**Химическая технология. Понятие химико-технологического процесса. Классификация процессов. Расчет процессов и аппаратов. Составление материальных и энергетических балансов. Процесс ректификации. Устройство ректификационных колонн. Методы оптимизации химико-технологических процессов с применением эмпирических и/или физико-химических моделей. Методы оценки эффективности производства; общие закономерности и основные теории химических процессов.**

**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*. В модуле 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*. В модуле рассматривается твердое топливо как сырье для химических производств и способы получения и переработки промышленных газов.

*Каталитическая переработка газов в основной химической промышленности*. В модуле 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*. В модуле рассматриваются основные технологии производства путем электролиза.

*Технология силикатов*. Рассматривается производство вяжущих веществ, керамических изделий и стекла.

**Химический комплекс России: состояние, перспективы развития.**

 Химическую продукцию используют все отрасли промышленности, сельское хозяйство, сфера услуг, торговля, наука, культура и образование, оборонный комплекс. Химическая отрасль лежит в основе долгосрочного и стабильного развития экономики страны. От состояния и развития отечественной химии зависят уровень национальной конкурентоспособности, темпы роста экономики, благосостояние России.

В химической индустрии насчитывается около 800 крупных и средних промышленных предприятий и более 100 научных и проектно-конструкторских организаций, опытных и экспериментальных заводов с общей численностью 740 тыс. чел.

На функционирование химического комплекса значительное влияние оказывают вертикально интегрированные структуры (ЗАО "ЛУКОЙЛ-Нефтехим", холдинг "ФосАгро", ОАО "МХК "ЕвроХим", ОАО "Сибур-Холдинг", ОАО "Нижнекамскнефтехим", Группа "Амтел-Фредештайн" и др.), которые производят значительную часть внутреннего валового продукта. Эти корпорации также располагают возможностями для осуществления технологических процессов от сырья до выпуска конечной наукоемкой продукции и занимают лидирующее положение на рынке химикатов России. Если соотнести химический комплекс России с мировым химическим производством, то на нашу долю приходится около 1,1% мирового объема химической продукции.

Ежегодный прирост продукции (4-6%) происходит за счет экспортабельной продукции (удобрения, каучуки и др.). Большая доля в этом приросте - цена природного газа, что позволяет отдельным видам химической продукции быть конкурентоспособной на мировом рынке. Например, по выпуску аммиака и карбамида российские компании контролируют 15% мирового рынка, метанола - 10%.

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.

Стратегической целью развития отрасли в долгосрочной перспективе является обеспечение потребности рынка конкурентоспособной продукцией на основе создания и внедрения ресурсосберегающих технологий, способной удерживать позиции на внутреннем и внешних рынках в условиях открытой экономики и вступления России в ВТО. ("Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности на период до 2015 года").

С этих позиций основной целевой задачей стратегии является формирование конкурентоспособной материально-технической базы химической индустрии. В стратегии определены основные направления структурной перестройки отрасли, ее важнейшие цели и приоритеты. Это прежде всего:

* cтимулирование инновационной и инвестиционной активности;
* осуществление таможенно-тарифной политики с целью защиты отечественного товаропроизводителя на внутреннем и внешнем рынках;
* проведение инвестиционных преобразований для более эффективного управления химическим комплексом России;
* совершенствование законодательства Российской Федерации с целью создания благоприятных условий для развития химического сектора экономики.

В стратегии особое внимание уделено разработке комплекса мер и механизмов государственной поддержки развития химического комплекса.

Основным приоритетным направлением развития является повышение инвестиционной привлекательности химического сектора экономики за счет снижения инвестиционных рисков и эффективной защиты прав и интересов инвесторов. Этому непременно должны способствовать меры по развитию рыночных механизмов направления сбережений в инвестиции и сопровождаться соответствующим повышением уровня управления кредитными рисками.

Сегодня модернизация химического комплекса может происходить только с помощью привлечения зарубежных инжиниринговых компаний. Но нельзя забывать и про отечественную отраслевую науку, которая в среднесрочной перспективе сможет обеспечить потребности химического комплекса конкурентоспособными инновационными проектами.

В модернизацию российского химпрома необходимо вложить, по меньшей мере, 30-35 млрд долларов. Если же говорить не только о замене оборудования, но и о значительном увеличении производства, то эти цифры увеличатся в полтора раза. По оценкам специалистов, для полной модернизации химического комплекса требуются инвестиции в размере 3-5 млрд долларов ежегодно.

В перспективе ситуация в химическом комплексе России будет складываться под влиянием реализации инвестиционных проектов, направленных на расширение производственного потенциала и ввод в строй новых производств химической и нефтехимической продукции. Наиболее значимые проекты, касающиеся химии и нефтехимии, нашли свое место в Томской области и Республике Татарстан. На территории Томской области к началу опытной эксплуатации подготовлена уникальная экспериментальная установка, разработанная при участии ведущих специалистов ООО "Томскнефтехим", ОАО "АК "Сибур" и Института катализа им. Борескова. Она предназначена для производства титаномагниевых катализаторов, которые до настоящего времени в России не выпускались.

На территории Татарстана ОАО "Нижнекамскнефтехим" реализует проект ЗАО "Елабужский завод ориентированного полистирола", который направлен на производство биаксиально ориентированной полистирольной ленты. Объем производства - 34 тыс. т в год, объем продаж - 2,55 млрд руб. в год. Общая стоимость данного проекта составляет $85 млн.

Реализация государственной стратегии развития агропромышленного комплекса (АПК) - еще один глобальный проект, непосредственно влияющий на развитие химического комплекса России. Согласно стратегии развития АПК, планируется вдвое увеличить объем внутреннего потребления минеральных удобрений. В случае ее осуществления российская промышленность минеральных удобрений существенно снизит свою ориентацию на экспорт продукции за рубеж.

Процесс реорганизации отрасли тесно связан с развитием экономики страны в целом, зависим от других отраслей промышленности. Но в то же время химической промышленности России необходимо консолидироваться в международное промышленное пространство. Российский союз химиков как крупнейшее объединение химических и нефтехимических предприятий страны осознает необходимость решения этих вопросов и представляет химическую отрасль России как перед различными национальными государственными и общественными институтами, так и в европейских и мировых сообществах.

**Химическая промышленность**.

По назначению производимой продукции промышленность подразделяется на отрасли, одной из которых является химическая промышленность.

Удельный вес химической и нефтехимической отраслей в общем производстве РФ составляет 9%, что уступает только топливной промышленности и машиностроению (20%).

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.

Эта классификация условна т.к. к собственно химическим производствам не относятся металлургия, производство силикатных материалов, хотя в них используются химические методы переработки. В системе материального производства химическая промышленность занимает особое место в силу присущих ей специфических особенностей:

 – особые методы воздействия на предметы труда, приводящие к химическим превращениям, что позволяет производить новые вещества;

– высокая материало-и энергоемкость;

– высокая степень автоматизации производства;

– разнообразие и узкая специализация применяемых машин и оборудования.

Химическая технология – научная основа химического производства Современное химическое производство представляет многотоннажное, автоматизированное производство, основой которого является химическая технология (от techno – искусство, мастерство + logos – учение), т.е. химическая технология – наука о наиболее экономичных и экологически обоснованных методах химической переработки сырых природных материалов в предметы потребления и средства производства. Объекты химической технологии – вещества и системы веществ, участвующих в химическом производстве; процессы химической технологии – совокупность разнообразных операций, осуществляемых в ходе производства с целью превращения этих веществ в другие. Современная общая химическая технология возникла в результате закономерного, свойственного на определенном этапе развития всем отраслям науки, процесса интеграции ранее самостоятельных технологий производства отдельных продуктов в результате обобщения эмпирических правил их получения.

Современная химическая технология, используя достижения естественных и технических наук, изучает и разрабатывает совокупность физических и химических процессов, машин и аппаратов, оптимальные пути осуществления этих процессов и управления ими при промышленном производстве различных веществ. Химическая технология базируется на химических науках, таких как физическая химия, химическая термодинамика и химическая кинетика. Выдающийся физхимик акад. Коновалов считал одной из главных задач химической технологии, отличающих ее предмет от чистой химии, установление наивыгоднейшего хода операции и проектирование ему соответствующих заводских приборов и вспомогательных устройств. Поэтому химическая технология немыслима без тесной взаимосвязи с экономикой, физикой, математикой и другими техническими науками.

Химическая технология на заре своего существования была описательной наукой. Многие первые учебники по технологии служили энциклопедиями технологических процессов. Развитие науки и промышленности привело к значительному росту числа химических производств. Рост химического производства с одной стороны и развитие химических и технических наук с другой стороны позволили разработать теоретические основы химико-технологических процессов. Современное химическое производство перерабатывает гигантские объемы сырья, использует большое количество энергии различных видов, осуществляющихся при больших объемах капитальных и эксплуатационных затрат. Отсюда вытекает одно из основополагающих требований к современному производству – его экономичность. Эту особенность технологии отметил еще Менделеев, определив ее как: «Учение о выгодных приемах переработки природных продуктов в продукты потребления». Технология должна изучать выгоднейшие способы, выбрать из возможных наиболее приемлемую по выгодности данным условиям времени и места, чтобы придать продукту наибольшую дешевизну при желаемых свойствах и формах.

Следовательно, технология это наука о наиболее экономичных методах и средствах переработки сырых природных веществ в продукты потребления. Технологии делятся на механические и химические. В механических технологиях рассматриваются процессы, в которых изменяется форма или внешний вид и физические свойства материалов, а в химической технологии- процессы коренного изменения состава, свойств и внутреннего строения вещества.

**Особенности химической технологии как науки**

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. Рассмотрим пример промышленного синтеза хлористого водорода из Cl2 и Н2 и влияние различных факторов на синтез.



Для осуществления этого синтеза в промышленных условиях химик – неорганик учитывает саму возможность подобного синтеза, применяя методы физической химии управлять синтезом за счет изменения температуры, давления концентрации компонентов, т.е. влиять на кинетику и термодинамику процесса в масштабе лабораторного эксперимента. 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.

Таким образом, как химическое производство не может рассматриваться в виде некой укрупненной лабораторной колбы, так и химическая технология не может быть сведена к теоретической химии.

**Общая характеристика и классификация процессов**

Процессы, используемые в химической промышленности для производства продукции, весьма разнообразны и многочисленны.

В них применяется сырье различного агрегатного состояния, разнообразные виды энергии, агрессивные и коррозионно-активные вещества. Управление этими процессами требует высокой степени точности в выборе параметров процесса и автоматизации управления им. Все эти условия определили с одной стороны – многообразие используемых в химическом производстве процессов и аппаратов, а другой – тенденцию к их унификации и общие требования независимо от конкретного химико-технологического процесса.

Процессы химической технологии, в зависимости от кинетических закономерностей, характеризующих их протекание, делятся на 5 групп:

– гидродинамические процессы. Это процессы перемещения жидкостей и газов по трубопроводам и аппарартам, перемешиванием в жидких средах, обработка неоднородны жидких и газовых систем; скорость этих процессов определяется только законами механики и гидравлики;

– тепловые процессы. Это процессы нагревания, охлаждения, конденсации, выпаривания, теплообмена и др.; скорость – определяется законами теплопередачи;

–массообменные (диффузионные) процессы. Это процессы связанные с переносом вещества из одной фазы в другую; скорость – определяется законами массопередачи;

– механические процессы. Это процессы дробления, грохочения, транспортирования, гранулирования и т.д.;

– химические процессы. Это процессы сопровождаемые изменением химического состава и свойств вещества; скорость определяется законами химической кинетики. Среди последних особую группу составляют процессы, протекающие под воздействием катализаторов.

Изучение ХТП ведут с двух сторон: создание самого производства (разработка процесса и сооружение цеха) и эксплуатация производства. Процесс создания складывается из трех стадий:

1. разработка ХТП
2. составление проектной документации
3. построение цеха, т.е. сооружение здания, монтаж оборудования, размещение аппаратов и приборов автоматического контроля и регулирования.

Прежде всего нам нужно ознакомиться с основными элементами ХТП.

**Химико-технологический процесс и его содержание.**

По организационно-технической структуре ХТП делятся на периодические и непрерывные.

Для периодических процессов присуще единство места протекания всех стадий процесса, т.е. в них операции загрузки сырья, проведение процесса и выгрузки готового продукта осуществляются в одном аппарате, но в разное время.

Для непрерывных процессов присуще единство времени протекания всех стадий процесса, т.е. в них перечисленные выше операции осуществляются одновременно, но в различных аппаратах.

Характеристикой процесса, позволяющего отнести его к той или иной группе, является степень непрерывности процесса.

Хн = τ /Δτ, где τ - продолжительность процесса, т.е. время необходимое для завершения всех стадий процесса, Δτ - период процесса, т.е. время, протекающее от начала загрузки сырья данной партии до начала загрузки сырья следующей партии.

Для периодического процесса Δτ > 0, следовательно, Хн< 1; для непрерывного процесса Δτ→0, следовательно, Хн→∞.

*Химические реакции подразделяются:*

По фазовому (агрегатному) состоянию взаимодействующих веществ: гомогенные (однородные), гетерогенные (неоднородные). Гомогенными системами называются такие системы, в которых все реагентные вещества находятся в одной какой-либо фазе Г, Ж, Т. Гетерогенные системы включают или большее количество фаз: Г-Ж, Г-Т, Ж-Ж (не смешиваются) Ж-Т. В гомогенных системах взаимодействующих веществ реакции происходят обычно быстрее, чем в гетерогенных, механизм всего процесса проще, управление процессом легче, поэтому технологи стремятся к гомогенным

процессам. Гетерогенные процессы более распространены в промышленности.

1СТАДИЯ 2 СТАДИЯ 3 СТАДИЯ

По механизму взаимодействия реагентов на гомолитические и гетеролитические. По протеканию во времени на обратимые и не обратимые.

По знаку теплового эффекта на экзотермические ( -ΔΗ) и эндотермические (+ΔΗ). По использованию катализатора на каталитические и не каталитические. По значению температур на низкотемпературные и высокотемпературные. По типу контакта реагентов в гетерогенной системе.

По виду реакции на простые (одностадийные) и сложные (многостадийные). Простыми называются реакции для осуществления которых требуется преодоление только одного энергетического барьера. Сложные реакции включают в себя несколько последовательных или параллельных реакций.



Для исследования ХТП наибольшее значение имеет классификация реакций по фазовому состоянию системы, по условиям протекания, по типу контактов и по наличию катализатора. Именно от типа химической реакции зависит выбор конструкции аппаратов и параметры технологического режима.

Химическая аппаратура, используемая в ХТП, подразделяется на основную – химические реакторы и вспомогательную, назначение которой является подготовка, перемещение и разделение веществ, участвующих в процессе.

Устройство аппаратов зависит от типа осуществляемых в них процессов, но при всем многообразии химической аппаратуры, к ней предъявляется ряд общих требований: простота и дешевизна конструкции; возможность реализации процесса при оптимальных условиях; применение конструкционных материалов, обладающих необходимой коррозионной, термической стойкостью и механической прочностью; возможность контролировать и регулировать параметры процесса.

Для обеспечения стабильности необходимо постоянное поддержание параметров ХТП на заданном уровне, или управление процессом. При этом различают: контроль процесса, т.е. своевременное обнаружение отклонений от режима и быстрое устранение их, и регулирование процессов, т.е. поддержание заданного оптимального режима на каждой стадии процесса.

Химическая технология как наука о крупномасштабном производстве имеет дело со значительными массами и объемами перерабатываемой и производимой продукции. Для оценки работы таких крупных агрегатов необходимы крупные единицы. Поэтому в химической технике наряду с общепринятыми единицами СИ (м, Кг, сек, а, моль) используются и другие.

В процессе химического производства исходные вещества (сырье) перерабатываются в целевой продукт. Для этого необходимо осуществить ряд операций, включающих подготовку сырья для перевода его в реакционно-способное состояние, собственно химическое взаимодействие компонентов сырья и заключительную обработку полученной реакционной смеси. При этом используются помимо основных химических процессов различные физические процессы: перемешивание, смешение, разделение, измельчение и т.д.



*Химико-технологическим процессом (ХТП)* называется сочетание связанных друг с другом и проводимых в определенной последовательности химических, физико-химических, физических и механических операций с целью получения из сырья готового продукта. В общем случае ХТП состоит из трех взаимосвязанных элементарных процессов:

1. Подготовка сырья к химической переработке.



2. Химическое превращение подготовленного сырья в продукты реакции по двум схемам:



В реакционной смеси обычно происходит несколько последовательных реакций, приводящих к образованию целевого продукта и ряд побочных реакций, приводящих к образованию побочных продуктов. Обычно при анализе производственных процессов учитываются не все реакции, а те, которые имеют влияние на количество и качество основных продуктов.

3. Выделение целевого продукта из реакционной смеси и его очистка.



Таким образом, из трех стадий ХТП первая и третья представляют физические процессы, вторая – химический процесс. Общая скорость технологического процесса может лимитироваться скоростью одной из трех стадий. Если наиболее медленно идут химические реакции, и они лимитируют общую скорость, то говорят, что процессы происходят в кинетической области. Если общая скорость лимитируется подготовкой сырья и подводом реагентов или отводом продуктов, то это значит, что процесс происходит в диффузионной области.

Эффективность осуществления ХТП требует соблюдения некоторых условий. Поэтому для каждого ХТП разрабатывается технологический режим. Для химической промышленности, как отрасли крупномасштабного материального производства, имеет значение не только технологии, но и тесно связанный с ней экономический аспект, от которого зависит нормальное функционирование и развитие производства. Этот аспект рассматривает экономика химической промышленности, т.е. наука, изучающая уровень использования всех видов ресурсов химического производства и разрабатывающая на основе его анализа наиболее эффективные пути и методы его организации и развития. Важнейшим критерием, характеризующим совершенство химического производства, является его экономическая эффективность. Она зависит от мощности технологических установок и от научно-технического уровня технологического процесса. Технико-экономический уровень производства определяется совокупностью технико-экономических показателей:

1. расходный коэффициент по сырью и энергии, выход готового продукта и степень превращения сырья, селективность процесса, производительность, интенсивность работы аппарата, качество продукта, себестоимость продукта. ТЭП зависят от ряда факторов, характеризующих состояние производства:
2. возраст предприятия (физический и моральный износ), техническое состояние оборудования, степень автоматизации производства, квалификация кадров, уровень организации труда, прогрессивность используемой технологии. ТЭП отражает возможности предприятия выпускать продукцию заданного качества и в заданном количестве. Они являются критериями, позволяющими установить
3. экономическую целесообразность данного производства и его рентабельность. ТЭП используется для оценки текущего состояния производства, его планирования и обновления техники.

## Технологические критерии эффективности химико-технологического процесса

Об эффективности осуществления любого промышленного процесса судят прежде всего по экономическим показателям, таким, как приведенные затраты, себестоимость продукции и т. д. Естественно, что окончательная оценка эффективности химико-технологического процесса выводится из этих критериев. Однако они характеризуют весь процесс в целом, его конечный результат, не входя в детальное рассмотрение внутренней сущности, особенностей процесса.

Для оценки эффективности отдельных этапов процесса необходимо помимо общих экономических показателей использовать такие критерии эффективности, которые более полно отражали бы химическую и физико-химическую сущность явлений, происходящих в отдельных аппаратах технологической схемы.

В качестве таких показателей принято, прежде всего, использовать степень превращения исходного реагента, выход продукта, селективность. Они с разных сторон характеризуют полноту использования возможностей осуществления конкретной химической реакции.

**Степень превращения.** Степень превращения реагента показывает, насколько полно в химико-технологическом процессе используется исходное сырье.

Степень превращения – это доля исходного реагента, использованного на химическую реакцию.

Степень превращения реагента *J*



где *nJ*, 0 *–* количество реагента *J* в исходной реакционной смеси;
*пJ*,*f* – количество реагента *J* в реакционной смеси, выходящей из аппарата или находящейся в реакторе; *∆nJ* – изменение количества реагента *J* в ходе химической реакции.

Чаще всего в химической реакции участвует не один, а два реагента (или даже больше). Степень превращения может быть рассчитана по первому, второму или третьему реагенту, причем в общем случае не обязательно получаются равные результаты.

Если протекает реакция (I), то в соответствии с ее стехиометрическим уравнением изменения количеств ее участников *∆nJ* связаны между собой следующими соотношениями:

 (1.3)

Степени превращения реагентов *А* и *В*, участвующих в реакции (I):

 (1.4)

Из уравнений (1.3) и (1.4) следует

,

или  (1.5)

Уравнение (1.5) устанавливает связь между степенями превращения реагентов *А* и *В* и позволяет рассчитать неизвестную степень превращения одного реагента, зная степень превращения другого.

Если  т. е. реагенты *А* и *В* взяты для проведения реакции в стехиометрическом соотношении (количество реагентов *А* и *В* соотносится между собой как соответствующие этим веществам стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции), то степени превращения *хА*и *хВ* равны между собой: *хА* = *хВ.*

Если  т. е. реагент *А* взят в избытке, то, как следует из уравнения (1.5), *хА* < *хВ.*

Если же  (1.6)

т. е. взят в избытке реагент *В*, то *хА > хВ*.

Необходимо помнить, что степень превращения – это доля первоначального количества реагента, т. е. пределы изменения *х* определяются соотношением

0 ≤ *х ≤* 1.

Следовательно, если один из реагентов (например, реагент *В*) взят в избытке, то с учетом выражений (1.5) и (1.6) всегда *хВ <* 1, даже в том случае, когда *хА* = 1.

Обычно при выборе первоначального состава реакционной смеси берут в избытке более дешевый реагент (например, воздух, воду и т. д.) с целью повышения степени использования более ценного сырья.

Не всегда возможно достичь полного использования реагента (т. е. условия *х* = 1). Большинство химических реакций обратимы. Для обратимых реакций при заданных условиях их осуществления предельным является состояние химического равновесия. Этому состоянию соответствует и предельно достижимая при данных условиях равновесная степень превращения



где *nА*,*е* – количество реагента *А* в условиях равновесия; | *nА*,*е* | – изменение количества реагента *А* к моменту наступления равновесия (максимально возможное при данных условиях осуществления химической реакции).

Используя степень превращения реагентов, можно определить количество продуктов *R* и *S*, образовавшихся в результате реакции (I), не осложненной наличием побочных взаимодействий. Изменение количества продукта реакции (I), например продукта *R*, в соответствии со стехиометрическими соотношениями (1.2) можно выразить через изменение количества реагента *А* или реагента *В*. Если первоначальное количество продукта *R* равно нулю (*пR*,0 *=* 0), то

, (1.7)

или .

В качестве ключевого реагента, через степень превращения которого выражают количества продуктов, удобно брать реагент, взятый либо в недостатке, либо в стехиометрическом соотношении к другому реагенту. Например, если в качестве такого выбран реагент *А*, должно выполнятся условие

. (1.8)

Максимально возможное количество продукта *R*, которое может быть получено при проведении обратимой реакции

*аА+ bB  rR + sS*,(IV)

рассчитывают как равновесное количество этого продукта *R*, *e*:

*.* (1.9)

Если реакционный объем *V* – постоянная величина (*V* = const), то во всех приведенных выше соотношениях количества реагентов и продуктов могут быть заменены молярными концентрациями. Например,





и т. д.

**Выход продукта.** Степень превращения характеризует эффективность проведения процесса с точки зрения использования исходного сырья, но этой величины не всегда достаточно для характеристики процесса с точки зрения получения продукта реакции. Поэтому вводят еще один критерий эффективности – выход продукта.

Выход продукта – отношение реально полученного количества продукта к максимально возможному его количеству, которое могло бы быть получено при данных условиях осуществления химической реакции.

Обозначим выход продукта *R* через Ф*R*. Тогда

Ф*R = nR / nR*,max. (1.10)

Величина *nR*,max в уравнении (1.10)зависит от типа осуществляемой химической реакции. Рассмотрим несколько различных реакций.

*Необратимая химическая реакция* (I). Максимально возможное количество продукта *R* в такой реакции будет получено, если весь реагент *А* (*nА*,0) вступит в реакцию [при этом в качестве реагента *А* должен быть выбран такой, который удовлетворяет условию (1.8)]

*nR*,max *= na*,0(*r / a*)*.*

В этом случае

. (1.11)

Так как в соответствии с уравнением (1.7) *nR = nA*,0*xA*(*r/a*),то



т. е. для простых необратимых реакций выход продукта и степень превращения реагента совпадают. Однако для других типов химических реакций эти два критерия эффективности различаются.

*Обратимая химическая реакция* (III). Для такой реакции максимально возможное количество продукта *R* определяется по уравнению (1.9) как равновесное количество продукта *R* при данных условиях осуществления реакции (температура, давление, соотношение начальных концентраций реагентов). Тогда с учетом уравнения (1.7)

 (1.12)

Таким образом, для обратимых реакций выход продукта равен доле, которую составляет реально достигнутая степень превращения от равновесной для данных условий проведения реакции.

**Пример 1.1.** Пусть протекает реакция

*А* + 2*В*  2*R* + *S*.

Начальное количество реагентов *nА*,0= 10 кмоль; *nB*,0= 25 кмоль. В реакционной смеси, выходящей из реактора, содержится 12 кмоль продукта *R*. Известно, что в равновесной смеси при данных условиях проведения реакции содержится 2,5 кмоль продукта *А*.

Определим выход продукта *R* (Ф*R*). В соответствии с уравнением (1.12)

Ф*R = xA* – *xA*,*e*.

Определим степень превращения *хА*, используя уравнение (1.7):



Равновесная степень превращения



Тогда

Ф*R* = *хА*/*xA*,*e* = 0,6 / 0,75 = 0,8.

Для определения выхода продукта Ф*R* в данном примере можно также рассчитать *nR*,*e =* (*nA*,0 *– nA*,*e*)(*r/a*)= 15 кмоль и воспользоваться уравнением (1.10): Ф*R* = *nR* / *nR*,*e* = l2 / 15 = 0,8.

*Параллельные и последовательные реакции.* Рассмотрим две параллельно протекающие реакции, в которых наряду с целевым продуктом *R* получаются продукты побочной реакции:

 (V)

Максимально возможное количество продукта *R* будет получено в том случае, если весь исходный реагент *А* при соблюдении условия (1.8) будет реагировать только по целевой реакции. Тогда

. (1.13)

Следует помнить, что выразить *nR* через степень превращения и начальное количество *А* в случае сложной реакции нельзя, так как расходование вещества *А* происходит не только в целевом направлении, но и в побочном.

Так же будет выглядеть и выражение для выхода целевого продукта *R* для последовательных реакций, например реакций типа

*aА*  *rR*  *sS*.

При протекании обратимых параллельных и последовательных реакций максимально возможным количеством целевого продукта будет то количество *R*, которое было бы получено, если бы реагент *А* расходовался только на целевую реакцию и в момент равновесия продуктов побочных реакций не было бы.

Таким образом, для обратимых сложных реакций

 (1.14)

Как и степень превращения, выход продукта для реакционных систем с постоянным объемом может быть определен как отношение концентраций. Следует также помнить, что выход, выражаемый как доля от некоторой предельно возможной величины, изменяется от 0 до 1.

**Селективность.** Выход продукта характеризует полученный результат, как долю от предельно возможного результата. Целесообразно оценить и реальную ситуацию, т. е. дать количественную оценку эффективности целевой реакции по сравнению с побочными взаимодействиями.

Критерием для такой оценки является селективность. Селективность, как и два предыдущих критерия эффективности, выражают в долях единицы или процентах.

**Полная, или интегральная, селективность φ– это отношение количества исходного реагента, расходуемого на целевую реакцию, к общему количеству исходного реагента, пошедшего на все реакции (и целевую, и побочные):**

.

**Мгновенной, или дифференциальной, селективностью φ/ называют отношение скорости превращения исходных реагентов в целевой продукт к суммарной скорости расходования исходных реагентов:**

,

где  – скорость расходования реагента *А* по целевой реакции;  – суммарная скорость расходования реагента *А*.

Использование дифференциальной селективности при анализе технологических процессов будет описано в гл. 3. Здесь рассмотрим только полную селективность.

Для реакций (III) полная селективность по целевому продукту *R* может быть выражена через количество полученного продукта *R* и количество реагента *А*, суммарно израсходованного на реакцию.

С учетом стехиометрических соотношений количество реагента *А*, вступившего в реакцию образования целевого продукта, равно (*a/r*) *nR.*

Тогда полная селективность

 (1.15)

Знаменатель в уравнении (1.15) можно заменить через количество полученных продуктов целевой и побочной реакции с учетом стехиометрических соотношений:

****

**Пример** Рассмотрим в качестве примера параллельные реакции

4NH3 + 5О2  4NO+ 6Н2О;

4NH3 + ЗО2  2N2 + 6H2O.

Целевой является реакция получения оксида азота NO.

Селективность можно рассчитать по количеству полученных на выходе из реактора продуктов целевой реакции (оксида азота) и побочной реакции (азота):



Между выходом целевого продукта, степенью превращения исходного реагента и селективностью существует простая связь. Рассмотрим ее сначала на примере необратимых параллельных реакций (IV).

В соответствии с уравнением (1.13) выход продукта *R*

 (1.16)

Реально полученное количество продукта *R* можно выразить через селективность, пользуясь уравнением (1.15)

. (1.17)

После подстановки уравнения (1.17) в уравнение (1.16) получим

. (1.18)

Если параллельные реакции обратимы, то максимально возможное количество продукта *R*, которое могло бы получиться при отсутствии побочной реакции, определяется условиями равновесия. Тогда для определения выхода продукта нужно применить уравнение (1.14). Подставляя в него значение количества реально полученного продукта *R*, выраженного с помощью уравнения (1.17), будем иметь более общее уравнение связи между выходом, селективностью и степенью превращения:

,

или

. (1.19)

Из уравнений (1.18)и (1.19)следует, что при выборе условий проведения сложных химических реакций недостаточно обеспечить только высокое значение степени превращения реагентов или только высокую селективность; высокое значение выхода целевого продукта определяется некоторой совокупностью этих критериев эффективности.

Оптимальными значениями выхода, селективности и степени превращения будут, как правило, такие, достижение которых позволяет обеспечить максимальную экономическую эффективность процесса.

**Производительность и интенсивность.** Важным критерием эффективности работы отдельных аппаратов, цехов или заводов в целом является производительность.

Производительность – это количество продукта, полученное в единицу времени:

,

где П – производительность; *nR* – количество продукта; τ – время. Производительность измеряется в кг/ч, т/сут, т/год и т. д. Например, производительность современного агрегата синтеза аммиака составляет 1360 т аммиака в сутки; производительность агрегата по производству серной кислоты – 1 млн т серной кислоты в год и т. д. Иногда производительность оценивают по количеству переработанного сырья, например производительность печи обжига колчедана – 450 т колчедана в сутки. Если известны концентрация продукта в реакционной смеси, для определения производительности удобно воспользоваться следующей формулой:

П *= cRv*,

где *cR* – концентрация продукта; *v –* объемный расход реакционной смеси.

Максимально возможная для данного агрегата, машины производительность (проектная) называется *мощностью.* Одним из основных направлений развития химической промышленности является увеличение единичной мощности агрегатов, так как оно ведет к снижению удельных капитальных затрат, повышению производительности труда.

Для сравнения работы аппаратов различного устройства и размеров, в которых протекают одни и те же процессы, используют понятие «интенсивность».

Интенсивностью называется производительность, отнесенная к какой-либо величине, характеризующей размеры аппарата, – его объему, площади поперечного сечения и т. д.

Например,

,

где *V –* объем аппарата. Интенсивность измеряется в кг/(ч · м3), т/(сут · м3) и т. д.

При разработке новых процессов или усовершенствовании существующих стремятся к созданию высокоинтенсивных аппаратов. Увеличение интенсивности аппарата часто возможно при создании таких условий проведения процесса, которые обеспечивают его протекание с высокой скоростью.

При анализе работы каталитических реакторов принято относить производительность аппарата в целом к единице объема или массы катализатора, загруженного в реактор. Такую величину, численно равную количеству продукта, полученного с единицы объема или массы катализатора, называют производительностью катализатора, или его напряженностью.

**Структура экономики химической промышленности**

Важное значение для оценки экономической эффективности имеют и такие показатели как капитальные затраты, себестоимость продукции и производительность труда. Эти показатели зависят от структуры экономики химического производства, в частности от удельного веса в ней основных и оборотных фондов и фонда заработной платы. *Основные фонды* являются материально-вещественным выражением средств труда. Они представляют часть средств производства, которая целиком участвует в процессе в процессе производства, но потребляются в течение многих производственных циклов, перенося свою стоимость на готовый продукт по частям. Основные фонды делятся на основные производственные и основные непроизводственные фонды. К основным производственным фондам относятся здания производственного и вспомогательного назначения, сооружения, аппараты, машины, оборудование, КИП, транспортные средства и т.п. К основным непроизводственным фондам относятся объекты, предназначенные для обслуживания населения и непроизводственной сферы деятельности ( жилые дома, больницы и т. д.).

*Оборотные фонды* являются материально-вещественным выражением предметов труда. Они представляют часть средств производства в каждом производственном цикле, перенося свою стоимость сразу на готовую продукцию. Оборотные производственные фонды подразделяются на оборотные производственные фонды и фонды обращения.

*Оборотные производственные фонды* – это предметы труда, обращенные в сфере производства. Это сырье, основные и вспомогательные материалы и т. п. Оборотные производственные фонды, выраженные в денежной форме, составляют оборотные средства предприятия. По назначению они делятся на производственные запасы, незавершенное производство и денежные средства. *Фонды обращения* – все средства, функционирующие в сфере обращения. Это продукция, готовая к реализации; товары, находящиеся на пути к потребителю и на складах; средства расчета; задолженность.

Финансовые средства, предназначенные для простого и расширенного воспроизводства основных фондов, характеризуются капитальными затратами. *Капитальные затраты* – это сумма всех затрат, произведенных при строительстве данного цеха.

Они включают затраты на приобретение оборудования, на строительстве и монтажные работы. Эффективность отдачи капитальных затрат оценивается таким критерием, как удельные капитальные затраты, т. е. затраты на единицу выпускаемой продукции. Р= Кз/m, Кз- капитальные затраты в рублях m- мощность цеха, т/год.

Важным показателем рентабельности производства является себестоимость продукции.

*Себестоимостью* называется сумма всех затрат предприятия в денежном выражении связанных с изготовлением и реализацией единицы массы (объема) производимой им продукции Соотношение затрат по различным статьям себестоимости различной продукции меняется. Например, в производстве фосфорной кислоты затраты на сырье составляют 80%. Себестоимость продукции снижается при увеличении единичной мощности агрегата в соответствии с зависимостью S= a\*mb, S**-**себестоимость продукции руб/т, m-мощность агрегата, а и b – коэффициенты, причем b = - 0.2

*Технологическим режимом* называется совокупность параметров, обеспечивающих устойчивое и максимально эффективное проведение ХТП.

*Параметром технологического режима* называют величину, характеризующую какое-либо устройство или режим работы аппарата, используемую в качестве основного показателя их действия. Параметр – величина количественная и используется для количественной оценки процесса. К основным параметрам ХТП относятся: температура, давление, концентрация реагентов, интенсивность катализатора, время контактирования реагентов, объемная скорость потока реагента, сила тока и т.д. Оптимальные условия проведения ХТП достигаются таким сочетанием его основных параметров, при котором обеспечивается наибольший выход целевого продукта с высокой скоростью и наименьшей себестоимостью. Параметры технологического процесса определяют принципы конструирования соответствующих реакторов. Характер и значения параметров технологического режима положены в основу классификации ХТП. Все параметры взаимосвязаны. Значительное изменение одного из них влечет за собой резкое изменение других. Поэтому выбираются параметры, оказывающие решающее влияние.

*Основные эксплуатационные показатели ХТП ( надежность, безопасность).*

*Эксплуатационные показатели* характеризуют изменения, возникающие в химико-технологическом процессе и производстве во время их эксплуатации при появлении отклонений от регла­ментированных условий и состояний. Влияние отклонений на показатели процесса, возможность управления процессом опре­деляются эксплуатационными показателями.

*Надежность* характеризуют средним временем безава­рийной работы либо числом аварийных остановов оборудования или производства в целом за определенный отрезок времени. Этот показатель зависит от качества используемого оборудова­ния и правильности его эксплуатации.

*Безопасность функционирования* - вероятность нарушений, приводящих к нанесению вреда или ущерба обслу­живающему персоналу, оборудованию, а также окружающей среде, населению.

*Чувствительность* к нарушениям режима и изменению условий эксплуатации; определяется отношением изменения показателей процесса к этим отклонениям.

*Управляемость и регулируемость* характеризуют возможность поддерживать показатели процесса в допустимых пределах, определяют величину допустимых изменений условий процесса, управляющие параметры и их взаимовлияние (сложность управления).

*Основные социальные показатели ХТП (экологическая чистота, степень автоматизации).*

Социальные показатели определяют комфортность работы на данном производстве и его влияние на окружающую среду.

Безвредность обслуживания следует из сопоставле­ния санитарно-гигиенических условий для обслуживающего персонала с соответствующими нормами по загазованности, запыленности, уровню шума и др.

Степень автоматизации и механизации опреде­ляет долю ручного и тяжелого труда в эксплуатации производства.

Экологическая безопасность - степень воздействия производства на окружающую среду и экологическую обстанов­ку в регионе.

Перечень основных показателей химического производства свидетельствует о том, насколько высоки требования к качеству его разработки, проектирования, создания и эксплуатации. Не­редко одновременное достижение наилучших результатов по каждому из этих требований вступает в противоречие друг с другом. Необходимы компромиссные решения. Поэтому инже­нер-технолог должен обладать не только обширными, разносто­ронними знаниями, но и высокой культурой.

**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.

Эффективное функционирование химического производства как ХТС предполагает решение ряда задач, как на стадии проектирования, так и на стадиях строительства предприятия и его эксплуатации. При решении этих задач:

– определяется характер и порядок размещения и соединения отдельных аппаратов в технологической схеме;

– определяется значение входных параметров сырья;

– устанавливаются значения технологических показателей системы;

– определяются конструкционные характеристики аппаратов системы;

– выбираются параметры технологического режима во всех аппаратах, влияющих на скорость процесса, выход и качество продукции.

В ходе решения этих задач и разрабатывается промышленное производство, т.е. осуществляется масштабный переход от лабораторного эксперимента к химическому предприятию. Сложность этой задачи выдвигает необходимость системного подхода при ее решении. При системном подходе любое химическое производство рассматривается как объект, взаимодействующий с внешней средой и обладающий сложным внутренним строением, большим количеством составных частей и элементов, взаимно связанных друг с другом и поэтому действующих как единое целое. В подобной системе различают элемент **–** самостоятельную и условно неделимую единицу, и подсистему **–** группу элементов, обладающую определенной целостностью. В химическом производстве элементом считают аппарат, подсистемой – группу аппаратов, технологическую установку. Между элементами и подсистемой существуют различные типы связи: материальные, энергетические, информационные, которые реализуются в форме потоков, переносящих вещество, энергию.

ХТС присущи некоторые общие признаки. К ним относятся:

-общая цель функционирования (выпуск химической продукции),

-многочисленность элементов и связей между ними,

-большое число параметров, характеризующих работу системы,

-высокая степень автоматизации процессов управления производством.

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



**ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Для химической промышленности, как отрасли крупномасштабного материального производства, имеет значение не только технический, но и тесно связанный с ним экономический аспект, от которого зависит нормальное функционирование и развитие производства. Этот аспект рассматривает экономика химической промышленности, то есть наука, изучающая уровень использования всех видов ресурсов химического производства и разрабатывающая на основе его анализа наиболее эффективные пути и методы его организации и развития.

Важнейшим критерием, характеризующим совершенство химического производства, является его экономическая эффективность. Она зависит от мощностей технологических установок, используемых в производстве, на которых вырабатывается продукция, и от научного и технического уровня, на котором осуществляется технологический процесс.

Технико-экономический уровень химического производства определяется совокупностью ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ (ТЭП). К ним относятся расходные коэффициенты по сырью и энергии, выход готового продукта и степень превращения сырья, селективность процесса, производительность, интенсивность работы аппарата, качество продукции, производительность труда, себестоимость продукции.

ТЭП производства зависят от ряда факторов, характеризующих состояние производства. К ним относятся: возраст предприятия (величина физического и морального износа), техническое состояние оборудования, степень автоматизации производства, квалификация кадров, уровень организации труда, прогрессивность используемых технологий.

ТЭП отражают возможности предприятия выпускать продукцию заданной номенклатуры и качества, удовлетворяющей требованиям заказчика (ГОСТ, ОСТ, ТУ), и в заданном количестве. Они являются критериями, позволяющими установить экономическую целесообразность организации данного производства и его рентабельность, а также сравнивать по эффективности различные производства одного профиля.

ТЭП используются для текущей оценки состояния производства, его планирования и обновления технической базы предприятия.

РАСХОДНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ (РК) называется количество сырья или энергии каждого вида, затрачиваемое на производство единицы массы или объема готовой продукции. По сырью РК выражается в т/т, нм3/т, нм3/нм3; по энергии, соответственно, в кВт·ч/т.

ВЫХОД ГОТОВОГО ПРОДУКТА определяется как отношение массы полученного продукта к массе сырья, затраченного на его производство.

Если в основе процесса лежит химическая реакция, описываемая конкретным уравнением, то для необратимых реакций выход определяется как отношение массы, полученной на практике *mв(пр)* к массе, теоретически возможной по стехиометрическому уравнению *mв(теор)*:



СТЕПЕНЬЮ ПРЕВРАЩЕНИЯ (КОНВЕРСИИ) сырья называется отношение массы сырья, вступившего в химическое превращение за время *τ*, к его исходной массе (*ma0*):



где: *maτ* - количество сырья, не вступившего в реакцию превращения за время *τ*.

Выход продукта и степень превращения сырья выражаются в долях единицы или процентах.

СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ называется отношение массы целевого продукта к общей массе продуктов, полученных в данном процессе, или к массе превращенного сырья за время *τ*. Селективность характеризует преобладание одного из направлений процесса, если превращение сырья приводит к образованию нескольких конечных продуктов.

Выход продукта, степень превращения сырья и селективность характеризуют глубину протекания химико-технологического процесса, его полноту и направленность в сторону образования целевого продукта.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ называется количество произведенного целевого продукта или переработанного для его получения сырья в единицу времени:



где: *m* - количество продукта, произведенного за время *τ*.

Производительность может быть отнесена к отдельному аппарату, технологической линии, цеху, предприятию в целом. Максимально возможная в данных условиях производства производительность называется мощностью. Производительность и мощность выражаются в кг/ч, т/ч, т/год и т. д. в зависимости от масштабов производства.

ИНТЕНСИВНОСТЬЮ аппарата (машины, реактора) называется его производительность, отнесенная к единице величины, характеризующей размеры рабочей части аппарата – его реакционного объема V или площади сечения S:

 или 

Интенсивность – это критерий эффективности работы аппарата. Она позволяет сравнивать по эффективности аппараты различной мощности. Выражается интенсивность, соответственно в кг/м3 и кг/м2.

КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ называется совокупность технических, эксплуатационных, экономических и других свойств, обусловливающих ее пригодность для удовлетворения личных или производственных потребностей в соответствии с ее назначением. Качество продукции измеряется системой показателей, охватывающих различные области использования продукции: надежности, назначения, долговечности, эргономичности и др. Эти показатели задаются Государственными стандартами (ГОСТ) и техническими условиями (ТУ) на продукцию. Применительно к химической продукции их задачами является помимо установления требований к качеству продукции, определение методов ее производства, обеспечение единства методов и средств контроля качества.

Важнейшим экономическим показателем рентабельности производства является себестоимость производимой продукции.

СЕБЕСТОИМОСТЬЮ ПРОДУКЦИИ называется сумма всех затрат предприятия в денежном выражении, связанных с изготовлением и реализацией единицы массы (объема) производимой им продукции. Затраты предприятия, непосредственно связанные с производством продукции, представляют фабрично-заводскую себестоимость и включают затраты на средства производства, оплату труда и услуг других предприятий, на управление и обслуживание производства. Структура себестоимости продукции химической и нефтехимической отраслей промышленности представлена в табл. 1.

|  |
| --- |
| table_pic4 |

Соотношение затрат по различным статьям себестоимости продукции различных химических производств меняется в широких пределах. Так, например, в производстве экстракционной фосфорной кислоты затраты на сырье достигают 80%, а затраты на зарплату составляют всего 1%. Однако во всех случаях для химической промышленности характерны высокие затраты на сырье.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРУДА называется количество продукции, вырабатываемой предприятием в единицу времени на одного рабочего. Она зависит, главным образом, от технологического оснащения производства и мощности установок, поэтому повышение производительности труда связано с внедрением достижений научно-технического прогресса, совершенствованием организации производства, повышением профессионального уровня работников.

Предметы труда в химической промышленности подразделяются на сырье, основные и вспомогательные материалы, 'полуфабрикаты и отходы.

Сырье – один из основных элементов технологического процесса, который определяет в значительной степени экономичность процесса, выбор технологии. *Сырьем* называются природные материалы, используемые в производстве промышленных продуктов.

Сырьем называются предметы труда, на добычу и производство которых затрачен труд. Материалы — это предметы труда, прошедшие определенную промышленную переработку и вновь поступившие в производство (металл, ткани и др.).

Из сырья и основных материалов непосредственно изготовляется продукция (отоваренная соль в производстве каустической соды, апатит в производстве суперфосфата и т. д.).

В химическом производстве на различных стадиях переработки можно выделить следующие материальные объекты: исходное вещество или собственно сырье, промежуточные продукты (полупродукты), побочные продукты и отходы.



Все химическое сырье классифицируется по различным признакам: по происхождению, химическому составу, запасам и агрегатному состоянию. Химическое сырье принято делить на:

– первичное (извлекаемое из природного источника;

– вторичное (промежуточные и побочные продукты);

– природное;

– искусственное (полученное в результате переработки природного сырья).

Вспомогательные материалы могут принимать участие в образовании готового продукта, /присоединяться к основному материалу для придания ему определенных свойств (краска, катализаторы), потребляться средствами труда (масло для смазки машины, топливо)' либо содействовать осуществлению трудовых операций (электроэнергия для освещения, пар для отопления).

Деление на основные и вспомогательные материалы обусловлено характером участия предмета труда в изготовлении готового продукта. Так, природный газ как топливо является вспомогательным материалом, а в производстве аммиака выступает как сырье.

В химических производствах четкое разграничение между сырьем и вспомогательными материалами провести невозможно, так как в конечном продукте нельзя обнаружить материалы, израсходованные на его производство. Например, в соде каустической не представляется возможным обнаружить израсходованные на ее производство поваренную соль, негашеную известь или соляную кислоту. Поэтому к вспомогательным материалам в некоторых отраслях химической промышленности относятся только материалы, необходимые для обслуживания оборудования (смазочные, ветошь), выполнения ремонтных работ, укупорки продукции, материалы, применяемые в качестве катализаторов.

Полуфабрикаты — это предметы труда, прошедшие одну или несколько стадий обработки в одном цехе данного завода и требующие дальнейшей обработки для превращения в готовый продукт в другом цехе этого же завода или на другом заводе. Если полуфабрикаты подвергаются дальнейшей обработке на другом заводе, то для завода-изготовителя они представляют собой готовый продукт, а для завода-потребителя, где они должны пройти дальнейшую обработку, — сырье. Иногда такие полуфабрикаты (их называют полупродуктами) имеют и самостоятельные потребительские свойства. *Полупродуктом* называется сырье, подвергшееся обработке на одной или нескольких стадиях производства, но не потребленное в качестве готового целевого продукта. Он может быть использован на последующих стадиях производства. Например, каменный уголь→ коксовый газ→ водород→ аммиак. Например, нитробензол может быть использован как готовый продукт-растворитель и является сырьем для синтеза анилина.

*Побочным* продуктом называется вещество, образовавшееся в процессе переработки сырья, наряду с целевым продуктом, но не являющееся целью данного процесса. Например, аммиачная селитра, мел в производстве нитроаммофоски.

*Отходами* производства называются остатки сырья, материалов, полупродуктов, образующихся в производстве и полностью или частично утратившие свои качества. Например, фосфогипс в производстве суперфосфата. Полупродукты, побочные продукты и отходы после предварительной обработки или без нее могут быть использованы в качестве сырья в других процессах. Отходы производства — это остатки сырья, материалов или полуфабрикатов, получаемые в процессе изготовления продукции и утратившие полностью или частично свои потребительские качества (химические или физические свойства, в том числе химическую активность, полномерность, конфигурацию и т. п.).

Коэффициент полезного использования сырья и материалов должен стремиться к единице. Следует различать отходы исходного сырья и отходы его переработки при химических изменениях. Последние ближе к побочным продуктам, которыми принято считать все продукты комплексной переработки сырья, получение которых не является целью данного производственного процесса. Так, например, в производстве соляной кислоты сульфат натрия считается побочным продуктом. Нередко продукты, получаемые при комплексной переработке сырья, одинаково важны для народного хозяйства. Поэтому деление на основную и побочную продукцию является весьма условным.

**Классификация химического сырья**

Все сырые материалы, потребляемые химической промышленностью, по их происхождению можно подразделить на промышленное, сельскохозяйственное и природное сырье. К промышленному сырью относятся:

- сырье, получаемое в добывающей промышленности: все виды минерального сырья неорганического происхождения (руды, апатиты, калийные доли и др.) и топливо (уголь, нефть, природный газ и др.), которое в химической промышленности используется и как источник энергии, и как сырье; минеральное сырье добывается в недрах земли, расположение месторождений полезных ископаемых ограничивается определенными районами; оно не возобновляется;

- сырье, производимое обрабатывающей промышленностью: продукты цветной металлургии, коксо- и лесохимии, а также вырабатываемые самой химической промышленностью (бензол, серная кислота и др.);

- отходы промышленных производств и побочные продукты.

Развитие техники и химической технологии внесли существенные изменения в способы переработки многих видов минерального сырья. Ранее не используемые отходы производства в результате комплексной переработки сырья приобретают в настоящее время все большее значение как источники химического сырья.

К сельскохозяйственному сырью относится сырье растительного и животного происхождения (зерно, технические культуры, древесина, молоко, шерсть и др.).

Природное сырье — вода и воздух. Вода (морская, озерная, речная) используется не только как вспомогательный материал, но и как важнейший источник сырья в электрохимических и солевых производствах, а также во многих производствах органического синтеза. Из воды в больших количествах получают кислород и водород. Морские водоемы являются источником огромных ресурсов водорослей, из которых в свою очередь можно получать разнообразные химические продукты (йод, калийные соли, спирт, ацетон, уксусную кислоту и др.). Воздух является необходимым компонентом в реакциях окисления. Он используется как основное сырье в производстве азота, кислорода, аргона, криптона, неона.

Экономическое значение сырьевой и топливно-энергетической базы химической промышленности обусловливается высокой материалоемкостью и энергоемкостью химического производства (табл. 1).

Наличие развитой сырьевой базы химической промышленности является одним из условий экономической независимости страны, одним из факторов, обеспечивающих ускоренное развитие народного хозяйства. Наличие ресурсов того или иного сырья влияет на характер применяемой технологии, от степени совершенствования которой зависят производительность труда и себестоимость химической продукции, а также потребность в капитальных вложениях.

Таблица 1

Доля затрат на сырье, вспомогательные материалы, топливо и энергию в себестоимости продукции (%).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Отрасли** | **Сырье, основные и вспомогательные материалы** | **Топливо и энергия** |
| Химическая и нефтехимическая промышленность | 64,7 | 10,7 |
| Основная химия | 60,0 | 9,0 |
| Азотная промышленностьАнилинокрасочная промышленность Лакокрасочная промышленность..... Резиноасбестовая промышленность.. Промышленность пластмасс и синтетических смол | 28,065,083,080,765—85 | 25,08,010,03,410—11  |
| Промышленность синтетического каучука | 35—40 | 30—35 |

Например, себестоимость сероуглерода из природного газа примерно в 1,5 раза ниже себестоимости того же продукта при получении его из древесного угля.

Качество и номенклатура сырья оказывают значительное влияние на производительность аппаратов, время их полезной работы и, следовательно, на производительность труда рабочих. Некондиционное сырье увеличивает отходы, повышает расход энергии.

Рациональное использование сырья и материалов служит основным источником снижения себестоимости химической продукции. Большое значение имеет не только экономное использование сырья в процессе производства, но и выбор сырья для производства конкретной продукции.

Перевод аммиачных производств с твердого топлива на природный газ привел к созданию принципиально новой технологии получения аммиака в высокопроизводительных агрегатах синтеза мощностью 400—450 тыс. т. в год, что в 3 раза выше достигнутого уровня.

Использование подобных агрегатов позволяет снизить себестоимость аммиака вдвое и на 45% сократить удельные капитальные вложения.

**Методы оценки запасов сырья**

При вовлечении в переработку минеральных видов сырья и топлива в химических производствах важное значение имеет правильная экономическая оценка запасов месторождений. Это необходимо для рационального использования потенциальных ресурсов, принятия решения о сооружении нового предприятия, реконструкции и расширении действующего объекта.

Изучение и оценка запасов всех видов полезных ископаемых осуществляется на основе государственного плана геологоразведочных работ. Этот план является важным разделом перспективного народнохозяйственного плана и основывается на заданиях по росту объема производства и капитального строительства в промышленности.

Для планирования потребности промышленности в минеральном сырье необходимо сначала определить степень изученности месторождений полезных ископаемых. Запасы минерального сырья подразделяются на различные категории по степени разведанности и степени готовности для промышленной эксплуатации. Полезные ископаемые учитываются по величине запасов, находящихся в недрах земли. Потери при их добыче и переработке не учитываются.

Таблица 2. Классификация запасов полезных ископаемых

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категория | Назначение запасов | Характер и степень детализации фактического материала |
| А1 | Для эксплуатационных работ предприятий | Изученные, разведанные и подготовленные к добыче запасы |
| А2 | Для проектирования и строительства промышленных предприятий | То же |
| В | Для обоснования проектирования, капитального строительства заводов | Геологически обоснованные и относительно разведанные запасы, качество сырья которых проверено лабораторными исследованиями |
| С1 | Для проведения детальных геологоразведочных работ и для перспективных планов промышленности | Запасы определены на основании редкой сети буровых скважин или горных выработок. Сведения о запасах являются предварительными |
| С2 | Для перспективного планирования народного хозяйства и перспективного планирования геологоразведочных работ | Запасы, исчисляемые по геологическим предпосылкам и прогнозам |

Потенциально все запасы минерального сырья могут быть (и в перспективе должны быть) использованы в промышленной эксплуатации. Все зависит лишь от уровня развития техники и технологии, величины затрат общественного труда, необходимых для добычи и переработки различных видов полезных ископаемых.

Запасы полезных ископаемых подразделяют на геологические и промышленные.

Геологические запасы классифицируют по степени эффективности использования и степени разведанности и подготовленности на каждый данный отрезок времени.

По степени эффективности использования запасы минерального сырья делят на балансовые и забалансовые. К балансовым относят запасы, удовлетворяющие требованиям промышленности, техническим условиям эксплуатации и экономической целесообразности разработки в настоящее время. К забалансовым относят запасы с низким содержанием компонента или минерала, маломощные залежи, запасы, находящиеся в условиях особой сложности эксплуатации или малоизученные с точки зрения возможности промышленной переработки. Запасы, относящиеся к данной группе, не могут быть использованы в настоящее время. Как объект промышленного освоения могут рассматриваться в более далекой перспективе.

По степени разведанности и подготовленности запасы подразделяют на пять категорий: А1, А2 , В, С1 и С2 (табл. 2).

Сумма запасов A + B +C образует промышленные запасы. Промышленные запасы за вычетом потерь в недрах, предусмотренных проектом разработки месторождения, составляют эксплуатационные запасы. Эксплуатационные запасы являются основой для расчета обеспеченности планируемого производства данной химической продукции запасами сырья.

По мере развития науки и техники появляется возможность вовлечения в эксплуатацию сравнительно бедных по содержанию основных компонентов полезных ископаемых, увеличивается значение забалансовых запасов. Например, медный колчедан при содержании меди около 1 % считается теперь промышленной рудой. Еще недавно для промышленного освоения использовали колчедан с содержанием меди не менее 2,5 %.

Все запасы полезных ископаемых по категориям подлежат регистрации и утверждению государственными комиссиями по запасам.

Запасы, предназначенные для промышленной переработки, должны быть рассчитаны в среднем на 50 лет работы будущего предприятия. Меньший срок обычно неприемлем, хотя могут быть и исключения.

Месторождения сырьевых ресурсов различаются между собой запасами полезных ископаемых, их физико-химическими свойствами, условиями эксплуатации. При выборе месторождения для эксплуатации принято учитывать не только количественные показатели, но и качественные характеристики того или иного вида сырья. Так, использование сырья с небольшим содержанием полезных компонентов вызывает больший его расход, что приводит к дополнительным капитальным вложениям, повышению себестоимости готовой продукции, а в целом — к увеличению затрат общественного труда.

Качественные характеристики сырья оказывают влияние на технологию переработки, качество и ассортимент выпускаемой продукции.

Наконец, расположение месторождений, степень близости их к предприятиям-потребителям влияют на затраты труда, а также на транспортные затраты. Таким образом, выбор месторождения для эксплуатации определяется в первую очередь экономической целесообразностью. Это предполагает необходимость определения критерия выбора месторождения сырья или вида полезного ископаемого для эксплуатации.

Критерием экономической оценки месторождения является народнохозяйственная эффективность его эксплуатации. На нее оказывают влияние размер возможной годовой добычи, объем суммарных капитальных затрат, себестоимость добычи, обогащения и переработки 1 т сырья в сопоставлении с количеством и стоимостью извлекаемого из него полезного вещества, степень использования основных фондов на предприятиях, использующих то или иное сырье, срок строительства предприятий, добывающих данное сырье.

Для сравнительной оценки месторождений, а также выбора эффективного источника сырья используют следующие показатели:

1. Минимум приведенных затрат (3):

3 = Сд + Еи Кд + Соб + Еи Коб + Ст,

где Сд, Соб — себестоимость разведки, добычи и обогащения I т сырья, руб.; Кд, Коб — капитальные вложения в разведку, добычу и обогащение 1 т сырья, руб.; Ст — транспортные расходы на доставку сырья к месту переработки, руб.; Еи — коэффициент эффективности (Еи = 0,12).

2. Экономическая эффективность комплексного использования сырья (Эк):

Эк = ((Ки - Кк ) / Ки ) \*100;

Эс =(( Си – Ск )/ Си ) \*100;

Эк =(Nизвл / Nп.к ) \*100

где Эк , Эс — показатели эффективности соответственно по себестоимости и удельным капитальным затратам; Ск , Си— себестоимость продукта, получаемого соответственно при комплексном и единичном использовании сырья; Кк , Ки — удельные капитальные вложения при комплексном и индивидуальном использовании сырья; Nизвл. , Nп.к. — количество извлекаемых и полезных компонентов.

3. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений Ток , лет:

Ток = (К2 – К1 ) / (И2 - И1 )

где К2 , К1 — сумма капитальных вложений для сравниваемых вариантов при одинаковом уровне добычи и качестве сырья, руб.; И2, И1 — годовые эксплуатационные затраты, руб.

**Методика выбора сырья**

Сырьем называют предметы труда, на добычу и первичную обработку которых затрачен труд. Сырье как один из главных элементов производственного процесса в значительной мере определяет экономику промышленного производства, в том числе и химической промышленности. Для производства определенного вида химической продукции могут быть использованы различные виды сырья.

В себестоимости химической продукции доля сырья достигает 70%. Поэтому весьма актуальна проблема ресурсов и рационального использования сырья при его переработке и добыче. В химической промышленности в качестве сырья используются соединения более 80 элементов. Эти элементы, входящие в состав земной коры, которая является основным источником химического сырья, распределены в ней неравномерно по природе, концентрациям и географическому расположению элементов составляют более 98% массы земной коры: О2- 49.13%, SiO2 –26%, Al –7.45%, Fe – 4.2%, Са – 3.25%, Na –2.4%, Мg-2.35%,К –2.35%,Н2 –1% , остальные – 1.87%. Такой важный для жизни элемент, как углерод составляет 0.35%. 76 элементов, включая широко применяемые свинец, ртуть, мышьяк –0.06%. По степени изученности и пригодности запасы сырья делятся на три категории:

А - запасы, детально разведанные, подготовленные к разработке,

В – запасы, установленные в результате геолога - разведочных работ,

С - запасы, определенные по результатам геофизической разведки.

Возможность использования сырья определяется его ценностью, доступностью и концентрацией полезного компонента. Доступность сырья для его добычи определяется географическим расположением запасов, глубиной залегания, разработанностью промышленных методов извлечения.

Существенное влияние на возможность использования сырья оказывает концентрация полезного элемента. Например, титан рассеян в земной коре, отнесен к редким элементам, хотя его содержание в коре 0.61%, в два раза больше углерода. В отличие от титана углерод сконцентрирован в доступных

растительных, животных материалах, особенно в мощных залежах топлива и карбонатов. Не меньшее значение имеет химическая прочность соединений, в которые входят необходимые элементы. Например, алюминий связан в виде прочных химических соединений ­- алюмосиликатов, из которых алюминий трудно извлечь. Поэтому его производство началось лишь в конце 19 века. В н.в. на долю РФ приходится 45% мировых запасов газа и 23% ископаемых углей. В РФ и странах СНГ сосредоточено 60% торфа, 60% калийных солей ,33% фосфора от мировых запасов. Высокая доля сырья в с/с химической продукции, быстрое истощение запасов сырья, удорожание процессов добычи его (мировая добыча минерального сырья в 20 веке выросла в 3.4 раза, с/с добычи нефти выросла в 2 раза, природного газа в 2.5 раза) выдвинули две задачи:

– разработку объективной оценки скорости исчерпания запасов химического сырья,

– рациональное использование химического сырья.

Чтобы установить, какой вид сырого материала наиболее целесообразен для производства данного вида продукции, необходимо, прежде всего, сопоставить различные виды сырья между собой по ряду экономических показателей:

— удельным капиталовложениям;

— производительности труда;

— себестоимости продукции.

Кроме того, следует рассчитать объем грузооборота при использовании каждого вида сырья.

Выбор сырья проводится по минимуму приведенных затрат (3):

Зi = Сi + Е Кi =min,

где Сi - себестоимость продукта из i-го вида сырья; Кi — капиталовложения; E - коэффициент приведения.

Себестоимость готового продукта (Сi) определяется как сумма затрат на добычу, обогащение, транспортировку и переработку сырья (в расчете на единицу готового продукта).

Сi = Сд + Соб + Ст р + Сп ,

где Сд—себестоимость добычи;

Соб — себестоимость обогащения; Стр — себестоимость транспортировки; Сп — себестоимость переработки.

Капиталовложения (Кi) рассчитываются по формуле:

Кi = Кд + Коб + Ктр + Кп,

где Кд — капиталовложения в добычу, Коб — капиталовложения в обогащение; Ктр — капиталовложения в транспорт; Ки — капиталовложения в переработку.

Весь расчет ведется в рублях на 1 т готовой продукции. При выборе сырья и материалов для той или иной отрасли химической промышленности следует исходить из:

— максимального использования местных видов сырья (местным называется сырье, которое не целесообразно перевозить на дальние расстояния);

— использования менее дефицитных видов сырья;

— возможностей промышленной переработки неиспользуемых отходов и побочных продуктов производства;

— возможности потребления искусственных материалов и заменителей;

— величины запасов сырья и соответствия сырья качественным свойствам будущего готового продукта;

— целесообразности использования сырья с точки зрения народнохозяйственной эффективности в рассматриваемый период именно в данной отрасли химической промышленности;

— наименьшей вредности рассматриваемого вида сырья для здоровья работающих;

— возможного сокращения грузооборота.

При выборе вида сырья необходимо все показатели — приведенные затраты, производительность труда, грузооборот, качество получаемой продукции, запасы сырья — рассматривать по совокупности с учетом условий производства продукции в данном конкретном случае.

Ценность сырья зависит от уровня развития техники. Например, хлористый калий в 19 веке был используемым отходом при извлечении хлористого натрия из сильвинита. В н.в. хлористый калий – исходное сырье в минеральных удобрениях. К веществам, используемым в качестве химического сырья, предъявляется ряд общих требований. Сырье для химического производства должно обеспечить:

– мало стадийность производственного процесса;

– агрегатное состояние системы, требующее минимальных затрат энергии для создания оптимальных условий протекания процесса;

– минимальное рассеяние подводимой энергии;

– возможно более низкие параметры процесса;

– максимальное содержание целевого продукта в реакционной смеси.



Количественной характеристикой скорости исчерпания сырья предложено считать *индекс исчерпания резервов (ИИР*), который представляет % расходования данного вида сырья в год. Чем выше ИИР, тем больше скорость расходования сырья. t исчерп. = 100/ИИР, где t исчерп.- время исчерпания сырья в год

Основными направлениями рационального использования химического сырья являются:

-применение более дешевого сырья;

-использование вторичных материальных ресурсов;

-использование менее концентрированного сырья;

-комплексная переработка сырья

Пример, переработка апатитовых руд.



Комплексное использование сырья приводит к сокращению капитальных вложений в производство, снижению с/с продукции.

- замена пищевого сырья на непищевое;

- применение альтернативных материалов, изготавливаемых из сырья с более низким ИИР;

- рециркуляция сырья, т.е. вторичная переработка выработавших срок эксплуатации, вышедших из строя и морально устаревших изделий. Пример, извлечение ценных металлов из металлолома.

**Подготовка химического сырья к переработке**

Сырье, предназначенное для переработки в готовую продукцию, должно удовлетворять определенным требованиям. Это достигается комплексом операций, составляющих процесс подготовки сырья к переработке.

Целью подготовки сырья является процесс придания ему состава и свойств, обеспечивающих оптимальное протекание химико-технологического процесса его переработки. В комплекс операций по подготовке сырья входят: классификация, измельчение (или укрупнение), обезвоживание, обогащение.

В местах добычи сырья строят крупные обогатительные фабрики, комплексно применяющие различные методы подготовки сырья Методы обогащения различны для твердых материалов, жидкостей и газов *Минералами* называются физически обособленные вещества или смеси веществ в природе. В природе насчитывается более 2500 минералов, включающие органические и неорганические вещества. Одни и те же вещества могут быть в составе различных минералов. Перед обогащением горная порода измельчается. *Измельчением* называется механический процесс деления твердого тела на части за счет приложения внешних сил. Измельчение производят методами удара (1), раздавливания (2) и истирания

(3). Измельчение до частиц 10-3 называется дроблением и осуществляется в дробилках.

 

Мерой измельчения является степень измельчения, определяемая как

I =Д н/Дк, где Дн и Дк – средние размеры частиц до и после измельчения соответственно.

В отдельных случаях проводят укрупнение материала методами брикетирования или агломерации.

Далее проводят классификацию или рассеивание материала.

*Классификацией* называется процесс разделения однородных сыпучих материалов на фракции (классы) по размерам составляющих их частиц. Рассеивание осуществляется методом грохочения на металлических ситах, называемых грохотами.

Можно пропустить материал через несколько грохотов со все уменьшающимися отверстиями и получить несколько фракций. Рассеивание применяется и для сортировки по крупности зерен более или менее однородного состава, так делят уголь. Применяют плоские и цилиндрические грохоты. Классификацию можно осуществить помимо грохочения разделением смеси частиц по скорости их осаждения в жидкой фазе (гидравлическая классификация), разделением смеси частиц по скорости их

осаждения в воздухе с помощью сепараторов (воздушная классификация).

*Обезвоживание* материала достигается методами стекания, отстаивания (жидкая система) и сушки.

*Обогащением* называется процесс отделения полезной части сырья от пустой породы с целью повышения концентрации полезного компонента. В результате обогащения сырье разделяется на концентрат полезного компонента и хвосты с преобладанием в них пустой породы. Количественными показателями процесса обогащения являются:

1. Выход концентрата - отношение массы полученного концентрата mк к массе обогащаемого сырья mс

ηк =mk/mc

2. Степень извлечения полезного компонента - представляющая отношение массы полезного компонента в концентрате mкк к его массе в обогащаемом сырье.

Х и = mkk/mkc

3. Степень обогащения сырья – отношение массовой доли полезного компонента в концентрате к массовой доле его в обогащаемом сырье.

Х0= μ /μ кс

Выбор метода обогащения зависит от агрегатного состояния и различия свойств компонентов сырья.

При обогащении твердого сырья используются механические, химические и физико-химические методы.

К *механическим методам* обогащения относятся:

– гравитационные, основанные на различной скорости оседания частиц различной плотности и размеров в потоке газа или жидкости, или в поле центробежной силы;

– электромагнитные, основанные на различной магнитной проницаемости компонентов сырья;

– электростатические, основанные на различной электрической проводимости компонентов сырья.

Гравитационные способы широко применяются для обогащения сырья в производстве силикатных материалов, минеральных солей и в металлургии. Существует много типов машин мокрого гравитационного обогащения, основанного на оседании частиц в потоке: гидравлические классификаторы, гравиемойки, концентрационные столы, отсадочные машины и т.п. Очень эффективно применение центробежных гидравлических классификаторов. Примером такого классификатора может служить гидроциклон.

Электромагнитное обогащение происходит в магнитных сепараторах. Применяется для отделения магнитного железняка, хромистого железняка от пустой породы.

Электростатические сепараторы применяются для отделения электропроводных руд от диэлектрических пород: известняка, гипса и др.

Химические способы обогащения основаны на применении реагентов, которые избирательно растворяют одно из веществ, составляющих смесь, или образуют с одним из веществ соединения, легкоотделяемые от других при плавлении, испарении, осаждении раствора. Пример, обжиг минералов для разложения карбонатов, удаление кристаллизационной влаги, выжигание органических примесей.

*К физико-химическим методам* обогащения относится наиболее распространенный метод флотации. Флотацией называется метод обогащения твердого сырья, основанный на различии в смачиваемости его компонентов. На обогатительных фабриках флотационным методом разделяют на несколько фракций полиметаллические сульфидные руды, отделяют апатит от нефелина, обогащают каменные угли.

Основным показателем смачиваемости минералов служит величина краевого угла смачивания, образующегося на твердой поверхности вдоль периметра смачивания, т.е. вдоль линейной границы раздела твердое тело – жидкость – воздух. Жидкость образует с несмачиваемой частицей тупой угол, а со смачиваемой частицей – острый. Силы поверхностного натяжения стремятся выровнять уровень жидкости, в результате этого несмачиваемая частица выталкивается, а смачиваемая погружается.

Результат флотации зависит от различия в гидрофобности компонентов обогащаемого сырья. При флотации в систему вводят флотоагенты: ПАВ, активаторы, регуляторы рН среды и т.п.

Термическое обогащение.

Основано на различной плавкости материалов, входящих в смесь. При нагревании легкоплавкие материалы вытекают из породы в жидком виде, так выплавляют серу из известняка, гипса.

Жидкости, точнее жидкие растворы, концентрируются выпариванием растворителя донасыщением раствора полезным компонентом выделением каких-либо компонентов в осадок (кристаллизация) или в газовую фазу (десорбция). Для разделения жидких смесей применяется экстракция.

Выпаривание воды применяется в производстве минеральных солей и щелочей, в цветной металлургии, для концентрирования труднолетучих кислот. Для концентрирования природных рассолов используют как испарение воды, так и вымораживание ее в зимнее время.

Газовые смеси разделяются на отдельные компоненты следующими способами: 1) последовательной конденсацией газов при сжатии и понижении температуры; *2)* последовательным испарением газов из предварительно сжиженной их смеси; *3)* абсорбционно-десорбционным; *4)* адсорбционно-десорбционным методом.

*Комплексное использование сырья является очень важной задачей.*

Многие горные породы, сложные минералы, включающие многокомпонентные смеси органических веществ, подвергаются комплексной переработке. При этом из одной породы можно получить различные металлы, неметаллические элементы, кислоты, соли, строительные материалы.

Таким образом, комплексная переработка приводит к комбинации различных производств. Примером может служить схема переработки апатитонефелиновой породы, громадные залежи которой имеются на Кольском полуострове. Породу измельчают и разделяют методом флотации на апатит Са5F(PO4)3 и нефелин (КNa)2O\*Al2O3\*2SiO2 . Нефелиновая фракция содержит нефелин, немного апатита и титаномагнетита и небольшое количество минералов, включающих редкие металлы. Химическая переработка нефелина разработана и успешно осуществлена на металлургических заводах РФ, которые по существу являются металлургическо-химическо-цементными предприятиями. Разработаны и осуществлены на различных предприятиях отдельные операции переработки апатита.

*Схема комплексного использования апатитонефелиновой породы*



**Организация ХТП. Выбор схемы процесса**

Организация любого ХТП включает следующие стадии:

– разработку химической, принципиальной и технологической схем процесса;

– выбор оптимальных технологических параметров и установление технологического режима

процесса;

– подбор типа и конструкции аппаратов;

– выбор конструкционных материалов для аппаратуры;

– установление контролируемых и регулируемых параметров на каждой стадии процесса.

Подготовка и организация ХТП начинается с выбора химической схемы процесса, т.е. схемы превращения сырья в целевой продукт, представленной в виде уравнений соответствующих химических реакций. Химические схемы разрабатываются на основе анализа возможных направлений синтеза с учетом свойств сырья, требований к качеству продукта, наличия энергетических ресурсов и т.п. Решающим критерием при выборе схемы является экономичность производства по тому или иному методу. Например, фосфорная кислота может быть получена из фторапатита тремя возможными схемами: разложение сырья серной кислотой, разложение сырья азотной кислотой и электротермическим методом через пятиокись фосфора.

В данном случае наиболее экономичный метод - сернокислотное разложение, т.е. химическая схема:

Са5F(PO4)3+5H2SO4=3H3PO4+5CaSO4+HF



На основании выбранной химической схемы составляется принципиальная схема ХТП. Принципиальная схема выражает связь между основными химическими, физическими и механическими операциями, представленными в условном изображении. Принципиальная схема позволяет оценить целесообразность и экономичность ХТП. Так, для рассмотренной выше химической схемы производства фосфорной кислоты принципиальная (структурная) схема выглядит так:



Структурная схема позволяет в первом приближении оценить целесообразность и экономичность выбранного ХТП.

Технологической схемой называется совокупность всех стадий ХТП, материально выраженных в аппаратах, машинах, коммуникациях. Она представляет, следовательно, последовательное изображение или описание процессов и аппаратов, составляющих химико-технологическую систему. В отличие от структурной схемы, на основе которой она разрабатывается, в технологической схеме аппараты изображаются в виде рисунков, упрощенно представляющих их внешний вид и реже, внутреннее устройство. При этом параллельно работающие аппараты одного назначения и конструкции (например, батарея выпарных аппаратов) изображают в виде одного аппарата. В зависимости от назначения технологические схемы выполняются различной степени детальности.

Технологические и принципиальные схемы могут реализоваться в производстве в двух вариантах:

1.Схемы с открытой цепью

2.Циклические схемы.

Схемы с открытой цепью представляют ряд аппаратов, через которые все реагирующие вещества проходят лишь однократно (проточная схема). Они используются в производствах, в основе которых лежат необратимые или обратимые, но идущие с высоким выходом продукта, процессы, в которых по

условиям равновесия может быть достигнута высокая степень превращения сырья без выделения целевого продукта из реакционной смеси, (например, производство ацетилена, суперфосфатов). Если степень превращения в одном аппарате невелика, то приходится последовательно включать в схему несколько однотипных аппаратов.

*Схема с открытой цепью*



Схема включает три подобных линии: производства реагента L из А и В, производство реагента М из С и Д и производство конечного продукта R из L и М. Примером процесса с открытой цепью по газовой фазе может служить технологическая схема отделения кислотной абсорбции нитрозных газов в производстве разбавленной азотной кислоты. По открытой схеме строят производства, включающие в себя необратимые и обратимые процессы, идущие с большим выходом продукта. Если же выход продукта в одном аппарате составляет 4-5 % (синтез спиртов) или до 20% (синтез аммиака) и реагирующая смесь содержит лишь незначительные количества (инертных) примесей, то целесообразно строить производство по циклической схеме.

*Циклическая схема* предусматривает многократное возвращение в один и тот же аппарат всех реагирующих масс или одной из фаз в гетерогенном процессе вплоть до достижения заданной степени превращения исходных веществ Циркуляционные схемы используют в производствах, в основе которых лежат обратимые процессы, т.е. в которых при существующем режиме и значениях параметров (температура, давление, катализатор) по условиям равновесия не может быть достигнута за один проход через аппарат достаточно высокая степень превращения сырья (например, производство аммиака, метанола).



**Выбор параметров процесса**

Параметры ХТП выбираются так, чтобы обеспечить максимально высокую экономическую эффективность не отдельной его операции, а всего производства в целом. Так, например, для рассмотренного выше производства фосфорной кислоты сернокислотным разложением фторапатита, на себестоимость получаемой кислоты оказывает влияние более 13 различных факторов:

– на стадии подготовки сырья: степень измельчения и флотации фторапатита и конструкция аппаратов;

– на стадии выделения продукта: число операций фильтрации, температура промывки фосфогипса конструкция аппаратов;

– на производстве в целом: регион строительства предприятия, вид используемой энергии, источник водоснабжения и др.

Во многих случаях различные параметры процесса влияют на конечный результат его противоположным образом. Поэтому возникает необходимость определить оптимальные значения их, которые обеспечат минимальную себестоимость получаемого продукта. Так, для того же производства фосфорной кислоты, на стадии измельчения сырья при увеличении размеров частиц производительность мельницы возрастает, а стоимость операции измельчения падает. Однако при этом замедляется последующий процесс разложения измельченного сырья, уменьшается производительность реактора и, как следствие, стоимость этой операции возрастает.

Очевидно, что минимальные затраты на проведение обеих стадий, определяющие себестоимость фосфорной кислоты, будут достигнуты при некоторой оптимальной степени измельчения сырья, чему отвечает минимум на кривой.

**Материальные и энергетические балансы химического производства**

Исходные данные для всех количественных расчетов, производимых при организации нового производства или оценке эффективности действующего основываются на материальных и энергетических балансах. Эти балансы составляются с использованием материальных потоковых графов, отражающих перемещение и трансформацию всех материальных участков технологического процесса.

Материальный баланс – это вещественное выражение закона сохранения массы вещества, согласно которому во всякой замкнутой системе масса веществ, вступивших во взаимодействие, равна массе веществ полученных в результате реакции.

$$\sum\_{}^{}Bприх= \sum\_{}^{}B расх$$

Любое химическое производство можно рассматривать как совокупность материальных потоков, участвующих в нем, компонентов сырья, промежуточных и побочных продуктов, готового продуктов и отходов.

*Материальным потоком* называется графическое отображение движения и изменения веществ, участвующих в химическом процессе. Материальный поток выражается в виде материально-потокового графа (МПГ) процесса, т.е. графической схемы, в которой отражены природа вещества, направления его

перемещения, изменения агрегатного состояния и химического состава.



Например, процесс обжига железного колчедана при степени превращения 1.0 и избытке воздуха сверх стехиометрического МПГ имеет вид:



На основе МПГ составляется материальный баланс, служащий основой для дальнейших расчетов. Для периодических процессов М.Б. составляют в расчете на одну операцию, для непрерывных процессов – за единицу времени.

М.Б. составляют по уравнению основной суммарной реакции с учетом параллельных и побочных реакций. Материальный баланс составляется на единицу массы целевого продукта или на отдельный аппарат. Результаты представляются в виде таблицы.

На основе материального баланса рассчитываются расходные коэффициенты, определяются размеры аппаратов и устанавливаются оптимальные значения параметров технологического режима процесса.



Например.

Суммарная реакция обжига колчедана для получения серной кислоты.

4FeS­2+11O2=2Fe2O3 + 8SO2 +3416кДж

В процессе обжига небольшое количество сернистого газа окисляется до серного ангидрида. SO2+O2=SO3+96 кДж

Так как поступающий в процесс колчедан и кислород,подаваемый с воздухом содержат влагу, при составлении баланса это также нужно учитывать.

Таким образом, материальный баланс при учете всехе условий процесса: производительность печи, степень использования сырья, содержание полезного компонента и т.д.­ будет выглядеть следующим образом.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приход | Количество | Расход | Количество |
| Кг/ч | М3/ч | Кг/ч | М3/ч |
| Колчедан | 18768 | - | Огарок | 14038 | - |
| Обжиговый газ |  |  |
| Влага колчедана | 1198 | - | SO2 | 15337 | 5243 |
| SO3 | 129 | 36 |
| Сухой воздух | 49400 | 38174 | O2 | 1063 | 744 |
| N2 | 37600 | 30136 |
| Влага с воздухом | 358 | 445 | H2O | 1556 | 1936 |
| Всего | 69724 | 38592 | Всего | 69724 | 38095 |

В основу *энергетического баланса* положен закон сохранения энергии: в замкнутой системе сумма энергий всех видов постоянна. Наиболее распространенным видом энергетического баланса является тепловой баланс.

∑Qприх =∑Qрасх

Статьями прихода и расхода в тепловом балансе являются тепловые эффекты реакций ΔН, теплоты фазовых переходов (Q1), теплосодержание веществ, участвующих в процессе (Q2), теплота, подводимая в аппарат извне (Q3), тепловые потери.

Δ Н+ Q1+Q2 +Q3 = Δ H+ Q´1+ Q´2+ Q´3+Qп, где индекс ´ относится к статьям расхода.

Тепловые вклады в баланс рассчитываются по известным формулам. Тепловой эффект химической реакции

Δ Н= Σ Δ Н прод.реакции - ΣΔ Н исх. веществ

Значения энтальпий берутся из таблиц Теплосодержание веществ

**Q2= m·c·t,** m-масса вещества; с - его теплоемкость; t –температура.

Теплота физических переходов

**Q1 = m·g**, g- удельная теплота соответствующих фазовых переходов; m –масса вещества.

Подвод и отвод тепла в систему рассчитывается по потере тепла теплоносителя

**Q3 = m·c·(tп-tk)** , m- масса теплоносителя; с- теплоемкость теплоносителя; tk tн – конечная и начальная температура, теплоносителя и по формуле теплопередачи через стенку.

**Q3 = K·F·(tт - tпр )·τ,** K – коэффициент теплопередачи; F-поверхность теплообмена; t – температура теплоносителя обогреваемого аппарата; t –температура подогреваемого продукта; τ-время.

Тепловой баланс составляется по результатам материального баланса на единицу продукта или на цикл работы аппарата.

Данные теплового баланса используются для определения расхода теплоносителя и хладагента, расчета поверхности греющих и охлаждающих элементов и подбора оптимального температурного режима процесса.

Для ранее рассмотренного процесса обжига колчедана общий вид теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приход | Количество | Расход | Количество |
| кДж/ч·103 | % | кДж/ч·103 | % |
| Тепло сухого колчедана | 204 | 0,20 | Тепло огарка | 8380 | 8,2 |
| Тепло обжигового газа | 46128 | 45,3 |
| Тепло влаги колчедана | 101 | 0,10 | Тепло на получение пара в кипящем слое | 46437 | 45,5 |
| Тепло сухого воздуха | 993 | 0,97 | Тепловые потери | 1022 | 1,0 |
| Тепло влаги воздуха | 13,4 | 0,01 |
| Тепло горения колчедана | 100656 | 98,72 |
| Всего | 101954 | 100 | Всего | 101967 | 100 |

В Т.Б. не учитывается тепло образования сернистого ангидрида по реакции, т.к. оно мало. Основное количество выделяющегося тепла 45,3% расходуется на получение пара 45,5%.

Потери в окружающую среду малы 1%, однако они непрерывно снижаются, поскольку единичная мощность, как производственных агрегатов, так и печей увеличивается. В ряде химико-технологических процессов тепловые потери составляют 10-15%. Их уменьшают тепловой изоляцией аппаратуры, конструктивным оформлением аппаратов.

Пар является побочным продуктом, его стоимость высока. Поэтому его получение и использование в процессе либо на стороне имеет большое практическое значение для снижения себестоимости целевого продукта.

Тепло газообразных продуктов реакции или отходящих газов может быть использовано для предварительного нагрева материалов, поступающих в реакционные аппараты. Например,



Рис. 1. Использование тепла продуктов реакции или отходящих газов

 1 – теплообменник, 2- реакционный аппарат.