

КУРС

лекций по химической технологии

для студентов направления подготовки 04.03.01. Химия (бакалавриат)

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Оглавление:

Введение

Глава 1. сырье химической промышленности

1.1 .Сырье химической промышленности

1.2.Принципы обогащения сырья

1.3 .Комплексное использование сырья

1.4.Замена пищевого сырья непищевым

1.5.Вода в химической промышленности

Глава 2. Энергетика химической промышленности

Глава 3. основные закономерности химической технологии

3.1. Основные понятия

3.2. Равновесие в технологических процессах

3.3. Скорость химических процессов

Глава 4. Классификация химико-технологических

процессов **Глава 5.**Перемешивание реагирующих веществ

Глава 6. типы технологических процессов и схем

Литература

ВВЕДЕНИЕ

Наука, изучающая способы и процессы переработки сырья в предметы потребления и средства производства, носит название *технологии*.

Под понятием «способы и процессы переработки» понимают ряд последовательных операций, проводимых с сырьем в различных машинах и аппаратах с целью получения из него заданного продукта, непосредственно используемого человеком или же, в свою очередь, служащего сырьем для получения других продуктов или средств производства.

Затраты данного предприятия на изготовление и сбыт продукции в денежном выражении называются **полной себестоимостью**. Затраты предприятия, непосредственно связанные с производством - **фабрично-заводской себестоимостью** продукции. Основные статьи затрат, из которых складывается фабрично-заводской себестоимость продукции, следующие:

1. Сырье, полуфабрикаты и основные материалы, непосредственно участвующие в химических реакциях производства.
2. Топливо и энергия для технологических целей
3. Заработная плата основных производственных рабочих
4. Амортизация - отчисления на возмещение износа основных производственных зданий, сооружений, оборудования и т.д.
5. Цеховые расходы, включая затраты на содержание и текущий ремонт основных, производственных фондов (в том числе заработную плату вспомогательных и ремонтных рабочих), а также заработную плату административно-хозяйственного персонала цеха, расходы на охрану труда и технику безопасности.
6. Общезаводские расходы.

С себестоимости основного продукта снимается стоимость побочных продуктов, получаемых из того же сырья. Соотношение затрат по статьям себестоимости весьма различно для химических производств. Однако, в большинстве случаев затраты идут по первой статье и в среднем по химической промышленности составляют 60-70%, и по второй статье - около 10%. Заработная плата и себестоимости продукции составляют порядка 4% и амортизация -3-4%.

Из этих данных видно, что себестоимость продукции зависит в первую очередь от стоимости и полноты использования сырья, от стоимости и расхода топлива и энергии. Поэтому комплексное использование сырья, т.е. всех его составляющих компонентов, а также экономное расходование топлива и энергии являются основным условием снижения себестоимости продукции.

Глава 1.

СЫРЬЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1. СЫРЬЕ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Для производства химических продуктов в качестве исходных продуктов используют сырье, полупродукты (полуфабрикаты), основные материалы и отходы других производств.

Сырьем называют продукты природы, не подвергшиеся еще промышленной переработке. *Полупродукты (полуфабрикаты)* - это исходные материалы, предварительно подвергшиеся промышленной переработке на данном предприятии. *Основными материалами* называют исходные материалы, подвергшиеся промышленной переработке не на данном предприятии, а поступающие со стороны (с других предприятий). *Отходы* - это побочные продукты других производств.

В зависимости от уровня развития техники и экономики изменяются требования к сырью. Появляются новые виды сырья, более широко используются отходы различных производств, большое внимание уделяется комплексному использованию сырья, бедных руд и нерудных материалов с предварительным их обогащением. Т.е. сырьевая база химических производств постоянно расширяется.

Сырье химического производства делится на следующие группы:

1. Минеральное сырье, добываемое из земной коры;
 - Горючие ископаемые, используемые как химическое сырье и энергетическое топливо: уголь, торф, сланцы, нефть, горючие газы;
 - Рудное сырье - горные породы, содержащие металлы, которые можно экономически извлекать в технически чистом виде (железные руды - магнитный, красный и бурый железняки, руды цветных

металлов - медный колчедан, цинковая обманка и т.д.)

Нерудное сырье — неорганические продукты природы, не являющиеся источником получения металлов, хотя содержат их в разных количествах: поваренная соль и другие хлориды, сульфаты, карбонаты, фосфаты, алюмосиликаты и др.

2. Растительное и животное сырье: дерево, хлопок, кожа, шерсть.
3. Вода и воздух.

Развитие сырьевой базы решает следующие основные задачи: изыскание и использование более дешевых видов сырья, применение концентрированного сырья, комплексное использование сырья, замена пищевого сырья минеральным.

Для снижения себестоимости продукции необходимо дешевое сырье: чем дешевле сырье, тем оно ценнее.

По агрегатному состоянию сырье делят на жидкое, твердое и газообразное, а по химическому составу на неорганическое и органическое.

1.2. ПРИНЦИПЫ ОБОГАЩЕНИЯ СЫРЬЯ

Сырье стремятся использовать в возможно более концентрированном виде по содержанию в нем полезных составных частей. Это позволяет интенсифицировать процессы его переработки, повышать производительность аппаратов, уменьшать затраты тепла, пара, облегчать условия транспортировки и т.д. Последнее достигается концентрированием сырья на месте его добычи. Следует отметить, что запасы концентрированного сырья в природе постоянно уменьшаются, поэтому большое внимание уделяется процессам его обогащения, с развитием которых появилась возможность использования бедных по содержанию полезных компонентов видов сырья. Поэтому в местах добычи как правило, сооружаются обогатительные фабрики.

Если обогащению подвергают твердые материалы, то получаемый продукт, обогащенный полезной составной частью наз. концентратом, а отходы, содержащие пустую породу - хвостами.

Как правило, в сырье содержится несколько полезных составных частей и такое сырье перед переработкой лучше разделить на составные части (фракции), обогащенные тем или иным компонентом, т.е. получать несколько концентратов. Это позволяет полнее использовать сырье. Обогащению подвергают твердые породы,

жидкие растворы и газы, причем методы их обогащения различны.

Твердое минеральное сырье не представляет собой, как правило, какой-либо минерал в чистом виде. Чаще всего в него входят различные минералы, обладающие неодинаковыми физическими и химическими свойствами (удельный вес, смачиваемость, температуры плавления, возгонки, электропроводность и т.д.). Эти свойства и используются при разработке принципов обогащения сырья. Предварительно сырье измельчают для нарушения связи между кристаллами или зернами различных составляющих данное сырье минералов и потом подвергают обогащению следующими методами: рассеивание (грохочение), гравитационное разделение, электромагнитная и электростатическая сепарация (разделение), термическое и химическое разделение, флотация.

Рассеивание заключается в том, что менее прочные (хрупкие) минералы, входящие в состав сырья, при измельчении дробятся на более мелкие зерна и кристаллы, чем минералы более прочные (вязкие). Если после измельчения сырье, состоящее из минералов различной прочности, просеять через сита с различной величиной отверстий, то с отдельных сит можно получить фракции, обогащенные гем или иным материалом. Применяемые для этой цели сита наз. Грохотами. Этот метод применяют также тогда, когда материал, например кокс или уголь, необходимо разделить по крупности на различные куски или зерна.

Грохоты могут быть плоские с небольшим наклоном сита для скольжения крупной фракции или цилиндрические - наклонные вращающиеся барабаны с отверстиями. Для облегчения прохождения мелких зерен через отверстия плоских грохотов последние снабжаются механизмами для согревания, вибрации или качания.

Гравитационное разделение основано на разной скорости падения частиц, имеющих различную плотность или крупность чаще всего в потоке жидкости (мокрое обогащение), воздуха или инертного газа (сухое обогащение). Принцип действия заключается в том, что измельченная порода смешивается с водой в баке с мешалкой и такая взвесь твердого измельченного материала в жидкости, называемая пульпой, подается в осадительные камеры с конусообразными днищами. Ширина камер постепенно увеличивается, что замедляет движение пульпы при последовательном ее прохождении через камеры и облегчает осаждение твердых взвесей в воде. В первой

камере осаждается наиболее тяжелая (крупнозернистая фракция) и далее по мере облегчения в соответствующих камерах. В классификаторе может быть 1,2,3 и более камер. Кроме классификаторов такого типа применяются также концентрационные столы, отсадочные машины. Выгружают породу из нижней части бункеров (рис.1.)

Рис.1.
Принципиальная

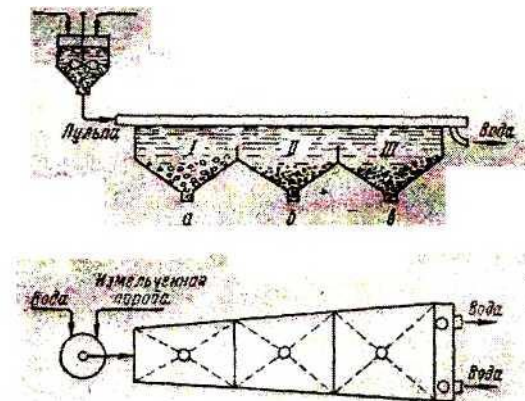
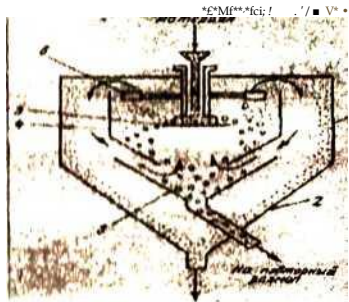


схема мокрого гравитационного разделения

Для сухого гравитационного обогащения обычно используют воздушные сепараторы центробежного типа. Они представляют собой основной цилиндр с конусом, в котором концентрически расположен второй цилиндр с конусом. Во внутреннем цилиндре находится тарелка и крыльчатка вентилятора, приводимые в движение расположенным над крышкой сепаратора электродвигателем. Измельченный материал, поданный на тарелку, при ее вращении разбрасывается по сечению внутреннего цилиндра, и при этом мелкие частицы увлекаются воздушным потоком, создаваемым крыльчаткой вентилятора и попадают в пространство между внешним и внутренними цилиндрами, где, ударяясь о стенки и теряя скорость движения, опускаются вниз и выводятся из внешнего конуса в виде тонко измельченной фракции. Крупные частицы преодолевают сопротивление воздушного потока и попадают вниз внутреннего конуса, откуда они выводятся и направляются на повторный раздел.

Рис.2. Схема воздушного сепаратора



Электромагнитную сепарацию

■ применяют для отделения магнитновосприимчивых материалов от немагнитных. Таким образом, отделяют магнитный железняк, хромистый железняк и др. Обычно эти сепараторы

ставят до дробилок для удаления из материалов, поступающих на дробление, стальных предметов, случайно попавших в них.

Электромагнитный сепаратор представляет собой ленточный транспортер, имеющий барабан, снабженный электромагнитом. При вращении такого барабана, частицы, не обладающие магнитной восприимчивостью, сыпаются в специальный бункер, а остальные держатся на ленте, пока она не пройдет электромагнит, после чего сыпаются в отдельный бункер (рис.3).

Электростатической сепарацией разделяют материалы с различной электропроводностью. Барабан такого сепаратора снабжается отрицательно заряженным электродом. Частицы минерала, при движении по барабаны, заряжаются отрицательно и, отталкиваясь от ленты, сыпаются в отдельно стоящий сепаратор, тогда как остальные сыпаются в рядом стоящий бункер.

Термическое обогащение основано на различной плавкости материалов, входящих в смесь. Так, серу с температурой плавления 119°C выплавляют в жидком виде из руды, имеющей температурой плавления 1000°C .

Химические способы обогащения весьма разнообразны. К ним относятся избирательное растворение, разложение химическими реагентами, обжиг и др. Все они будут нами подробнее рассмотрены в соответствующих разделах.

Флотационный метод обогащения основан на различной смачиваемости зерен отдельных минералов водой. Гидрофильные или смачиваемые частицы будут обволакиваться частицами воды и под

влиянием собственного веса опускаться на дно, а немачиваемые или гидрофобные частицы будут оставаться на поверхности, откуда будут собираться и выводиться (рис.4.).

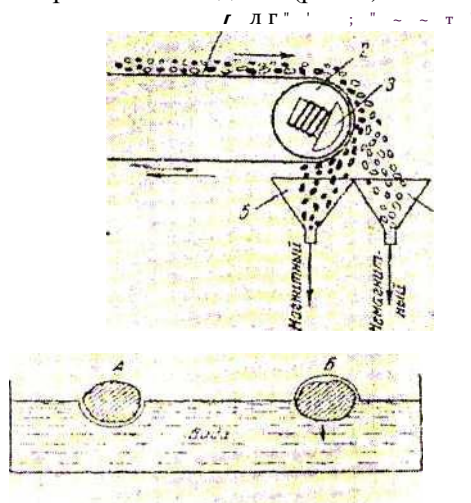


Рис.3. Принципиальная схема

Рис.4. Флотационный метод
электромагнитного сепаратора

Жидкие растворы различных веществ обогащают выпариванием растворителя, добавлением к раствору полетного компонента, выделением из раствора примесей в осадок или переводом в газообразное состояние и др.

Газовые смеси обогащают путем разделения их последовательной конденсацией или испарением, поглощением отдельных газов различными жидкостями (абсорбция) и др. эти методы широко используются в химической промышленности.

1.3. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ

Комплексное использование сырья обеспечивает его квалифицированную переработку с получением максимального количества ценных продуктов. Поэтому необходимо стремиться как можно полнее использовать все составные части сырья. Отходы производства надо рассматривать как неиспользованные ресурсы.

переработка которых представляет большую народнохозяйственную задачу.

Например, коксование угля, при котором получают кокс, коксовый газ и каменноугольная смола. Раньше использовался только кокс (на металлургических заводах), газ сжигался в виде топлива, а каменноугольная смола была отходом, не находящим применения и сбыта. В настоящее время каменноугольная смола, представляющая собой сложную смесь различных органических соединений (свыше 300), является ценнейшим сырьем. Из нее получают многие органические соединения, используемые для производства полупродуктов и красителей, всевозможных фармацевтических продуктов, смазочных масел и т.д. из коксового газа выделяют аммиак, сероводород, бензолные (ароматические) углеводороды, а оставшуюся часть, состоящую на 60% из водорода и 30% метана, перерабатывают с их выделением методом глубокого охлаждения.

В промышленности, как правило, прибегают к кооперированию производств для более квалифицированного и глубокого использования всех компонентов сырья. Так, например, коксохимические заводы кооперируются с металлургическими и азототуковыми.

1.4.ЗАМЕНА ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ НЕПИЩЕВЫМ.

Эта проблема является одной из важнейших в промышленности и в целом в народном хозяйстве. Все возрастающее производство синтетического каучука, искусственных волокон, пластических масс, эфиров и др., увеличивает потребление таких продуктов, как иловый спирт, казеиновый клей, олифы и масляные краски и т.д. Раньше на их производство расходовались такие ценные пищевые продукты, как растительное масло, зерно, сахар и др. Поэтому промышленность стремится к сокращению их потребления, так как с одной стороны, искусственные материалы дешевле натуральных (что обеспечивает снижение себестоимости продуктов), а с другой - не используя их мы увеличиваем фонды продуктов питания.

Действительно, пищевое сырье успешно заменяется синтетическим. Так синтетический этиловый спирт, получаемый из этилена, гораздо дешевле натурального, так как сам этилен получают при переработке природных газов, нефти и сланцев. Или, большой

экономический эффект достигнут при замене растительных и животных жиров синтетическими жирными кислотами - основой производства СМС.

Огромное значение как заменитель пищевого сырья имеет древесина. При промышленной переработке ее отходы в виде сучьев, пней, щепы, опилок, составляют почти 2/3 от веса древесины на корню. Именно эти отходы используются для производства целлюлозы, которая в свою очередь идет на изготовление бумаги, ацетатного волокна, пластических масс и т.д.

1.5. ВОДА В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

Вода рассматривается как один из видов сырья в химической промышленности. В ряде производств она непосредственно участвует в химической реакции и входит в состав исходных продуктов, например, в производстве серной ($\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$) или азотной ($3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{NO}$) кислот.

Вода во многих производствах используется как растворитель жидких, твердых и газообразных веществ. Она используется для получения суспензий или пульпы (при обогащении сырья). Она необходима для промывки от вредных примесей и загрязнений, для охлаждения нагретых тел или веществ, реагирующих с выделением тепла. Ее (в нагретом состоянии) используют для нагревания исходных веществ, для ускорения технологического процесса, для компенсации потерь тепла и т.д. Для охлаждения водой и нагреванием паром реагирующих масс применяют разнообразные холодильники, теплообменники, нагреватели. Теплообмен между водой и реагирующими массами осуществляется как путем непосредственного контакта воды с охлаждаемым или нагреваемым веществом, так и через стенки труб сосудов и аппаратов.

На химических предприятиях вода используется в больших количествах, поэтому для повышения рентабельности производства целесообразно отработанную воду (например, после охлаждения) вновь использовать в производстве. Такая вода наз. Оборотной. Эту воду охлаждают в специальных водоемах. Иногда ее предварительно охлаждают на специальных устройствах, называемых градирнями, которые представляют собой деревянную башню с насадкой из

решеток и рек. Стекая вниз по насадке, вода охлаждается движущимся навстречу холодным воздухом.

Природная вода обычно содержит растворенные в ней примеси. Различают три вида природной воды: атмосферную, поверхностную и подземную. Содержание примесей в них различно.

Атмосферная вода - дождевая и снеговая - содержит в своем составе растворенные газы, такие как кислород, азот, углекислый газ, иногда сероводород и другие газы, органические примеси и пыль.

Поверхностные воды - речные, озерные, морские - помимо растворенных в них газов содержат в своем составе минеральные примеси, такие как двууглекислые, сернокислые и хлористые соли калия, кальция и магния, причем количества их колеблются в широких пределах.

Подземные воды - ключевые, колодезные, артезианские - содержат те же минеральные соли, что и поверхностные. Но органических примесей в них меньше, чем в поверхностных и атмосферных.

Вода называется пресной, если в ней содержится солей до 1г на 1л. природная вода из-за наличия в ней растворимых солей кальция и магния обладают жесткостью. Такая вода при нагревании образует накипь на стенках котлов. Жесткость бывает устраняемая и постоянная. Устраняемая жесткость обуславливается наличием кислых углекислых солей кальция и магния [(бикарбонатов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$]. При кипячении эти соли разлагаются с образованием: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Из раствора выпадает осадок CaCO_3 . Постоянная жесткость обуславливается наличием хлористых и сернокислых солей кальция и магния в растворе. По количеству растворенных в воде солей различают три группы воды: мягкую (содержание солей до 3 мг-экв/л), среднюю или умеренно жесткую (3-6мг-экв/л) и жесткую (свыше 6 мг-экв/л).

Примеси содержащиеся в сырье могут вредно влиять на ход процесса, образовывать накипи, осадки, вызывать коррозию аппаратуры и т.д. Поэтому вопросам очистки воды или другими словами подготовке ее к переработке уделяется большое внимание.

Среди способов подготовки воды можно выделить следующие основные: очистка от взвешенных примесей, дегазация, умягчение, иногда обессоливание, нейтрализация и др.

От взвешенных примесей воду очищают путем отстаивания или

фильтрации. Последнее осуществляется через слой песка и гравия. Иногда для осаждения примесей, находящихся в коллоидном состоянии, к воде добавляются специальные осадители-коагулянты.

Умягчение воды осуществляется добавлением к ней извести $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, едкого натра (NaOH) и соды Na_2CO_3 . При этом ионы кальция и магния переходят в осадок в виде карбоната кальция и гидроксида магния, который отфильтровывается.

Для более полного обессоливания широко применяются высокомолекулярные ионообменные смолы. Некоторые из них имеют активные центры в виде катионов водорода, натрия или аммония, способные обмениваться на ионы кальция и магния и называются катионитами, либо активные центры в виде гидроксильной группы, которая способна обмениваться на ионы хлора, или сульфат-ионы и называются анионитами. При фильтрации воды последовательно через слой сначала катионита, а затем анионита, можно полностью очистить воду от минеральных примесей, то есть обессолить ее. По мере насыщения, катиониты и аниониты регенерируют, т.е. восстанавливают их активность специальными приемами.

При загрязнении воды кислотами или щелочами, необходимо ее нейтрализация. Такое бывает при охлаждении серной кислоты в холодильниках, откуда при неисправности их вредные примеси могут попасть в воду. Такую воду нельзя использовать как оборотную и ее нельзя сбрасывать в канализацию без нейтрализации.

Если в воде содержатся вредные газы, такие как сероводород, сернистый ангидрид, углекислый газ, которые могут вызывать коррозию аппаратуры, воду очищают от них продувкой воздухом. Этот процесс называется аэрированием.

Некоторые производства, производящие особо чистые вещества, используют только дистиллированную воду, получаемую специальной перегонкой-дистилляцией.

Очистка сточных вод - это очень важная задача. Как известно они содержат в своем составе самые разнообразные вредные примеси (кислоты, щелочи, органические вещества и т.п.), поэтому их нельзя сбрасывать без специальной очистки в близрасположенные водоемы. Для каждого предприятия существуют свои санитарные нормы на содержание вредных примесей в сточных водах. Трудность создания каких либо унифицированных способов очистки сточных вод заключается в том, что каждое предприятие имеет свои особенности и

их сточные воды отличаются по составу от вод других предприятий. Обычно для очистки применяют методы нейтрализации, осаждения, очистки биохимическим окислением и др.

Следует в заключение сказать, что проблеме подготовке воды к переработке и очистке ее уделяется большое внимание.

Глава 2. ЭНЕРГЕТИКА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В химической технологии процессы протекают либо с выделением тепла - экзотермические процессы, либо с поглощением - эндотермические. Если реакция идет с выделением тепла и для поддержания температурных условий процесса этого тепла хватает, то реакция называется автотермической.

Например, окисление SO_2 в SO_3 идет по схеме: $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{SO}_3$. + Q - Тепла (Q), выделяемого при этом, достаточно для проведения реакции с поддержанием в реакционном аппарате нужной температуры. Но большинство экзотермических реакций в химической технологии протекают с недостаточным выделением тепла, необходимого для автотермичности процесса, и поэтому требуется дополнительный расход тепла для поддержания необходимых температурных условий процесса.

Естественно, что эндотермические реакции протекают с затратой тепла. Это тепло берется со стороны, причем зачастую в значительных количествах.

На химических предприятиях кроме тепла на поддержание необходимого температурного режима, большое количество энергии расходуется на транспортировку и подготовку сырья к переработке: дробление, помол, обогащение, перемещение газообразных, жидких и твердых материалов, сжатие газов и др., т.е. химическая промышленность является большим потребителем энергии.

Используются разнообразные виды энергии:

Электрическая - на электролиз растворов и расплавов, на проведение электротермических, электромагнитных и электростатических процессов, а также для перевода в механическую энергию на проведение всевозможных физических процессов, таких как дробление, смешение, центрифугирование и др.

Тепловая энергия - на нагревание, сушку, выпарку, плавление,

т.е. на осуществление эндотермических реакций.

Химическая энергия, выделяемая при биохимических и экзотермических реакциях.

Световая энергия - для проведения фотохимических реакций (например, для получения хлороводорода).

Все источники энергии делятся на невозобновляемые и возобновляемые. К первым относят месторождения угля, торфа, нефти, сланцев, природного газа, ядерное топливо (уран, торий), а ко второй - энергию рек, отливов и приливов, ветра, солнца, тепло земных недр и растительное топливо.

Следует отметить, что наибольшая энергетическая ценность у природного газа (10,6 квт.час/м³), и далее у каменного угля (8), кокса (7,2), коксового газа, торфа и наименьшая у бурого угля (2,5).

Удельный вес минерального топлива в энергетическом балансе составляет около 80% (каменный уголь, затем нефть, природный газ и торф). 20% приходится на возобновляемые источники, причем наибольшее значение имеет древесина и гидроэлектроэнергия.

В энергетическом балансе все время увеличивается удельный вес нефти, природного газа и гидроэнергии при сокращении потребления угля. Кроме этого важным источником тепла являются атомные электростанции. Научный интерес представляет освоение энергии, выделяющейся при синтезе ядер гелия из ядер тяжелого водорода (дейтерия).

Большое потребление энергии ставит задачу ее рационального и экономного расходования с повышением коэффициента использования энергии, который определяется как отношение теоретически требуемого количества энергии для производства единицы продукции к количеству фактически затраченной энергии.

С целью повышения указанного коэффициента, на химических заводах стремятся к сокращению непроизводительных затрат тепла в окружающую среду за счет использования тепла отходящих из реакционных аппаратов нагретых газов, жидкостей и твердых тел и др. источники. Для предварительного нагревания сырья перед подачей их в реакционные аппараты, или для получения пара, необходимого в производстве. Для выработки пара используются специальные теплообменники, называемые рекуператорами и регенераторами тепла и котлы-утилизаторы.

Рекуператор представляет собой теплообменник с

цилиндрическим корпусом в котором помещаются плиты с развальцованными в них трубами. Горячие отходящие газы, поступающие из реакционного аппарата, проходят в теплообменнике по трубам, а холодные газы, поступающие в реакционный аппарат, движутся в межтрубном пространстве (рис.5).

Регенератор представляет собой камеру, заполненную насадкой в виде решетки из огнеупорного кирпича. Вначале через камеру с насадкой пропускают горячие отходящие газы, в результате чего насадка нагревается, затем горячие газы отключают и через камеру пропускают холодные газы, которые, нагреваясь, отнимают тепло от насадки. После охлаждения насадки ее вновь нагревают горячими отходящими газами. Таким образом, одна камера является аппаратом периодического действия. Для создания непрерывного режима работы таких камер ставят как минимум 2: одна работает на нагрев насадки, в то время как другая на охлаждение ее. Через определенный промежуток времени потоки газов переключают.

Котлы - утилизаторы применяются для получения пара за счет тепла отходящих газов. В упрощенном виде конструкция котла - утилизатора представляет собой трубчатый аппарат, в котором трубки помещены в кожух и в котором горячие пары идут по трубам, а холодная вода движется в межтрубном пространстве. Полученный пар выводится из котла-утилизатора через специальный влагоотделитель (рис.6).

Тепло отходящих газов иногда используют для нагревания воздуха или воды, идущих на отопление заводских помещений, для душевых, парников и т.д. для этих целей, как правило, используются теплообменники.

Энергию сжатых газов или жидкостей, отходящих из реакционных аппаратов, используют для вращения колес газовых и водяных турбин.

Для исключения потерь тепла в окружающую среду, т.е. для повышения коэффициента использования тепла, наружные стенки аппаратов покрывают изоляцией плохо проводящими тепло материалами. А при выборе конструкции аппарата стремятся брать аппарат с минимальной поверхностью теплоотдачи в окружающую

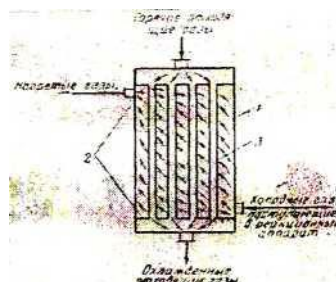
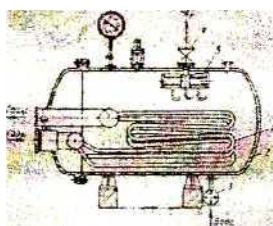


Рис.5. Схема теплообменника (рекуператора тепла) Рис.6. Котел-утилизатор (рекуператора тепла)

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ.

3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Все химические процессы стремятся осуществлять в оптимальных условиях, обеспечивающих максимальный выход высококачественных продуктов с низкой себестоимостью. Это достигается подбором оптимальных условий процесса, обеспечивающих высокую скорость протекания процесса, минимальные капитальные и эксплуатационные затраты, расходы сырья и топливно-энергетических ресурсов и т.д. Это достигается не только правильным подбором технологического режима процесса, но внедрением непрерывных процессов с максимальной механизацией и автоматизацией их.

Естественно, что без знания закономерностей, которым подчиняются химические процессы, решить все эти поставленные задачи нельзя.

Из теоретических законов физики и химии большое значение для химической технологии имеет закон сохранения массы, периодический закон Д.И.Менделеева и закон сохранения энергии.

Закон сохранения массы применяют при расчете материальных результатов протекания технологического процесса. Обязательно должно сохраняться условие, по которому общая масса всех поступающих в аппарат (или цех) материалов равняется общей массе всех выходящих из аппарата (цеха) продуктов, или, другими словами, приход материалов должен равняться его расходу. Это положение лежит в основе расчета материального баланса работы аппарата (цеха), который необходим не только для расчета и проектирования нового химического производства, но и для контроля за работой аппарат (цеха). Обычно его составляют на единицу веса (кг, т) получаемого продукта в единицу времени работы аппарата (цеха) (час, сутки, год). Составление материального баланса предшествует составлению энергетического баланса, который составляется на основе законы сохранения энергии с учетом данных по материальному балансу.

Учение о химическом равновесии и скоростях химических процессов (химическая кинетика) имеет исключительно важное значение для химической технологии.

Исходные вещества могут находиться в газообразном, твердом и жидком состояниях. Группу веществ, находящихся в физическом или химическом взаимодействии называют реагирующей средой.

Именно физическое состояние реагирующих веществ в значительной степени определяет общность закономерностей, которым они подчиняются, а также способы, схемы и конструкции аппаратов, применяемых для переработки, например, способ и интенсивность перемешивания реагирующих масс, которые, в свою очередь, зависят от агрегатного состояния вещества. Поэтому все реагирующие системы и технологические процессы для удобства рассмотрения и изучения подразделяются на следующие две группы: однородные (гомогенные) и неоднородные (гетерогенные).

Химико-технологический процесс складывается, как правило, из следующих связанных между собой элементарных процессов:

1. Подвод реагирующих веществ в зону реакции
2. Химические реакции (химическое взаимодействие вещества)
3. Отвод полученных продуктов из зоны реакции.

Первая стадия - *подвод реагирующих веществ в зону реакции* - осуществляется молекулярной диффузией или конвекцией. При сильном перемешивании реагирующих веществ конвективный перенос называют также турбулентной диффузией. В двух- и многофазных системах подвод реагирующих компонентов может совершаться абсорбцией или десорбцией газов, конденсацией паров, плавлением твердых веществ или растворением их в жидкости, испарением жидкостей или возгонкой твердых веществ. Межфазный переход - это сложный диффузионный процесс.

Второй этап - *химические реакции* - или стадии химикотехнологического процесса. В реагирующей системе, как правило, протекает несколько последовательных или параллельных реакций, приводящих к образованию основного продукта, а также ряд побочных реакций между основными исходными веществами и примесями, наличие которых в основном продукте неизбежно. В результате образуются побочные продукты или отходы и отбросы предприятия. Обычно при анализе производственных процессов учитываются не все реакции, а лишь те из них, которые имеют определяющее влияние на количество и качество получаемых целевых продуктов.

. Третий этап - *отвод продуктов из зоны реакции*, может совершаться так же, как и подвод компонентов диффузией, конвекцией и переходом вещества из одной фазы в другую.

Общая скорость процесса будет зависеть от наиболее медленно протекающего процесса. Если таким процессом является диффузия, то есть первая и третья стадии, то процесс называют происходящим в диффузионной области. Для увеличения скорости применяют меры к улучшению диффузии путем перемешивания, повышения температуры и концентрации реагирующих веществ.

Если скорость химического процесса тормозится скоростью химической реакции, то этот процесс называют происходящим в кинетической области. Тогда стремятся повысить скорость химической реакции увеличением концентрации реагирующих веществ, температуры, применением катализаторов и др.

Если скорости всех процессов примерно одинаковы, то процесс протекает в переходной области и применяют меры, усиливающие оба процесса, то есть и химическую реакцию и диффузию, например, повышать концентрацию и температуру.

Знание основных технологических закономерностей позволяет осуществлять процесс наиболее эффективно с максимальным выходом продукта при высоком качестве его.

3.2. РАВНОВЕСИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Химические процессы делятся на обратимые и необратимые.

Необратимые процессы протекают лишь в одном направлении.

Химические реакции, как правило, обратимы в том отношении, что в зависимости от условий могут протекать как в прямом, так и обратном направлении. Другими словами, *обратимыми* называются процессы, в которых получаемые в результате взаимодействия исходных реагирующих веществ продукты начинают взаимодействовать между собой, вновь образуя исходные вещества, или, другими словами, такие процессы, в которых возможен переход вещества или теплоты как из одной фазы во вторую, так и обратно. Обратимость процесса указывается стрелками: $A + B \rightleftharpoons C + D$. В типичных производственных условиях многие химические реакции практически необратимы.

В начале такого процесса, когда концентрация веществ А и В велика скорость течения реакции слева направо - или прямой реакции - велика, но по мере образования продуктов С и Д концентрации веществ А и В будут уменьшаться и скорость прямой реакции замедляться. Одновременно продукты С и Д будут взаимодействовать между собой с образованием исходных веществ А и В и будет усиливаться скорость обратной реакции справа налево с увеличением образования веществ А и В. Этот процесс будет протекать до тех пор, пока количество вступивших в реакцию молекул веществ А и В не станет равным количеству молекул веществ С и Д, то есть скорости прямой и обратной реакции не станут равными. Такое состояние называется химическим равновесием. К химическому равновесию применим второй закон термодинамики в его общем виде, т.е. одним из условий равновесия в изолированной системе является максимум энтропии S . Дальнейшего превращения энтропии, обязательного для всех самопроизвольных

В обратимых процессах не происходит полного превращения веществ А и В в С и Д, а выход продукта при данных условиях достигает максимума в момент равновесия. Такой выход называется

равновесным. При изменении условий данное равновесие нарушается, но система стремится к достижению уже другого равновесия.

В гетерогенных двух- и многофазных процессах обратимыми называются процессы, в которых возможен переход вещества (или тепла) из одной фазы в другую и обратно.

Влияние температуры и давления на равновесие химической реакции определяется принципом Ле-Шателье, согласно которому в системе, выведенной из состояния равновесия, происходят изменения, направленные к ослаблению воздействий, выводящих систему из равновесия.

Практически необратимыми называют процессы, в которых равновесие при определенных условиях почти полностью смещено в сторону образования продуктов реакции (например, реакция горения угля). Выбор условий для таких процессов значительно проще. Как правило, повышение температуры и давления (для газообразных систем) благоприятно влияет на скорость реакции.

Зная зависимость равновесия обратимых реакций от различных факторов, влияющих на технологический процесс, можно определить условия, при которых обратимая реакция будет в большей степени направлена в сторону образования продукта реакции. Это позволит обеспечить максимально возможный выход продуктов. Но при этом необходимо также учитывать кинетические факторы.

Для количественного измерения подвижного равновесия служит константа равновесия. Она выводится из закона действующих масс, согласно которому скорость химической реакции в данный момент прямо пропорциональна произведению молярных концентраций реагирующих веществ. Так, для реакции:

$$aA + bB = cC + dD$$
$$K_p = \frac{k_1}{k} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (1)$$

Для газов K можно выразить через парциальные давления реагирующих компонентов p , концентрацию компонентов c_i молярные доли N . Они связаны уравнениями:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta N}; \quad K_p = K_n P^{\Delta N} \quad (2),$$

Где: K_p , K_c , K_n - соответствующий компонент равновесия, P - общее давление газовой смеси, ΔN - приращение числа молей.

Как правило, уравнение (1) не используется в технических

расчетах и для различных реакций определяется опытным путем и рассчитывается аналитически в зависимости от T и P . Эти данные приводятся в виде соответствующих таблиц. Для определения K по опытным данным ее выражают через *выход продукта*.

Выходом продукта называют отношение количества фактически полученного продукта $G_{\text{ф}}$ к максимальному количеству продукта $G_{\text{м}}$, которое могло бы получаться из данного исходного вещества:

$$X = G_{\text{ф}} / G_{\text{м}} \quad (3)$$

Для химических реакций максимальное количество продукта определяется по уравнению реакции по основному исходному веществу. В качестве основного вещества принимается, как правило, наиболее ценный компонент реакционной смеси, который обычно присутствует в недостатке против стехиометрии. Для процессов межфазной массопередачи (адсорбция, десорбция, испарение и др.) за максимальное принимается все количество вещества, которое имеется в отдающей фазе. Такой выход продукции применительно к химическим реакциям обычно называют *степенью превращения*. В процессах массопередачи такой выход называют *степенью межфазного перехода*, например, степенью абсорбции, степенью десорбции и т.д. Степень превращения, или степень межфазного перехода можно выражать отношением количества израсходованного основного вещества к общему его количеству в начале процесса:

$$X = (G_{\text{н}} - G_{\text{к}}) / G_{\text{н}} \quad (4),$$

Где: $G_{\text{н}}$ - начальное количество вещества,

$G_{\text{к}}$ - конечное количество вещества.

Последняя формула применима для расчета степени превращения любого исходного вещества в гомогенной реакции. Если в числитель формулы (3) подставляется количество продукта, полученного в состоянии равновесия, то выход называется равновесным $X_{\text{р}}$. Для необратимых процессов, при которых может происходить полное химическое превращение или полный переход вещества из одной фазы в другую, $X_{\text{р}} = 1$. Такой выход обычно называют теоретическим и обозначают $X_{\text{т}}$. Для обратимых процессов равновесный выход, совпадающий с равновесной степенью превращения, всегда меньше единицы, так как равновесие наступает

при неполном превращении исходных веществ в продукт.

33. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Скорость химического процесса обычно выражают количеством продукта, получаемого в единицу времени. Необходимо создать такие условия протекания химического процесса, при которых скорость была бы экономически наиболее выгодной. Скорость химической реакции есть величина, результирующая скорости прямой и обратной реакции. Чем выше скорость прямой и ниже скорость обратной реакции, тем выше скорость технологического процесса в целом, то есть тем больше выход продукта в единицу времени.

Так как при достижении равновесия скорость реакции становится малой, то в производственных процессах реакцию как правило, стараются не доводить до состояния равновесия, так процесс с низкой скоростью экономически невыгоден. В обратимых процессах практический выход продуктов всегда меньше равновесного.

На скорость реакции влияет много факторов, таких как концентрация реагирующих веществ, температура, давление, наличие катализаторов, конструкция аппаратов, степень перемешивания веществ, скорости потоков и т.д.

Способы увеличения скорости процесса зависят оттого, в каком агрегатном состоянии находятся реагирующие вещества.

Как известно, одним из способов увеличения скорости реакции является повышение концентрации, так как скорость прямо пропорциональна молярной концентрации. Способы увеличения концентрации различны: обогащение, концентрирование и др.

Для обратимых процессов необходимо учитывать не только влияние действующей концентрации реагирующего компонента C_d в передающей фазе в данный момент, но и концентрацию этого же компонента в момент равновесия $-C_p$. Разность $C_d - C_p$ называется движущей силой процесса и чем больше эта разность, тем больше скорость процесса. В момент равновесия она равна нулю.

В обратимых процессах скорость можно увеличить путем отвода продукта из реакционной зоны, что снижает скорость обратной реакции. Из газовой смеси продукт реакции можно удалить путем конденсации или поглощением жидкими (абсорбция) или твердыми (адсорбция) веществами. Как правило, во многих производственных

процессах газовую смесь выводят, образовавшийся продукт отделяют, а не прореагировавшие компоненты снова возвращают в реакционную зону. В результате получается *циклический процесс* (например, синтез аммиака). Из жидкой смеси продукт реакции выделяют осаждением в виде осадка, испарением или поглощением жидкими и твердыми веществами. Не прореагировавшие компоненты также вновь возвращают в процесс.

Для повышения скорости чаще всего изменяют температуру и давление (по закону Вант-Гоффа повышение температуры на 10°C увеличивает скорость реакции в 2-4 раза). Однако для многих реакций существует температурный оптимум, после которого возрастание скорости реакции прекращается и дальнейшее повышение температуры приводит к ее снижению.

Температура и давление оказывают большое влияние и на гетерогенные процессы.

Глава 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Процессы делятся на химические и физические.

При классификации химико-технологических процессов учитывают деление химических реакций на простые, сложно - параллельные и сложно - последовательные.

При описании отдельных классов химико-технологических процессов реакции подразделяют по типу взаимодействия реагентов на окислительно-восстановительные (гомолитические) и кислотноосновные (гетеролитические).

Химические реакции и процессы массопередачи могут быть обратимыми или необратимыми, соответственно различают и технологические процессы в целом.

Различают процессы, протекающие в кинетической и диффузионной областях. Этот вид классификации очень осложняется в гетерогенных системах, особенно при взаимодействии газового компонента или жидкой смеси с поверхностью твердого пористого материала. В таких процессах в зависимости от лимитирующего этапа подразделяются следующие области: внешедиффузионную, переходную от внешне- к внутридиффузионной, внутридиффузионную (в порах твердого материала), внутреннюю -

переходную и кинетическую. Такие области имеют наибольшее значение для гетерогенно-каталитических процессов. Если механизм процесса сложный, принадлежность его к тому или иному классу определяется направленностью.

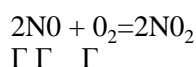
В классификации технологических процессов большое значение имеет необходимый для их оптимизации технологический режим. Технологическим режимом называется совокупность основных Факторов (параметров), влияющих на скорость процесса, выход и качество продукта. Для большинства химико-технологических процессов основными параметрами режима являются температура, давление, применение катализатора и активность его, концентрации взаимодействующих веществ, способ и степень перемешивания реагентов. Для некоторых типов химико-технологических процессов первостепенное значение приобретают показатели режима, не характерные для большинства химико-технологических процессов: так, электрохимические процессы характеризуются напряжением и плотностью тока, радиационно-химические - применяемым уровнем радиации и др.

Параметры технологического режима определяют принципы конструирования соответствующих реакторов. Оптимальному значению параметров соответствует максимальная производительность аппаратов и производительность труда персонала. Все параметры взаимосвязаны и влияют друг на друга, изменение одного влечет за собой резкое изменение остальных. Поэтому четкая классификация технологических процессов по всем технологическим параметрам режима была бы очень сложна и нецелесообразна в общем курсе химической технологии. Поэтому для классификации необходимо выбирать параметры, оказывающие решающее влияние.

На конструкцию реакторов и скорость процессов сильно влияют способ и степень перемешивания реагентов, которые в свою очередь зависят от агрегатного состояния последних. По этому признаку все системы взаимодействующих веществ и соответствующих им технологические процессы делятся на однородные (гомогенные) и неоднородные (гетерогенные).

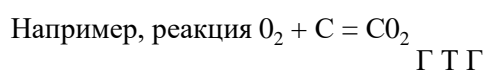
Гомогенными Однородными называют системы или процессы, в которых все взаимодействующие вещества находятся в одной фазе: газовой (Г), жидкой (Ж), и твердой (Т).

Например, окисление NO в NO₂ по реакции:



является однородным гомогенным процессом, протекающим в газовой фазе. Если все реагирующие вещества будут находиться в растворе, то такой гомогенный процесс будет называться процессом, протекающим в жидкой фазе. В таких системах взаимодействие реагирующих веществ происходит легче, чем в гетерогенных, механизм таких процессов проще. Поэтому на практике технологи стремятся к гомогенным процессам, например, твердые вещества переводят в жидкое состояние, газ в жидкость и другие приемы.

Гетерогенными (неоднородными) называют системы, включающие две и более фаз, например, газ-жидкость (Г-Ж), газ -твердое (Г-Т), жидкость - твер-дое (Ж-Т) и др. Во всех таких системах имеется поверхность раздела фаз.



Следует отметить, что эти процессы более распространены, чем гомогенные.

Химические процессы делятся на каталитические и некаталитические, высоко- и низкотемпературные, под вакуумом или при нормальном давлении, с высокой или низкой концентрацией реагирующих веществ.

По характеру протекания процессов во времени соответствующие аппараты и процессы делятся на периодические и непрерывные. Последние называются проточными, так как через них постоянно протекают потоки реагирующих масс.

По гидродинамическому режиму различают два предельных случая перемешивания реагирующих компонентов с продуктами реакции:

Полное смешение - когда за счет сильной турбулизации концентрация реагентов одинакова во всем объеме аппарата от ввода исходной смеси до вывода продуктовой смеси и идеальное вытеснение, когда исходная смесь не перемешивается с продуктами реакции, а проходит ламинарным потоком по всей длине или высоте аппарата. Промышленные аппараты, как правило, занимают промежуточное положение.

По температурному режиму проточные аппараты и происходящие в них процессы делят на изотермические, адиабатические и политермические (программно-регулируемые).

В изотермических реакторах температура постоянна во всем объеме, что достигается сильным перемешиванием, приближающимся к полному смешению. К ним также приближаются процессы с малым тепловым эффектом или при малой концентрации реагирующих веществ (например, в процессах очистки газов от вредных примесей).

В адиабатических реакторах нет отвода или подвода тепла, и вся теплота реакции аккумулируется потоком реагирующих веществ. Этот режим возможен только в реакторах идеального вытеснения.

В политермических реакторах теплота реакции лишь частично отводится из зоны реакции, или, наоборот, подводится для эндотермических процессов. Это осуществляется в соответствии с предварительным расчетом. Температура по длине (высоте) аппарата изменяется неравномерно и температурный режим выражается различными кривыми, вид которых соответствует предварительному расчету.

Промышленные реактора, как правило, имеют политермический температурный режим, но иногда приближающийся к изотермическому или адиабатическому.

По тепловому эффекту процессы делятся на экзо- и эндотермические. Например, реакция синтеза аммиака из азота и водорода является экзотермической, а получение окиси азота из азота и кислорода - эндотермической. Такое деление очень важно при определении влияния теплового эффекта на равновесие и скорость обратимых реакций, в ряде производств определяет технологическую схему производства и конструкцию реактора

По характеру изменения движущей силы процесса по высоте (длине) реактора различают в гетерогенных системах прямоточные и перекрестные процессы.

Глава 5.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ РЕАГИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Большое значение для ускорения химических процессов имеет *перемешивание реагирующих веществ*. В гомогенных процессах усиление перемешивания содействует выравниванию концентрации исходных веществ во всем объеме и увеличению числа столкновений реагирующих веществ, что повышает скорость их взаимодействия. В гетерогенных системах перемешивание приводит к увеличению поверхности соприкосновения реагирующих фаз. Усиленное перемешивание гетерогенных систем особенно целесообразно для процессов, происходящих в диффузионной области. В зависимости от физического состояния реагирующих веществ способы увеличения поверхности соприкосновения фаз весьма различны, но во всех способах стремятся увеличить поверхность более тяжелой фазы. Так, в реагирующих системах газ-твердое (Г-Т) и жидкость-твердое (Ж-Т) измельчают твердый исходный материал или применяют его в виде пористых кусков, где внутренняя поверхность пор во много раз превышает наружную поверхность куска. Измельчают твердый материал дробилками мельницами различной конструкции.

Перемешивание твердых реагирующих материалов может производиться различными способами.

Для *неоднородных реагирующих систем газ-твердое (Г-Т) и жидкость-твердое (Ж-Т)* применяют:

перемешивание твердого измельченного материала, омываемого газом или жидкостью, механическими мешалками на полках аппарата;

перемешивание твердого тонко измельченного материала в потоке газа или жидкости; в реагирующей системе Г-Т это достигается вдуванием измельченного материала вместе с потоком газа в полые камеры; для реагирующей системы Ж-Т применяют перемешивание твердого измельченного материала с жидкостью в смесителях с мешалкой;

перемешивание пропусканием потока или жидкости через неподвижный слой твердого измельченного материала; аппараты, работающие по этому принципу, называют аппаратами с фильтрующим слоем;

перемешивание твердого измельченного материала с газом или

жидкостью во взвешенном или так называемом кипящем слое.

Для реагирующей системы *газ-жидкость (Г-Ж)* поверхность соприкосновения газа с жидкостью увеличивают следующими методами:

1. Непрерывным смачиванием жидкостью поверхности насадки, заполняющей башню или колонну; жидкость подается на насадку сверху и стекает вниз по насадке, образуя на ее поверхности пленку жидкости, газ обычно подается в башню или колонну снизу противотоком к стекающей жидкости; поверхность соприкосновения газа с жидкостью принимают равной поверхности насадки, поэтому насадку для заполнения башни выбирают с возможно более развитой поверхностью. Такие аппараты называются насадочными (рис. 7);
2. Разбрызгиванием жидкости в виде мелких капель в полых башнях, колоннах или камерах, в которые одновременно подается газ; поверхность соприкосновения газа с жидкостью в этом случае равна поверхности всех капель жидкости, находящихся в аппарате во взвешенном состоянии (рис.8);
3. пропусканием пузырьков газа через слой жидкости (пробулькивание газа), для лучшего разбивания потока газа на мелкие пузырьки в аппарат сетчатые полки или колпачковые тарелки; такой метод увеличения поверхности соприкосновения газа с жидкостью называют барботажем, а аппараты - барботажными (рис.9);
4. пропусканием газа через слой жидкости с такой скоростью, что жидкость вспенивается, то есть взвешивается в потоке газа в виде пленок, струй и капель. Это аппараты с так называемым «пенным»

слоем (рис. 10).

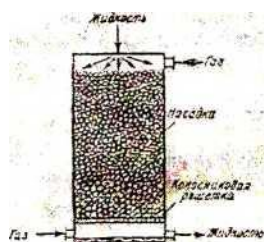


Рис.7. Схема работы башни с насадкой

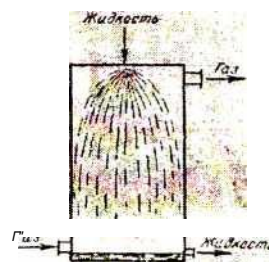


Рис.8. Схема работы башни с разбрызгиванием жидкости

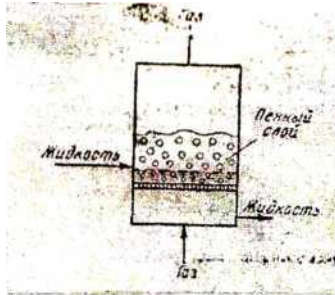


Рис.9. Схема работы аппарата с пенным слоем

В системе двух несмешивающихся жидкостей Ж-Ж увеличение поверхности соприкосновения жидкостей обычно достигается перемешиванием их в смесителях, при этом образуется эмульсия - взвесь тяжелой жидкости в более легкой.

В системе *твердое-твердое* (Т-Т) поверхности соприкосновения твердых тел увеличивают измельчением и перемешиванием.

Глава 6. ТИПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СХЕМ

В зависимости от характера перемещения реагирующих веществ (фаз) технологические процессы подразделяют на прямоточные, противоточные и перекрестные.

В прямоточных (рис. 11) неоднородных (гетерогенных) процессах реагирующие вещества движутся в одном направлении, в противоточных (рис. 12) - навстречу друг другу. В перекрестных (рис. 13) - потоки реагирующих веществ пересекаются под тем или иным углом друг к другу.

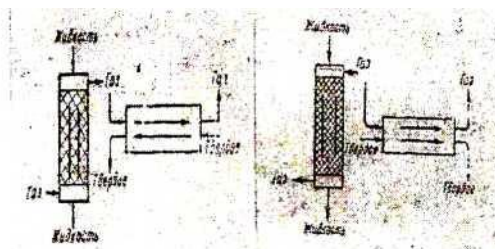


Рис.12. Схема противоточных процессов для реагирующих систем Г-ЖиГ-Т

G_2
f

		Тип hf
у у&П от X&Pb	J-4-1T	

Рис 13. Схема перекрестного процесса на полке аппарата со взвешенным (кипящим) слоем твердого или жидкого вещества в потоке газа

Противоточные процессы обеспечивают большую полноту взаимодействия реагирующих веществ, чем прямоточные. Поэтому при организации технологических процессов стремятся обеспечить взаимодействие фаз неоднородной системы по принципам противотока.

Прямоточные процессы применяют главным образом в тех случаях, когда из-за специфики взаимодействия реагирующих веществ невозможно использовать противоток.

Перекрестные процессы обеспечивают обычно наибольшую полноту взаимодействия неоднородных реагирующих веществ. Поэтому в отдельных случаях они являются более целесообразными, чем противоточные процессы.

По характеру введения исходных материалов в аппарат и вывода продукта из него технологические процессы подразделяют на периодические, непрерывные и смешанные.

Периодическими называют такие процессы, в которых в аппарат одновременно загружают определенное количество

исходных веществ, а по завершении процесса их переработки из аппарата выгружают продукт реакции; затем снова загружают порцию исходных материалов и снова повторяют все операции. В таких процессах прежде всего нерационально используется аппарат во времени. При загрузке исходных веществ и выгрузке продукта аппарат не работает. Кроме того, перерывы в работе аппарата часто сопровождаются большими непроизводительными потерями тепла или других видов энергии. При периодических процессах трудно обеспечить одинаковое качество продуктов, их труднее механизировать и автоматизировать.

Непрерывными называют такие процессы, в которых загрузка исходных материалов, проведение реакций и выгрузка продукта происходят непрерывно. Непрерывные процессы в большинстве случаев экономически более выгодны, высокопроизводительны, обеспечивают высокий выход и однородное качество продукта, их легче механизировать и автоматизировать, они обеспечивают непрерывность и постоянство условий протекания отдельных стадий сложного процесса.

Смешанными (комбинированными) называют процессы, в которых реагирующие вещества подаются непрерывно, а выход продукта осуществляется периодически. Есть и такие производства, в которых исходные вещества или одно из них поступает в процесс периодически, а выводят продукты непрерывно.

Производство химических продуктов, как правило, включает ряд физических и химических процессов: подготовку сырья к переработке (дробление, сушку и др.), транспортировку реагирующих веществ (перемещение их из аппарата в аппарат), очистку промежуточных продуктов, проведение основных химических реакций, хранение и упаковку полученного продукта и т.д. Последовательное описание и графическое изображение всех стадий переработки исходных веществ в продукты производства и аппаратов, применяемых для этой цели, называется *технологической схемой производства*. Различают два основных типа технологических схем производства - с *открытой цепью* и *циклические* (циркуляционные).

В схемах с открытой цепью исходные материалы при переработке в продукты последовательно проходят один или ряд аппаратов. Если в одном аппарате степень переработки исходных материалов мала, то приходится ставить большое количество

однотипных аппаратов и производственная установка в целом получается громоздкой.

В *циклических (циркуляционных)* схемах производства, широко применяемых в настоящее время для переработки обратимых реагирующих систем с малым смещением равновесия реакции в сторону образования продукта, непрореагировавшие исходные вещества после отделения образовавшегося продукта вновь возвращают в производство. Эти установки более компактны, включают меньше аппаратов, обеспечивают большую полноту переработки исходных веществ в продукты. Капитальные затраты на их строительство меньше.

Литература:

1. В.Ф.Фролои. Лекции по курсу «процессы и аппараты химической технологии». Санкт-Петербург.:Химиздат, 2003
2. Р.С.Соколов. Химическая технология.!. 1и2. Изд-во Владос, 2004.
3. Н.И.Гельперин. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1995.
4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.

Вопросы для самоконтроля:

1. Сырье химической промышленности. Сырье, продукты, основные материалы, отходы. Комплексное использование сырья.
2. Принципы обогащения сырья. Грохоты. Гравитационное разделение - сухое и мокрое.
3. Электромагнитные и электростатические методы обогащения сырья. Другие способы.
4. Вода в химической промышленности.
5. Энергетика химической промышленности. Источники энергии. Коэффициент использования сырья.
6. Устройство и назначение рекуператоров, регенераторов и котлов-утилизаторов.
7. Стадии технологического процесса. Области протекания процессов. Факторы, влияющие на скорость процесса.
8. Технологический режим. Параметры технологического режима. Гомогенные и гетерогенные процессы.
9. Периодические и непрерывные процессы. Полное смешение и идеальное вытеснение. Изотермические, изобарные, изохорные и адиабатические процессы. Эндо - и экзотермические процессы.
10. Равновесие в технологических процессах. Константа равновесия. Выход продукта. Степень превращения. Равновесный и теоретический выход продукта.
11. Скорость химических процессов. Движущая сила процесса. Влияние параметров на скорость химических реакций. Кинетические кривые для различных типов реакций.
12. Перемешивание твердых реагирующих веществ. Способы увеличения поверхности соприкосновения. Принцип действия башни с

разбрызгиванием жидкости, аппарата барботажного типа, аппарата с пенным слоем жидкости.

13. Прямоточные, противоточные и перекрестные процессы.
14. Периодические, непрерывные и смешанные процессы.
Технологические схемы.