями, изображающими материальные связи. В отличие от операторной схемы, на структурной схеме изображают также энергетические связи, которые чаще располагают перпендикулярно блоку и показывают пунктиром. При разработке структурной схемы изображения операторов заменяют прямоугольниками, которые затем объединяют в систему материальными (горизонтальные линии) и энергетическими (вертикальные линии) связями.

На основе структурной схемы составляют энергетические и тепловые балансы, необходимые для расчета энергоемкости системы и определения требуемых поверхностей теплообмена аппаратов.

*Принципиальная технологическая схема* – упрощенный вариант изображения производственного процесса – представлена технологическими аппаратами, необходимыми для промышленной реализации разработанной технологии, последовательно соединенными материальными линиями.

# Подсистемы ХТС

подготовки сырья и приготовления катализатора. Подсистема необходима тогда, когда сырье по составу или другим параметрам состояния не соответствует требованиям следующей за ней подсистемы химического превращения. Операторами этой подсистемы, кроме операторов хранения и транспортировки исходных продуктов и вспомогательных материалов, могут быть также нагрев, испарение, охлаждение, сжатие, измельчение, плавление, смешение, очистка;

химического и/или физического превращения сырья. Подсистема является главной среди подсистем в ХТС. Именно в ней в одну или несколько стадий получают целевой продукт;



# Подсистемы ХТС

выделения целевого продукта из реакционной массы. Подсистема предназначена для разделения полученной в подсистеме химического превращения реакционной массы на отдельные компоненты или смеси более узкого состава, чем исходная смесь. Реакционную массу, полученную в химическом реакторе, разделяют разными приёмами операционной техники. К ним относят ректификацию, экстракцию, абсорбцию, адсорбцию, фильтрацию. Здесь получают несколько потоков: непревращенного сырья, целевого продукта, побочных продуктов, рециклов;

обработки технического целевого продукта для доводки его до товарного состояния. Подсистема служит для доведения целевого продукта до заданного требованиями стандарта уровня качества и придания ему товарного вида. Сюда входят операции хранения и транспортировки, отгрузка продукта в торговую сеть, расфасовка, маркировка, укупорка.

# Направления развития химической технологии

- повышение единичной мощности отдельных аппаратов и технологи-ческих установок в целом;
- сокращение, где это возможно, числа стадий производства;
- снижение энергозатрат путем создания энерготехнологических схем на основе максимального использования вторичных энергоресурсов;
- создание малоотходных и безотходных технологий, экологизация про-изводства;
- создание гибких технологических схем с возможностью увеличения числа продуктовых потоков и ассортимента товарной продукции;
- использование новейших достижений науки и техники;
- комплексная автоматизация производственных процессов;
- использование модульного принципа в конструировании

Разработка технологии химического производства – это многоэтап-ный процесс, включающий технические и организационные мероприя-тия.

На каждом из этапов разработки возникает множество вопросов, ре-шения по которым могут быть найдены только в результате глубокого и всестороннего исследования, как функционирования отдельных аппара-тов, так и всей технологической системы в целом.

Разработка любого реального химико-технологического объекта ба-зируется на анализе комплекса химических, физико-химических, меха-нических, теплотехнических и экономических явлений, характеризующих все процессы.

Это связано с тем, что производство нельзя рассматривать как сумму отдельных технологических операций и процессов.

Каждый отдельный агрегат производства непосредственно косвенно влияет на другие узлы или аппараты.

В основе разработки технологии химического производства лежит системно-структурный анализ, в задачи которого входят:

- разработка формализованных моделей, описывающих структуру, функции и свойства систем;
- характеристика иерархического строения систем и взаимосвязей различного уровня;
- определение общих свойств системы исходя из свойств составляющих ее подсистем;
- определение интегральной функции системы на основе функций ее отдельных элементов.

Разработку технологии производства, как химико-технологической системы осуществляют по следующим этапам:

- согласование и распределение материальных и энергетических потоков, определение общей нагрузки на аппараты;
- выбор и расчет технологического оборудования;
- определение затрат на все производство и рассмотрение различных вариантов технологической схемы;
- окончательный выбор технологической схемы производства.

При рассмотрении любого производства как сложной системы пред-варительно необходимо изучить связи между элементами системы (аппаратами), выявить совокупность управляемых и неуправляемых параметров, способных влиять на показатели разрабатываемого процесса.

При разработке и исследовании сложных систем, характеризующих любой технологический объект, выделяют два класса основных задач:

1. задачи синтеза, состоящие в выборе структуры и значений параметров на основе заданных свойств системы

*Синтез ХТС* – это операция по выбору типов элементов и структуры технологических связей между ними, определению параметров элементов и технологических потоков системы, которые в итоге обеспечивают оптимальное значение критерия эффективности.

При синтезе ХТС решаются следующие задачи химической технологии:

- определение оптимального маршрута синтеза целевых продуктов из различных исходных веществ, используя известные типы реакций;
- при заданном химическом маршруте синтеза целевых продуктов из исходных веществ определение топологии ХТС (выявление технологической схемы), выбор параметров элементов и потоков, которые будут обеспечивать функционирование системы при оптимальном значении критерия эффективности;
- при заданных типах и свойствах её элементов, обеспечивающих реализацию различных технологических процессов, выбор элементов и определение структуры технологических связей ХТС, при которой будет достигаться оптимальный показатель эффективности;
- определение технологической схемы разделения, параметров элементов и технологических потоков при заданных типах разделительных элементов.

2. задачи анализа, связанные с изучением свойств и поведения системы в зависимости от ее структуры и значений параметров.

**Анализ ХТС** – это операция по изучению свойств и эффективности функционирования системы в зависимости от структуры технологических связей между подсистемами и элементами, от значений технологических и конструкционных параметров, технологических режимов элементов.

При разработке технологических схем химических производств и их проектировании необходимо решить две основные задачи:

1. выбор технологической схемы и экспериментальная проверка ее работоспособности;
2. оптимизация выбранной технологии.

Последняя задача, в свою очередь, разбивается на две части:

1. нахождение варианта получения целевых продуктов необходимой чистоты с минимальными затратами;
2. анализ этой схемы с точки зрения ее надежности и устойчивости работы.