

Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Технологии и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых
производств»

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Общая химическая технология»

Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология

Часть 1

Энгельс 2024

Введение

Лабораторный практикум по дисциплине «Общая химическая технология» служит для закрепления теоретических знаний по курсу, в результате чего студенты получают достаточный фундамент по химико-технологическому образованию.

Инженеры-технологи и инженеры-механики, а также бакалавры техники и технологии, изучающие «Общую химическую технологию», в своей будущей производственной деятельности должны обладать производственно-технологическими, проектно-конструкторскими и исследовательскими навыками в области управления химико-технологическим процессом, знать отдельные типовые процессы, а также закономерности химической промышленности.

В лаборатории ОХТ студенты выполняют первые химико-технологические исследования, т.к. каждая лабораторная работа содержит элементы исследований. Студенты знакомятся с изучаемыми вопросами по учебнику общей химической технологии. Затем изучают общую инструкцию по технике безопасности при работе в химических лабораториях и отдельную инструкцию по выполняемой работе. У преподавателя студент получает задание на выполнение экспериментальной работы, знакомится с установкой. Следующей стадией является экспериментальное исследование влияния тех или иных параметров технологического режима на технологические процессы (температуры, концентрации, времени и т.д.) с построением графиков зависимости.

По результатам исследований студент выполняет необходимые расчеты и составляет отчет, в который включаются: задание, цель работы, схема технологической установки, расчеты и графики по результатам опытов, выводы по результатам работы.

Концентрирование твердого сырья флотационным способом

Цель работы: выбор оптимальных флотореагентов на примере разделения смесей твердых веществ.

Основные понятия

Применение концентрированного сырья является одним из путей интенсификации химико-технологических процессов.

Обогащение сырья – совокупность физических и физико-химических методов обработки для удаления пустой породы и повышения содержания основного компонента в концентрате.

В случае, когда в сырье содержится несколько полезных составляющих, его делят на составные части (фракции), обогащенные тем или иным компонентом и являющиеся сырьем для различных производств.

В химической промышленности применяется концентрирование веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях: газообразных (г), жидких (ж) и твердых (т).

Жидкие растворы различных веществ концентрируют упариванием, выделением примесей в осадок или газовую фазу.

Газовые смеси разделяют на компоненты последовательной конденсацией газов при сжатии (компрессии) и понижении температуры.

Если сырье представляет собой твердые материалы, для их обогащения используют следующие методы:

- гравитационный – разделение твердых компонентов, основанное на разной скорости выпадения частиц разной плотности и крупности в потоке жидкости или газа или на действии центробежной силы (применяется для обогащения сырья в производстве силикатных материалов, минеральных солей, в металлургии);

- электромагнитный – разделение по магнитной проницаемости (применяется при отделении магнитного железняка, хромистого железняка, рутила и других магнитно-восприимчивых материалов от пустой породы);

- электростатический – разделение по электрической проводимости, т.е. отделение проводящих руд от диэлектрических пород (применяется при отделении гипса, известняка, силикатов и др.);

- флотация - один из наиболее распространенных и перспективных способов концентрирования твердых веществ. Она применяется для концентрирования апатитно-нефелиновой руды, каменного угля, сульфидных руд, прибалтийских сланцев и других веществ, для очистки растворов в производстве химических волокон.

Теория флотации

Флотационный метод обогащения основан на различном смачивании водой различных твердых веществ. Смачиваемые вещества называются гидрофильными, не смачиваемые - гидрофобными (рис. 1). Суммарная сила поверхностного взаимодействия в случае 1 направлена вверх (краевой угол тупой). В случае 2 - вниз (краевой угол острый), поэтому гидрофобные частицы стремятся всплыть, гидрофильные - утонуть.

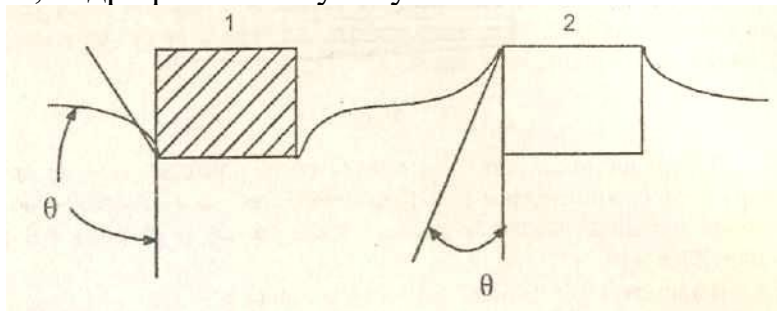


Рис. 1: 1 - гидрофобная твердая частица; 2 - гидрофильная твердая частица; θ - краевые углы

Эффект флотации усиливается при увеличении удельной поверхности твердой фазы, поэтому для флотационного разделения применяют твердые вещества с размером частиц не более 0,1-0,3 мм, для чего перед обогащением производят измельчение твердых веществ.

Флотация является гетерогенным процессом, протекающим на границе раздела трех фаз - твердой, жидкой и газообразной. Поэтому в целях интенсификации процесса осуществляют барботаж воздуха через смесь воды с размолотой породой (пульпу).

Для флотационного обогащения применяются аппараты с воздушным перемешиванием, аналогичные используемому в данной работе, и аппараты с механическим перемешиванием. В результате перемешивания и барботажа на поверхности пульпы образуется слой минерализованной пены с повышенным содержанием полезного компонента. При этом пустая порода оседает на дно аппарата.

Прочность сцепления твердой частицы с поверхностью жидкости характеризуется работой адгезии A :

$$A = \sigma (1 + \cos \theta), \quad (1)$$

где σ - поверхностное натяжение жидкости;

θ - краевой угол смачивания.

Если пленку жидкости представить натянутой на четырехугольную рамку с одной подвижной стороной, то поверхностное натяжение можно представить как силу, действующую на единицу длины подвижной стороны АВ (рис. 2).

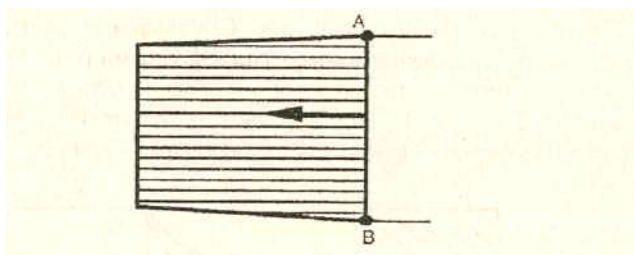


Рис.2

Поверхностное натяжение σ есть сила, приходящаяся на единицу длины подвижной стороны АВ. Под действием силы поверхностного натяжения площадь пленки жидкости сокращается, и сторона АВ рамки смещается влево.

В системе СИ величина имеет размерность:

$$\sigma = \frac{H}{m} = \frac{H \times m}{m^2} = \frac{\text{Дж}}{m^2} \quad (2)$$

Соотношение (2) показывает, что поверхностное натяжение можно рассматривать так же, как удельную свободную поверхностную энергию.

Для осуществления флотационного разделения необходимо снизить работу адгезии полезных компонентов. Из соотношения (1) видны пути достижения этой цели, что осуществляется введением в пульпу особых веществ, так называемых флотореагентов:

1) для снижения поверхностного натяжения воды и получения стабильной пены используются пенообразователи, в качестве которых применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ);

2) для усиления гидрофобности полезных компонентов в пульпу вводятся коллекторы (собиратели), в качестве коллекторов обычно подбираются органические жидкости, которые, сорбируясь на поверхности нужных твердых веществ, делают ее не смачиваемой;

3) для усиления гидрофильности определенных веществ в пульпу вводятся неорганические электролиты, так называемые подавители.

В случае необходимости разделения твердой фазы на несколько фракций, флотацию проводят соответствующее число раз с различными флотореагентами.

Методика эксперимента

Описание установки и объектов изучения

Поперечный разрез лабораторной установки показан на рис.3. Сжатый воздух от компрессора через коллектор 1 и воздушные трубки 2 подается в зазор между перегородками б и обеспечивает циркуляцию пульпы в камере 5. В результате интенсивного перемешивания на поверхности пульпы образуется слой минерализованной пены с повышенным содержанием полезного компонента, которая отводится по желобам 4. Из минерализованной пены после сушки получают концентрат, а пустая порода (так называемые «хвосты») отводится из нижней части циркуляционной камеры.

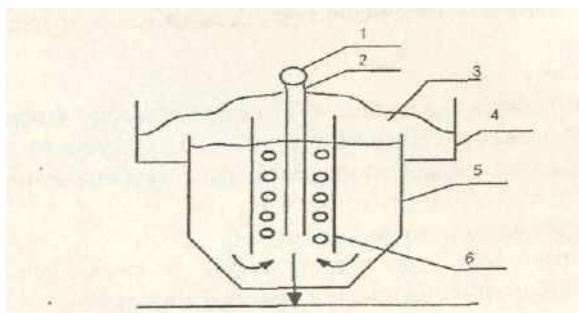


Рис.3. Флотационная установка с пневматическим перемешиванием: 1 - коллектор воздуха, 2 - воздушные трубки, 3 - слой минерализованной пены, 4 - желоб для отвода минерализованной пены, 5 - циркуляционная камера, 6 - перегородки

В данной работе флотации подвергаются:

- 1) природные горючие сланцы;
- 2) сильвинит, т.е. смесь хлоридов калия (ГОСТ 4234-69) и натрия (ГОСТ 4233-66), используемая для получения хлорида натрия. В первом случае в качестве собирателя применяют сланцевую смолу (ТУ-6-УССР-79) в количестве 500 г на 1 т сланца, в качестве пенообразователя - сосновое масло в количестве 200 г на 1 т сланца.

Разделение второй системы можно проводить без флотореагентов в водном растворе, содержащем: KCl - 100 г/дм³, NaCl - 250 г/дм³.

В работе предусмотрено применение при флотации указанных систем и других собирателей (олеиновой кислоты - ГОСТ 10475-63, керосина, соснового масла, крезол - МРТУ 6-09-3829-67, сланцевой смолы) и подбор их оптимальных расходов, обеспечивающих максимальный выход концентрата, который определяется по формуле:

$$X = \frac{m}{m_0} \times 100,$$

где m - масса извлеченного сухого концентрата.

Порядок выполнения работы

- 1) Заполнить циркуляционную камеру водой;
 - 2) Засыпать в циркуляционную камеру определенное количество твердого материала по заданию преподавателя то (определяется с точностью до 0,1 г на весах WS-23, пределы измерения 0-1 кг);
 - 3) Добавить к твердому материалу пенообразователь и другие флотореагенты;
 - 4) Включить компрессор;
 - 5) Через некоторое время, указанное преподавателем, выключить компрессор и собрать пену на фильтр;
 - 6) Высушить фильтр с минерализованной пеной в сушильном шкафу до постоянного веса; температура сушки $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$;
 - 7) Вычислить выход концентрата.
- По заданию преподавателя изучается влияние различных флотореаген-

тов или продолжительности флотации на выход концентрата.

Содержание отчета

Письменный отчет о работе должен содержать: цель, описание методики эксперимента и результаты экспериментальных исследований в виде таблицы.

Количество твердого материала, m_0 , г	Количество флотореа- гента	Продолжи- тельность флотации, τ , мин.	Количество извлеченно- го сухого компонен- та, m , г	Выход кон- центрата, X , %	Погреш- ность изме- рений, δ_x

Погрешность измерений δ_x рассчитывается по формуле

$$\delta_x = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta m_0}{m_0}.$$

По результатам исследования следует сделать вывод по выбору флотореагента и влиянию на выход концентрата флотореагентов и продолжительности флотация.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое обогащение сырья и для чего оно производится?
2. Сущность процесса флотации и ее применение.
3. Физический смысл поверхностного натяжения.
4. Что такое флотореагенты и как они влияют на величину работы адгезии в системе Т-Ж?
5. В каких аппаратах проводится флотационное обогащение?
6. Приемы интенсификации флотации.
7. Что называется выходом концентрата?

Литература

1. Общая химическая технология / Под ред. И.П.Мухленова : В 2т. Т. 1. М: Высшая школа, 1984.
2. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Веренгартен М.Г. Общая химическая технология. М.: Высшая школа, 1991.
3. Соколов, Р.С. Химическая технология: учебное пособие / Р.С. Соколов. -Т.1, 2. -М: ВЛАДОС, 2000.
4. Абалонин Б. Е. Основы химических производств: учеб. / Б. Е. Абалонин, И. М. Кузнецова, Х. Э. Харламниди. - М.: Химия. - 2001. - 472 с.

5. Общая химическая технология и основы промышленной экологии / В.И.Ксензенко [и др.]. – М.: КолосС, 2003. – 328с.

Лабораторная работа № 2

Анализ воды и подготовка ее к использованию в химическом производстве

Цель работы: выбор эффективного метода умягчения воды для использования ее в химико-технологическом процессе.

Основные понятия

Вода обладает универсальными свойствами и является важнейшим компонентом практически всех химико-технологических процессов. Она используется как сырье, в качестве химического реагента, как растворитель, тепло- и хладагент. Из воды получают водород различными способами, водяной пар; вода служит реагентом в производствах минеральных кислот, щелочей и оснований, в производствах органических продуктов -спиртов, уксусного альдегида, фенола, поликапроамида, ацетатов целлюлозы и других многочисленных реакциях. Воду широко применяют в промышленности как дешевый, доступный и неогнеопасный растворитель твердых, жидких и газообразных веществ. Незаменима вода и в электрохимических процессах и производствах.

В промышленности используют главным образом природную воду (атмосферную, поверхностную, подземную). В целях экономии и рационального использования воды во многих производствах для различных нужд применяют так называемую оборотную воду, то есть воду, уже использованную однажды и возвращенную в производственный цикл после соответствующей подготовки.

Требования к воде различного назначения - не только к питьевой или дистиллированной, но и к воде хозяйственной, оросительной, сточной, технологической, определяются соответствующими стандартами - государственными, общесоюзными, отраслевыми, стандартами предприятий или техническими условиями. Пригодность воды для использования в том или ином производстве определяется ее физическими и химическими характеристиками, такими как прозрачность, цвет, запах, температура, общее солесодержание, реакция воды (рН), жесткость, окисляемость.

1. Окисляемость воды – количество кислорода (мг/л), потребное для окисления веществ, присутствующих в ней. Обусловлена наличием органи-

ческих веществ (в незначительной степени – быстроокисляющимися соединениями железа, сероводорода, нитритов). Ее величина используется для косвенной количественной характеристики концентрации органических загрязнений. В артезианских водах окисляемость 1-3 мг/л O_2 ; в речных водах – колеблется в широких пределах, доходя до 60 мг/л O_2 и более.

2. Активная реакция воды, т.е. степень ее кислотности или щелочности. Количественно характеризуется концентрацией водородных ионов или значением pH. Для большинства природных вод величина pH изменяется в пределах 6,5-8,5. На pH воды влияет загрязнение водоема стоками промышленных предприятий. При pH = 7 вода считается нейтральной, при pH < 7 – воду называют кислой, при pH > 7 – щелочной.

3. Жесткость воды – один из важнейших показателей ее качества. Она обусловлена наличием в воде солей кальция и магния. Различают три вида жесткости: временную, постоянную и общую.

Временная (карбонатная или устранимая) жесткость (J_K) обусловлена присутствием в воде бикарбонатов кальция и магния $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$, которые при кипячении переходят в нерастворимые соли и выпадают в виде накипи:



Постоянная (некарбонатная или неустраиваемая) жесткость (J_H) обусловлена содержанием в воде хлоридов, нитратов кальция и магния, остающихся при кипячении в растворенном состоянии.

Сумма временной и постоянной жесткости называется общей жесткостью (J_O).

По общей жесткости (моль/л) природные воды подразделяются на:

- мягкую ($J_O < 2$);
- среднюю ($J_O = 2 \div 10$);
- жесткую ($J_O > 10$).

Для того чтобы поступающая для нужд химических производств природная вода соответствовала тем требованиям, которые установлены регламентами различных технологических процессов, она подвергается операциям водоподготовки - очистке, нейтрализации, дегазации, умягчению, обессоливанию и другим.

Промышленная водоподготовка включает использование механических, химических и физико-химических методов.

1) Механические методы реализуются путем:

- отстаивания и осветления вследствие удаления воды грубодисперсных взвешенных примесей, осаждающихся под действием силы тяжести;
- коагуляции – высокоэффективного процесса разделения гетерогенных систем. Для этого в воду добавляют электролиты $Al_2(SO_4)_3$ и $FeSO_4$, которые, адсорбируясь на поверхности заряженной коллоидной частицы, нейтрализуют ее заряд. В результате – отдельные частицы сливаются и легко выпадают в осадок.

- фильтрации через слои зернистого инертного материала (например, речного или кварцевого песка).

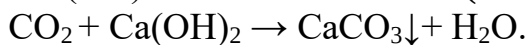
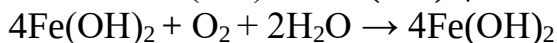
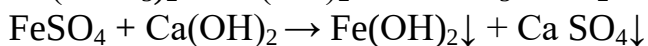
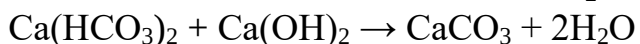
Механические методы являются предварительной стадией подготовки.

2) Химические (реагентные) методы по сути состоят в связывании имеющих в воде ионов кальция и магния при помощи реагентов в нерастворимые и легкоудаляемые вещества. По применяемым реагентам различают следующие химические способы умягчения воды:

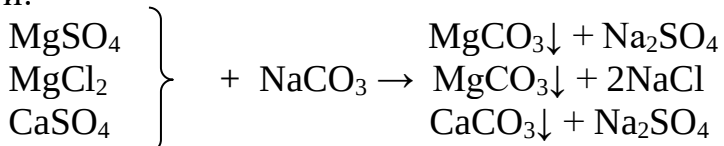
- известковый (реагент – гашеная известь);
- содовый (кальцинированная сода);
- натронный (едкий натр);
- фосфатный (тринатрийфосфат).

Химические способы отличаются высокой эффективностью, дешевизной и легкостью аппаратного оформления. Наиболее эффективным является использование комбинированного способа умягчения, направленного на удаление как временной, так и постоянной жесткости, удаление ионов железа, связывание CO_2 , коагуляция примесей. Таким способом, например, является известково-содовый в сочетании с фосфатным:

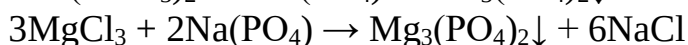
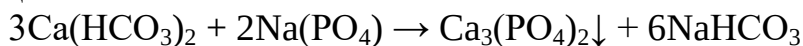
а) обработка гашеной известью для устранения временной жесткости, удаления ионов железа и связывания CO_2 :



б) обработка кальцинированной содой для устранения постоянной жесткости:



в) обработка тринатрийфосфатом для более полного удаления ионов кальция и магния:



Такое сочетание методов приводит к умягчению воды до 0,03-0,3 г-экв/л.

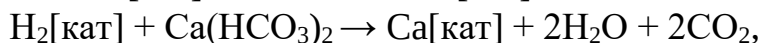
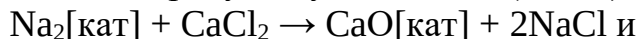
3) Физико-химические методы умягчения воды включают ионообменные и электрохимические:

- метод ионного обмена основан на способности некоторых твердых веществ (ионитов) обменивать свои ионы на ионы солей, растворимых в воде. Иониты подразделяются на *катиониты* (с подвижным катионом) и *аниониты* (с подвижным анионом). Подвижными катионитами чаще всего являются Na^+ - и H^+ -катионы, а анионами – OH^- -анионы.

Например: Na-катионит (алюмосиликат состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в природе глауконит, цеолит, пермутит;

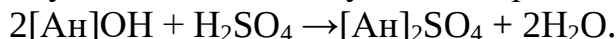
Н-катионит – сульфированный уголь, фенолформальдегидная смола;
ОН-анионит – искусственные смолы (карбамидные).

Процесс очистки воды методом ионного обмена можно представить следующим образом (если в воде присутствуют соли $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCl_2):



где [кат] – неучаствующая в обмене часть молекулы.

Анионный обмен осуществляется следующим образом:



Т.е. процесс умягчения воды методом ионного обмена заключается в предварительном пропускании воды через катионит и удалении катионов кальция и магния и последующим прохождении освобожденной от катионов воды через анионит с удалением анионов (рис. 1).

Регенерация ионитов производится растворами щелочи и кислоты.

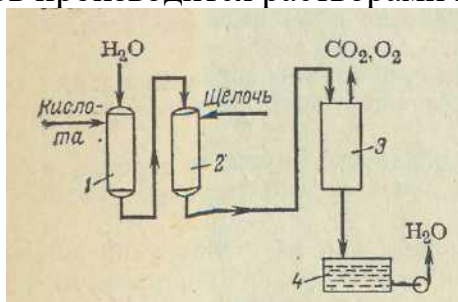


Рис.1. Схема умягчения воды методом ионного обмена:

- 1 - Н-катионитовый фильтр; 2 - ОН-анионитовый фильтр; 3 - дегазатор;
4 - приемник очищенной воды

- электродиализ применяется для опреснения воды, т.е. для удаления растворенных минеральных солей, кислот, щелочей, а также радиоактивных веществ из стоячих вод. Это процесс разделения ионов соединений, проводимый в многокамерном мембранном аппарате (электродиализаторе) под действием постоянного электрического тока. Электродиализатор разделен чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами, образующими чередующиеся камеры. Простейшая конструкция электродиализатора (рис. 2,а) состоит из трех камер, отделенных одна от другой мембранами.

В среднюю камеру заливают раствор, а в боковые, где расположены электроды – чистую воду. Анионы током переносятся в анодное пространство. На аноде выделяется кислород и образуется кислота. Одновременно катионы переносятся в катодное пространство. На катоде выделяется водород и образуется щелочь. По мере прохождения тока концентрация солей в средней камере уменьшается до тех пор, пока не станет близкой к нулю.

За счет диффузии в среднюю камеру поступают ионы H^+ и OH^- , образуя воду. Этот процесс замедляет перенос ионов соли к соответствующим электродам.

При использовании электрохимически активных (ионообменных) диафрагм повышается эффективность процесса и снижается расход электроэнергии. Ионообменные мембраны проницаемы только для ионов, имеющих за-

ряд того же знака, что и у подвижных ионов. В электродиализаторе (рис.2, б) имеется две мембраны. Одна из них анионообменная и пропускает в анодную зону анионы. Другая мембрана - катионообменная расположена со стороны катода и пропускает катионы в катодное пространство.

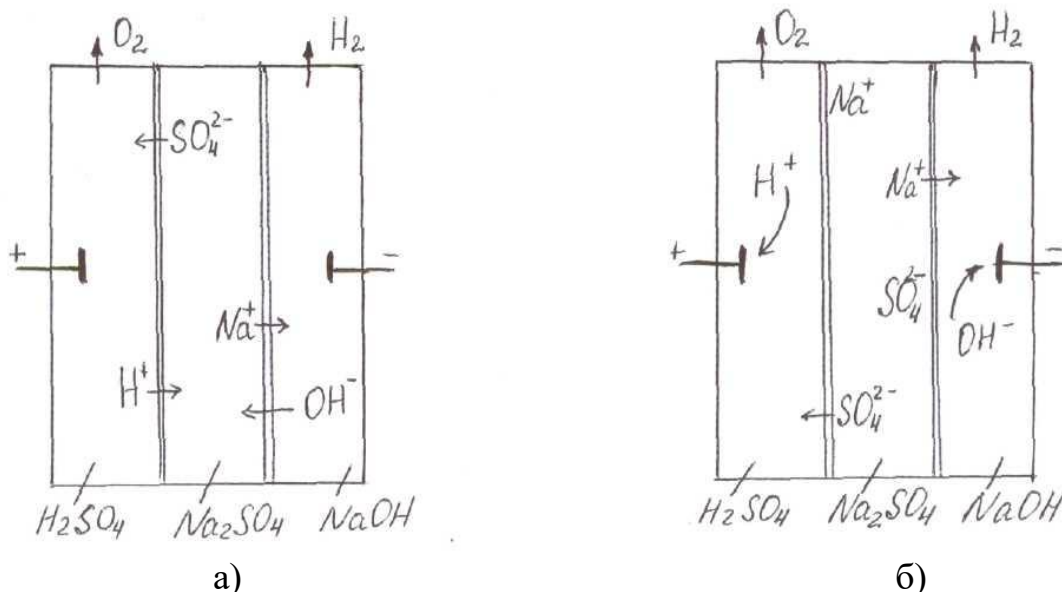


Рис.2. Схемы электродиализаторов с пористыми диафрагмами (а) и ионитовыми мембранами (б)

Обычно электролизеры делают многокамерными (100-200 камер) с чередующимися катионо- и анионопроницаемыми мембранами. Электроды помещают в крайних камерах. В многокамерных аппаратах достигается наибольший выход по току.

Порядок проведения работы

1. Определение температуры воды

В стеклянный стакан емкостью 50 мл налить 25-30 мл воды, данной для анализа. Стакан подвести под закрепленный в штативе термометр. Последний опустить в стакан так, чтобы вода покрыла весь ртутный шарик термометра.

Через 3 минуты снять показания термометра и записать в тетрадь. Точность отсчета температуры не ниже 0,1°C.

Воду в стаканчике использовать для определения реакции воды (пункт 3).

2. Определение общего солесодержания

Взять фарфоровую чашку, тщательно вымыть ее хромовой смесью, сполоснуть сначала водой из-под крана, затем дистиллированной и пометить и сушильный шкаф, нагретый до температуры 150-200 С. Через 30 мин. чашку вынуть из шкафа тигельными щипцами и поместить в эксикатор на 15 мин.

По истечении 15 мин эксикатор открыть, извлечь чашку и взвесить ее на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Результат взвешивания записать в тетрадь.

Налить в чашку 5-7 мл анализируемой воды, взвесить чашку с водой на аналитических весах с той же точностью, записать результат в тетрадь и поставить чашку для выпаривания на плитку.

НЕ ДОВОДИТЬ ДО КИПЕНИЯ!

После испарения всей воды чашку выдержать на горячей плитке 10 мин, затем охладить чашку в эксикаторе и взвесить (в том же порядке, как и для пустой).

Общее солесодержание определить по формуле:

$$S = \frac{m_B - m_{\text{ч}}}{m_C - m_{\text{ч}}} \times 100\%,$$

где m_B - масса чашки после выпаривания воды, г;

m_C - масса чашки с водой до выпаривания, г;

$m_{\text{ч}}$ - масса чистой сухой чашки, г.

3. Определение реакции воды

Реакция воды, т.е. содержание в ней ионов водорода H^+ , оценивается с помощью прибора рН-метра марки рН-340 (или аналогичного ему). Для определения рН анализируемой воды прибор необходимо к работе подготовить, для чего:

1) переключатель прибора «Род работы» установить в положение «рН», переключатель «Размах» - в положение «15рН»;

2) включить прибор в сеть;

3) переключатель «Температура» установить на определенное значение температуры анализируемой воды (п.1);

4) дать прибору прогреться в течение 30 мин.;

5) отвести стаканчик с буферным раствором от электродов. Электроды обмыть окунанием в стаканчик с дистиллированной водой, промокнуть фильтровальной бумагой;

6) поставить на штативный столик рН-метра стаканчик с водой, которая использовалась для определения температуры. Столик подвести под электроды и поднять так, чтобы последние оказались погруженными в воду;

7) переключатель «Размах» установить в положение «3рН», а переключатель диапазонов - на интервал «5-8»;

8) произвести отсчет показаний по верхней шкале прибора, считан, что крайнее левое деление шкалы соответствует значению рН=5, а крайнее правое - значению рН=8. Результат измерения записать в тетрадь;

9) переключатель «Размах» после измерения вернуть в положение «15рН». Выключить прибор из сети;

10) отвести стаканчик с анализируемой водой от электродов, обмыть по-

следние дистиллированной водой, промокнуть фильтрованной бумагой и подвести под электроды стаканчик с буферным раствором.

4. Определение карбонатной жесткости воды

Отмерить цилиндром по 100 см³ воды в три конических колбы емкостью 200 - 250 см³. Добавить в воду 2-3 капли раствора фенолфталеина. При появлении розового окрашивания воду титровать 0,1 Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания содержимого колбы и занести в таблицу 1 объем израсходованной кислоты V_{ϕ} - текущее значение.

Добавить в эту же колбу 2-3 капли раствора метилового оранжевого и продолжить титрование 0,1 Н раствором соляной кислоты до перехода окраски из желтой в розовую. Записать в таблицу 1 общий расход кислоты $V_{общ}$, т.е. расход по фенолфталеину и метилоранжу в сумме.

То же проделать с пробами воды в двух других колбах. Карбонатную жесткость рассчитать по формуле

$$Ж_{\kappa} = \frac{(V_{общ} - V_{\phi}) \times N \times 1000}{V_B}, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

где N_{κ} – нормальность соляной кислоты;

V_B – объем воды, взятой для титрования, см³.

Примечание: для расчета использовать среднее арифметическое $V_{общ}$ и V_{ϕ} из трех параллельных опытов.

5. Определение общей и некарбонатной жесткости воды

В три буферные колбы емкостью 200-250 см³ отмерить по 100 см³ исследуемой воды, добавить в каждую колбу по 5 см³ аммиачного буферного раствора, 5-7 капель индикатора хромового темно-синего, который при наличии в воде ионов кальция и магния окрасит ее в фиолетово-малиновый цвет.

Содержимое каждой колбы титровать 0,05 Н раствором трилона Б до изменения окраски на голубовато-синюю.

Общую жесткость воды рассчитать по формуле:

$$Ж_{общ} = \frac{(V_T - N_E) \times 1000}{V_B}, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

где V_T - объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование, мл;

N_T - нормальность раствора трилона Б;

V_B - объем исследуемой воды, мл.

Примечание: для расчета использовать среднее арифметическое V_T из всех параллельных опытов.

Некарбонатную жесткость воды $Ж_{нк}$ рассчитывают как разность между общей и карбонатной жесткостью:

$$Ж_{НК} = Ж_{общ} - Ж_{\kappa}, \text{ мг-экв/дм}^3,$$

Данные анализов жесткости занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты анализов жесткости воды

Объем пробы воды, V_B	Объем кислоты, см^3				Объем, см^3		Жесткость воды, мг-экв/дм^3	
	по фенолфталеину, V_ϕ		по метилоранжу, $V_{\text{общ}}$		пробы воды, V_B	трилона Б, V_T	общая, $J_{\text{общ}}$	карбонатная, J_K
	текущий	средний	текущий	средний				

Умягчение воды

Известково-содовый метод. Для возможно более полного удаления из воды солей жесткости по известково-содовому методу требуется провести предварительный расчет необходимого количества соды и извести.

Расчет необходимого количества извести в виде водного раствора $V_{\text{изв}}$ проводится исходя из величины карбонатной жесткости по формуле:

$$V_{\text{изв}} = \frac{J_K \times V_B}{1000 \times N_{\text{изв}}}, \text{ см}^3,$$

ГДЕ $N_{\text{изв}}$ - нормальность раствора извести;

V_B - объем воды, взятой для умягчения, см^3 .

Расчет необходимого количества соды в виде водного раствора проводится исходя из величины некарбонатной жесткости по формуле:

$$V_C = \frac{J_{\text{НК}} \times V_B}{1000 \times N_C}, \text{ см}^3,$$

где N_C - нормальность раствора соды.

Провести умягчение воды. Для этого в колбу емкостью 500 см^3 отмерить цилиндром 250 см^3 исследуемой воды, добавить туда рассчитанные объемы извести и соды.

Поместить колбу в кипящую водяную баню, нагреть содержимое колбы до кипения и выдержать в этих условиях 5 мин. Охладить колбу под струей водопроводной воды до комнатной температуры.

Отфильтровать содержимое колбы через плотный складчатый фильтр, отобрать в конические колбы три пробы фильтрата по 75 см^3 и определить общую жесткость воды комплексонометрическим методом (с помощью трилона Б) по методике, описанной выше.

Ионообменный метод. Ионообменный метод умягчения воды заключается в пропускании ее через ионитовые колонки или фильтры.

Провести умягчение воды с помощью катионита, для чего $250\text{-}300 \text{ см}^3$ исследуемой воды медленно фильтровать через колонку с катионитом. При этом фильтрат разделить на три пробы по 75 см^3 и определить для каждой

пробы остаточную общую жесткость комплексонометрическим методом.

Рассчитать степень умягчения воды, достигнутой в каждом методе, и полученные данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты умягчения воды										
Известково-содовый метод						Ионообменный метод				Примечания
Объем пробы воды, $V_B, \text{см}^3$	Расчетное количество извести, $V_{изв}, \text{см}^3$	Расчетное количество соды, $V_C, \text{см}^3$	Объем трилона Б, $V_T, \text{см}^3$	Остаточная общая жесткость воды, мг-экв/дм ³	Степень умягчения воды, %	Объем пробы воды, $V_B, \text{см}^3$	Объем трилона Б, $V_T, \text{см}^3$	Остаточная общая жесткость воды, мг-экв/дм ³	Степень умягчения воды, %	

Вопросы для самопроверки

1. Какую роль играет вода в осуществлении химико-технологических процессов?
2. Перечислите технологические характеристики воды и дайте им определение.
3. Что такое жесткость воды? В чем отличие жесткости временной от жесткости постоянной?
4. Перечислите основные операции промышленной водоподготовки и поясните их назначение.
5. Напишите уравнения химических реакций, используемых для умягчения воды в промышленности.

Литература

1. Общая химическая технология / Под ред. И.П.Мухленова : В 2т. Т. 1. М: Высшая школа, 1984.
2. Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Веренгартен М.Г. Общая химическая технология. М.: Высшая школа, 1991.
3. Соколов, Р.С. Химическая технология: учебное пособие / Р.С. Соколов. -Т.1, 2. -М: ВЛАДОС, 2000.
4. Абалонин Б. Е. Основы химических производств: учеб. / Б. Е. Абалонин, И. М. Кузнецова, Х. Э. Харламниди. - М.: Химия. - 2001. - 472 с.
5. Общая химическая технология и основы промышленной экологии / В.И.Ксензенко [и др.]. – М.: КолосС, 2003. – 328с.

Лабораторная работа № 3

Оценка эффективности работы химического реактора

Цель работы: изучение закономерностей работы реакторов идеального смешения и вытеснения.

Основные понятия

Химический реактор (ХР) – аппарат, в котором осуществляются химические превращения. Для ХР классификации используют:

- фазовый признак (ХР для гомогенных и гетерогенных процессов);
- условия теплообмена (адиабатические реакторы, т.е. такие, в которых температурный режим поддерживается только за счет тепла химической реакции; изотермический реактор – это такой тип реактора, в котором температурный режим поддерживается путем подвода тепла извне или отвода тепла; смешанные реакторы – это такие, в которых температурный режим создается частично за счет тепла химических превращений, а частично за счет подвода тепла извне);

- способ организации процесса (ХР периодического действия, когда все отдельные стадии процесса протекают последовательно в разное время; ХР непрерывного действия, когда все отдельные стадии процесса осуществляются параллельно, одновременно; реакторы полупериодического и полунепрерывного действия характеризуются тем, что сырье поступает в аппарат непрерывно или определенными порциями через равные промежутки времени, а продукты реакции выгружаются периодически);

- гидродинамическую обстановку (ХР смешения – емкостные аппараты с перемешиванием, ХР вытеснения – трубчатые аппараты в виде колонны или трубы).

В теории ХР рассматривают идеальные варианты аппаратов:

- РИС – ХР идеального (полного) смешения;
- РИВ – ХР идеального (полного) вытеснения.

В предлагаемой работе рекомендуется сравнить эффективность работы РИС и РИВ на примере проведения в них реакции омыления этилацетата (ЭА) щелочью:



В работе следует изучить химические превращения в различных типах реакторов и проанализировать модели реакторов с выбором наиболее целесообразной. В связи с изложенным первая часть работы посвящена изучению химического превращения в РИВ, вторая – в РИС и каскаде РИС.

1. Реактор идеального вытеснения

Материальный баланс (математическая модель реактора) идеального

штенения для стационарного режима записывается в виде уравнения

$$\omega \frac{\partial C_a}{\partial H} = U_a \quad (1)$$

где ∂C_a - изменение концентрации основного исходного компонента А, моль/дм³,

ω - линейная скорость потока, м/с;

∂H - изменение высоты (длины) реактора, м;

U_a - скорость реакции, моль/(м³с).

Из уравнения (1) вытекает условие стационарности процесса: скорость поступления вещества А равна скорости расходования этого вещества по химической реакции.

Для расчета реактора идеального вытеснения используют уравнение выведенное на основании материального баланса реактора:

$$\tau = C_{ao} \int_0^{X_a} \frac{dX_a}{U_a} \quad (2)$$

τ – время пребывания основного реагента А;

C_{ao} - начальная концентрация компонента, моль/дм³;

X_a - степень превращения.

В режиме, близком к идеальному вытеснению, работают проточные трубчатые реакторы с отношением длины реактора к диаметру, большим 10.

1.1. Описание установки и методика проведения работы

Исходные реагенты подаются в реактор 17 (рис. 1) из термостатов 8 (0,1Н NaOH) и 9 (0,1Н этилацетат). В термостатах при помощи регуляторов поддерживается уровень жидкости. Для задания и регулировки температуры в термостатах 8 и 9 установлены контактные термометры 15 и 16. Реагенты поступают в реактор самотеком.

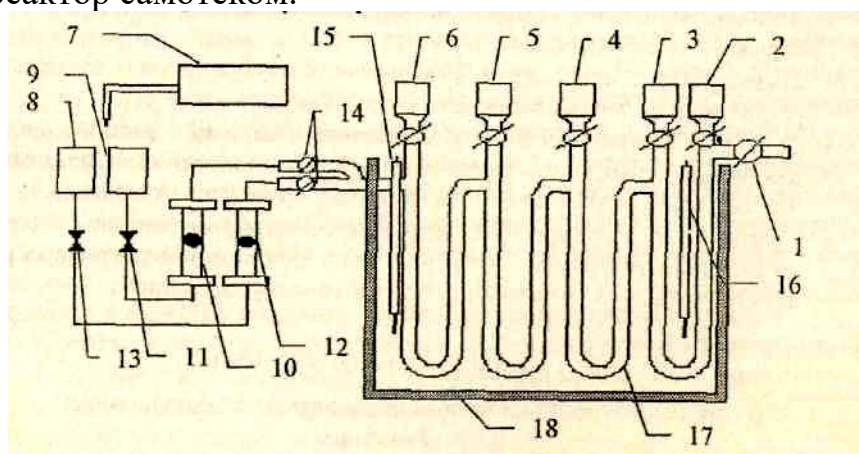


Рис. 1. Схема установки для анализа эффективности работы реактора вытеснения

Необходимая скорость подачи реагентов в реактор регулируется вентилями 11 и 13 и фиксируется при помощи ротаметров 10 и 12 (или объемным методом).

Реагенты с заданным расходом подаются в реактор вытеснения 17, представляющий собой трубку диаметром 8 мм. Для ввода реагентов в реактор и вывода их из него имеются краны 14. Для поддержания постоянной температуры с точностью 2^0 в ректоре он помещен в термостат 18, через который циркулирует теплоноситель с заданной температурой.

Реагенты - раствор NaOH и раствор этилацетата - реагируют по мере прохождения через реактор. Для измерения концентрации NaOH по длине реактора установлены ячейки 2-6 с кранами. Концентрация NaOH определяется по изменению электропроводности смеси. Измерения производят при помощи реохордного моста Р-38 (7), что позволяет непрерывно контролировать ход процесса без отбора проб.

Работа выполняется в следующем порядке. При закрытых вентилях 11 и 13 заливают в термостаты 8 и 9 исходные реагенты: раствор NaOH и раствор этилацетата. Включают термостаты 8 и 9 и устанавливают при помощи контактных термометров 15 и 16 заданную температуру (в диапазоне $20-40^0\text{C}$). Такую же температуру устанавливают в термостате 18. Закрывают кран 1 и краны ячеек 2-5 и открывают кран 14 и кран ячейки 6. Вентилем 11 устанавливают по ротаметру 10 необходимый расход раствора NaOH, а вентилем 13 по ротаметру 12 - этилацетат. После установления температуры в системе производят замер электропроводности в последней ячейке 6 с помощью реохордного моста Р-38 (7). Замер повторяют несколько раз через 2-3 мин до получения постоянной величины электропроводности, свидетельствующей об установлении режима в реакторе. Затем измеряют электропроводность в следующей ячейке. Для этого сначала открывают кран на ячейке 5, только потом закрывают кран на ячейке 6, а не наоборот, чтобы не нарушить режим движения жидкости в реакторе. Аналогично измеряют электропроводность во всех ячейках. В каждой ячейке замер повторяют 2-3 раза. Чередование ячеек в процессе измерения может быть любым.

Начальные концентрации щелочи и этилацетата на входе в реактор рассчитывают, исходя из концентраций реагентов в исходных растворах и соотношения их объемных расходов.

Объем реактора рассчитывают по формуле

$$V = \frac{0,785d^2l}{1000} \quad (4)$$

где d - внутренний диаметр трубки реактора, равный 0,8 см;

l - длина трубки реактора (измеряется перед опытом), см.

Время пребывания реагентов в реакторе определяется по формуле:

$$\tau = \frac{V}{v} \quad (5)$$

где V - объем реактора, дм^3 ;

v - объемный расход реагентов, $\text{дм}^3/\text{ч}$.

Концентрацию NaOH определяют по калибровочным кривым зависимости сопротивления от концентрации. Концентрация этилацетата рассчитывается с учетом его начальной концентрации и его количества, вступившего в

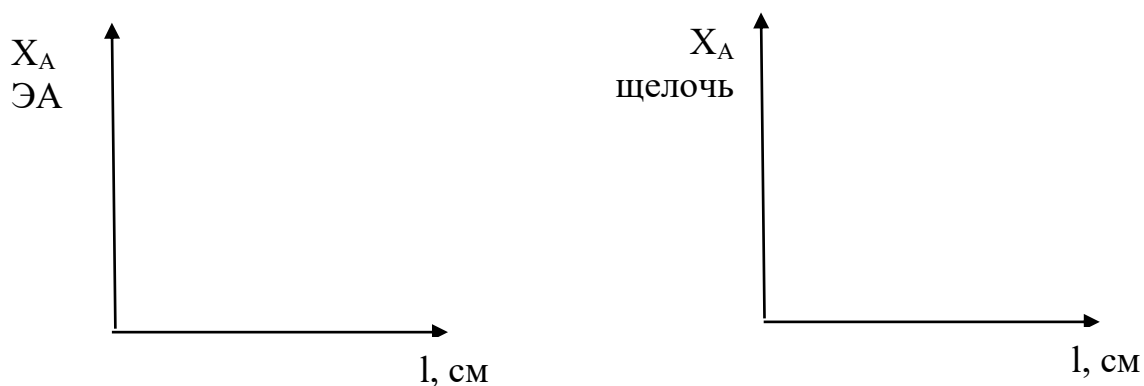
реакцию. Последнее эквивалентно количеству прореагировавшей NaOH, которое можно определить по начальной и текущей концентрации NaOH. Степень превращения реагента X_A определяют по формуле:

$$X_A = \frac{(C_{AO} - C_A)}{C_{AO}} \quad (6)$$

При проведении работы выполняют одно из следующих заданий:

изучают зависимости основных параметров процесса (концентрации и степени превращения NaOH и этилацетата по длине реактора) от различных режимов;

определяют влияние объемной скорости подачи реагентов, соотношения объемных расходов NaOH и этилацетата (т.е. начальных концентраций NaOH и этилацетата) и температуры на показатели процесса и по полученным данным строят графики.



Объемный расход реагентов может иметь значения 3, 4, 5, 6, 7 л/ч; отношение объемного расхода щелочи и этилацетата 1:2; 1:3; 1:4; 1:5, температура 20, 25, 30, 35, 40°C. Концентрация реагентов в исходных растворах (в баках) составляет для NaOH 0,1 моль/л, для этилацетата 0,1 моль/л.

Моделируют процесс омыления этилацетата в реакторе идеального вытеснения. При составлении математического описания процесса принимают уравнение для идеального реактора (2) и кинетическое уравнение

$$U_A = k C_{NaOH} C_{ЭА} \quad (7)$$

При сильном разбавлении реакцию омыления этилацетата можно считать практически необратимой. Значение константы скорости k получают при работе на периодическом реакторе или берут из литературных источников.

Определяют степень отклонения от идеальности при фиксированной степени превращения X_A , сравнивая время пребывания τ реагентов в реальном реакторе, рассчитанное по экспериментальным данным, со временем $\tau_{ид}$ пребывания в идеальном реакторе, рассчитанном теоретически по модели на ЭВМ. Строят зависимость степени отклонения от идеальности $\tau/\tau_{ид}$ от линейной скорости прохождения реагентов через реактор ω для фиксированной степени превращения X_A . Рассчитывают теоретически по модели на ЭВМ концентрации и степени превращения NaOH и этилацетата по длине реактора идеального вытеснения при известных температурах, начальных концентра-

циях NaOH и этилацетата и объемном расходе реагентов. Сравнивают теоретическое распределение параметров по длине реактора с экспериментальным.

При оформлении отчета о работе следует начертить схему установки. Исходные, полученные и рассчитанные данные сводят в таблицу 1 по образцу:

Расход 0,1 NNaOH, дм³/ч

Расход 0,1 N этилацетата, дм³/ч

Общий расход реагентов, дм³/ч

Начальная концентрация щелочи на входе в реактор, моль/дм³

Начальная концентрация этилацетата на входе в реактор, моль/дм³

Температура опыта, °C\

Таблица 1

Расстояние от входа в реактор (от точки смешения реагентов до точки замера), см	Объем части реактора от входа в реактор до точки замера, дм ³	Время пребывания реагента в реакторе, τ , ч	Концентрация в растворе моль/дм ³		Степень превращения, X, %	
			NaOH	ЭА	NaOH	ЭА

В зависимости от конкретного задания строят графики изменения концентрации NaOH, этилацетата, степени превращения NaOH и этилацетата по длине реактора, а также зависимость степени отклонения от идеальности $\tau/\tau_{ид}$ от степени превращения реагентов или объемного расхода их. На основании полученных результатов делают выводы о выборе оптимальных условий ведения процесса.

2. Реактор идеального смешения

Для периодического реактора характерна единовременная загрузка реагентов в аппарат. Концентрация реагентов изменяется во времени. Однако благодаря интенсивному перемешиванию концентрация одинакова во всех точках реактора в данный момент времени. Реагенты пребывают в реакторе до тех пор, пока не будет достигнута заданная степень превращения их, после чего аппарат разгружают, затем вновь заполняют реагентами и цикл повторяют. В периодическом реакторе продолжительность реакции можно измерить непосредственно (по часам), т.к. параметры процесса изменяются во времени. Для расчета продолжительности процесса в периодическом реакторе используют уравнение

$$\tau = C_{ao} \int_0^{X_a} \frac{dX_a}{-U_a} \quad \text{или} \quad \tau = \int_{C_{ao}}^{C_a} \frac{dC_a}{-U_a} \quad (8)$$

Зная или задаваясь тремя величинами, входящими в уравнение (8), всегда можно рассчитать четвертую.

В этой части работы решают следующие задачи:

- ♦ Применение периодического реактора для исследования кинетики реакций.
- ♦ Использование кинетических закономерностей химических реакций для выбора и расчета реакторов.
- ♦ Изучение влияния гидродинамического режима в реакторе на показатели процесса.

2.1. Описание установки и методика проведения работы

Реактор (рис.2) представляет собой цилиндрический стеклянный сосуд 3, снабженный мешалкой 1 и помещенный в другой сосуд 4, служащий термостатом. Для обеспечения заданной температуры в рубашку между сосудами 3 и 4 непрерывно поступает из термостата вода заданной температуры. Температура реактора устанавливается при помощи контактного термометра.

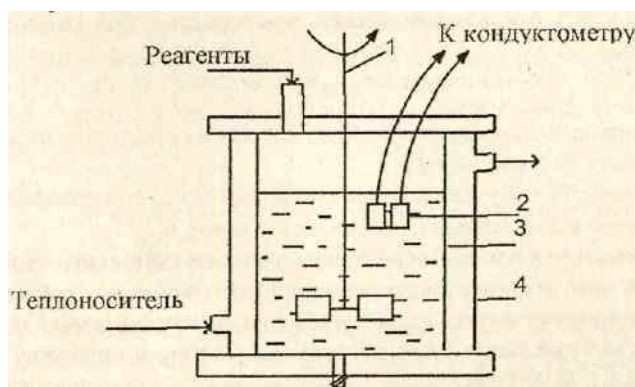


Рис.2. Схема реактора полного смешения периодического действия

Реагенты: 0,1N раствор амилацетата и 0,1N раствор NaOH загружают в реактор через отверстие в крышке реактора. По мере протекания реакции концентрация NaOH снижается. Изменение концентрации NaOH во времени измеряют реохордным мостом Р-38 по электропроводности реакционной массы. С уменьшением концентрации щелочи сопротивление раствора растет. По величине сопротивления определяют концентрацию щелочи в различные моменты времени и на основании полученных данных производят анализ работы периодического реактора.

Работа выполняется в следующем порядке: включают термостат 4. Устанавливают контактным термометром заданную температуру. Заливают в реактор через воронку необходимое количество 0,1N этилацетата и включают мешалку 1. Подготавливают мост Р-38 к проведению замеров и помещают в реактор электроды 2. Быстро заливают в реактор требуемое количество 0,1N NaOH. Одновременно с началом слива реагентов включают секундомер. Замеряют сопротивление реакционной массы кондуктометром. Четыре-пять первых измерений проводят через каждые 30-40 с, следующие - через 1 мин., затем несколько измерений через 2 мин. При проведении работы выполняют одно из следующих заданий: определяют изменение концентрации и степени

превращения NaOH и этилацетата во времени при заданной температуре (20, 30 и 40°C) и определяют влияние температуры на скорость омыления этилацетата. Исходные растворы: 0,1 Н этилацетата; 0,1 Н NaOH. Опыты проводят при отношениях объемов щелочи к этилацетату 1:2, 1:3, 1:4, 1:5. Общий объем реагентов 1 дм³. Строят кинетические кривые. Используя полученные результаты, определяют константу скорости и порядок реакции омыления этилацетата щелочью. Рассчитывают энергию активации реакции. Определяют при одной из заданных температур (20, 30 или 40°C) зависимость производительности реактора от степени превращения NaOH. Степень превращения NaOH 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7. Производительность реактора рассчитывают по формуле

$$G = m / (\tau + \tau_{всп}) \quad (9)$$

где G - производительность реактора по одному из продуктов реакции (ацетату натрия), моль/ч;

m - количество полученного ацетата натрия за одну операцию, моль;

τ - рабочее время (время проведения реакции), ч;

$\tau_{всп}$ - вспомогательное время (время на непроизводительные операции: загрузка, выгрузка реагентов, пуск и остановка реактора), ч.

При оформлении отчета о работе следует начертить схему установки. Исходные, полученные и рассчитанные данные свести в таблицу 2.

Объем 0,1Н NaOH, дм³

Объем 0,1Н этилацетата, дм³

Общий объем раствора, дм³

Начальная концентрация щелочи в реакторе, моль/дм³

Начальная концентрация этилацетата, моль/дм³

Температура опыта, °С

Таблица 2

Время начала опыта τ , с	Сопротивление раствора R , Ом	Текущая концентрация раствора, моль/дм ³		Степень превращения		Скорость реакции U , моль/(дм ³ × мин)	Константа скорости реакции k , дм ³ (моль×мин)
		NaOH	ЭА	NaOH	ЭА		

Строят графики изменения концентрации и степени превращения NaOH и этилацетата во времени. На основании полученных результатов делают выводы об условиях эффективного использования периодического реактора.

3. Каскад реакторов идеального смешения

При стационарном режиме все параметры в реакторе идеального смешения постоянны во времени и в пространстве (во всем объеме). Для расчета реактора полного смешения используют характеристическое уравнение, вы-

веденное на основе материального баланса реактора:

$$\tau = \frac{C_{ao} - X_a}{-U_a} \quad (10)$$

или

$$\tau = \frac{C_{ao} - C_a}{-U_a} \quad (11)$$

В единичном реакторе полного смешения концентрация исходных реагентов невелика, т.к. мгновенно падает до конечного значения. Поэтому в нем малы скорость химического превращения и степень превращения. Для повышения этих показателей применяют ряд последовательно расположенных реакторов полного смешения - каскад реакторов. Концентрация исходных реагентов C_A в такой системе изменяется ступенчато. При этом изменение концентрации происходит мгновенно при входе реакционной смеси в каждый реактор. Для каждого отдельно взятого реактора каскада справедливо уравнение для единичного реактора полного смешения, записанное для n -го реактора:

$$\tau = \frac{(C_{an-1} - C_{an})}{-U_{an}} \quad (12)$$

Концентрация C_A в каскаде реакторов выше, чем в единичном реакторе смешения, и приближается с увеличением числа реакторов по величине к концентрации в реакторе вытеснения. Поэтому для достижения одной и той же степени превращения X_A с увеличением числа реакторов в каскаде уменьшается общий объем системы (при постоянном объеме каскада с увеличением числа реакторов растет X_A).

Для расчета числа реакторов в каскаде, необходимых для получения заданной X_A , широко применяется графический метод, основанный на решении системы двух уравнений для каждого реактора каскада. Одно из них - кинетическое уравнение реакции

$$U_{an} = -k\Delta C_{an} \quad (13)$$

Другим является уравнение реактора полного смешения

$$U_{an} = (-1/\tau_n)C_{an} + C_{an-1}/\tau_n \quad (14)$$

Уравнение (14) показывает, что зависимость между концентрацией компонента А и скоростью его превращения в реакторе полного смешения линейна. Графически уравнение (14) представляет собой прямую с тангенсом угла наклона, равным $-1/\tau_n$.

Для определения числа реакторов в каскаде (рис.3) строят кинетическую зависимость - U_A от C_A (13). Затем от начальной точки со значением C_{AO} проводят прямую $tg\alpha = -1/\tau_n$, графически отображающую уравнение (14).

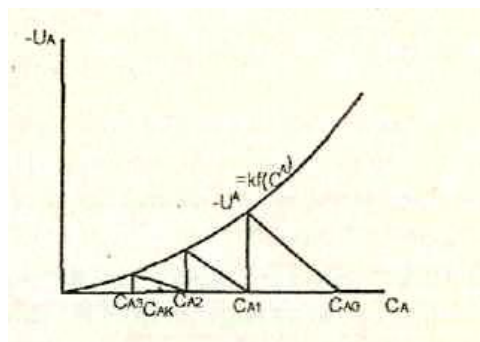


Рис.3. Определение числа реакторов в каскаде

Точка пересечения кривой (13) и прямой (14) соответствует значению концентрации в первом реакторе. Затем определяют концентрацию во втором реакторе, учитывая, что концентрация в первом реакторе является входной для второго. Поскольку τ_n в каскаде одинаковы, все прямые, определяемые уравнением (14), параллельны. Операции повторяют до тех пор, пока в очередном реакторе не будет получена конечная концентрация.

3.1. Описание установки и методика проведения работы

Исходные реагенты подаются в реактор 14 или каскад реакторов 11-14 (рис.4) из термостата 5 (для 0,1Н NaOH) и 6 (для 0,1Н этилацетата). В термостатах при помощи регулировки поддерживается постоянный уровень жидкости. Для задания и регулировки температуры в термостатах 5-6 установлены контактные термометры. Реагенты поступают в реакторы 1-14 самотеком. Необходимая скорость подачи реагентов в реактор регулируется вентилями 1 и 2 и фиксируется ротаметрами 3 и 4. Реагенты с заданным расходом подаются в систему реакторов. Для ввода реагентов в реактор и вывода из него предусмотрены краны 8, 10, 15 и 16. Чтобы поддержать постоянную температуру в реакторе, его помещают в рубашку, по которой циркулирует теплоноситель с заданной температурой.

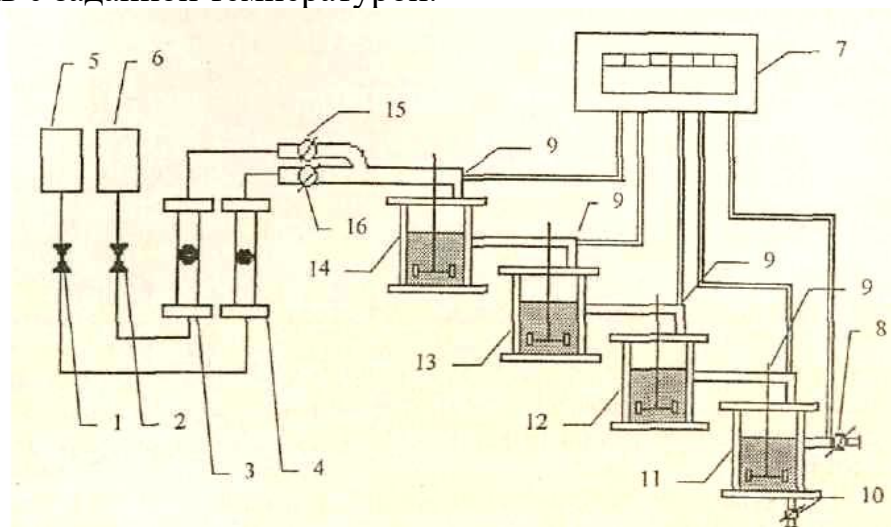


Рис. 4. Схема установки для анализа эффективности работы каскада реакторов смешения

Реагенты - раствор NaOH и раствор этилацетата - реагируют по мере прохождения через каскад реакторов. Для определения концентрации NaOH между реакторами установлены ячейки с электродами 9 для измерения концентрации NaOH по изменению электропроводности смеси при помощи прибора КСМ-4.

Работа выполняется в следующем порядке: при закрытых вентилях 15, 16 и 8 заливают в термостаты 5 и 6 исходные реагенты: раствор NaOH и раствор этилацетата. Включают термостаты 5 и 6 и устанавливают при помощи контактных термометров заданную температуру. Закрывают кран 10 и открывают краны 15, 16 и 8. Вентилем 1 устанавливают по ротаметру 3 необходимый расход раствора NaOH, а вентилем 2 по ротаметру 4 - расход этилацетата. По показаниям КСМ-4 во всех реакторах каскада замеряют сопротивление, по которому определяют концентрацию NaOH в реакционной смеси. На основании полученных данных производят анализ работы как отдельного проточного реактора смешения, так и каскада таких реакторов.

Время пребывания реагентов определяется по формуле (5). Концентрацию этилацетата рассчитывают по начальному содержанию и количеству этилацетата, вступившего в реакцию и эквивалентного количеству прореагировавшей NaOH. Степень превращения реагента X_A определяют по формуле (6).

При проведении работы выполняют одно из следующих заданий; определяют изменения концентрации и степени превращения этилацетата и NaOH в единичном реакторе идеального смешения и в каскаде реакторов. При проведении опытов изменяют значения следующих параметров:

- 1) объемного расхода реагентов v (от 3 до 7 л/ч);
- 2) отношение объемного расхода едкого натра к расходу этилацетата $v_{NaOH} : v_{ЭА}$ (от 1:2 до 1:5);
- 3) температуру (20-40°C).

Концентрации исходных реагентов: 0,1N раствор NaOH и 0,1 N раствор этилацетата.

Строят зависимости изменения основных параметров процесса - концентрации и степени превращения NaOH и этилацетата по объему единичного реактора полного смешения и каскада реакторов. Определяют влияние скорости подачи реагентов, соотношения расходов NaOH и этилацетата и температуры на показатели процесса. Не меняя времени пребывания, проводят реакцию в одних и тех же условиях, но изменяя число реакторов в системе от одного до четырех. (Сохранение постоянного времени пребывания при увеличении числа реакторов осуществляют увеличением расхода реагентов). Делают выводы о влиянии числа реакторов в каскаде на показатели процесса. Моделируют процесс омыления этилацетата в единичном реакторе идеального смешения и каскаде реакторов. При составлении математического описания принимают уравнение для идеального реактора (12) и кинетическое уравнение (7). Значения константы скорости получают при работе на периодическом реакторе (см. работу «Периодический реактор идеального смешения») или берут из справочной литературы.

Определяют степень отклонения от идеальности при фиксированной степени превращения X_A , сравнивая время пребывания в реальном реакторе τ , рассчитанном по экспериментальным данным, со временем пребывания в идеальном реакторе $\tau_{ид}$, рассчитанным теоретически по модели на ЭВМ. Сравнивают теоретическое распределение по модели на ЭВМ с полученным экспериментально.

При оформлении отчета о работе следует начертить схему установки: исходные, полученные экспериментально и рассчитанные данные свести в таблицу 3 по образцу:

Таблица 3

Номер реактора	Объем n реакторов	Время пребывания в системе из n реакторов τ , мин	Концентрация в растворе, моль/дм ³		Степень превращения	
			NaOH	ЭА	NaOH	ЭА

Строят графики изменения концентрации NaOH, этилацетата, степени превращения NaOH и этилацетата от объема единичного реактора и каскада реакторов. Требования к масштабу: C_{NaOH} и $C_{ЭА}$ - 0,01Н в 1см, V - 0,05дм³ в 1см; X_A - 10% в 1см, v - 1 л/ч в 1см; τ - 30мин в 1см.

Приводят графические зависимости степени отклонения от идеальности $\tau/\tau_{ид}$ от степени превращения реагентов и объемного расхода их.

На основании полученных результатов делают выводы о выборе оптимальных условий ведения процесса.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятия «химический реактор».
2. Какие требования предъявляются к химическим реакторам?
3. Какова классификация химических реакторов?
4. Сравните реакторы идеального вытеснения и идеального смешения.
5. Для каких целей применяется каскад реакторов?

Литература

1. Закгейм А.Ю. Общая химическая технология. Введение в моделирование химико-технологических процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Закгейм А.Ю.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, 2012.— 304 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9103>.— ЭБС «IPRbooks».
2. Луценко О.В. Технологические процессы, производства и оборудование [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Луценко О.В.— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012.— 90 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28408>.— ЭБС «IPRbooks».

3. Корс Л.Г. Некоторые производственные задачи в химии и химической технологии [Электронный ресурс]: учебно-практическое пособие/ Корс Л.Г., Корс Н.В.— Электрон. текстовые данные.— Калининград: Российский государственный университет им. Иммануила Канта, 2009.— 67 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23806>. — ЭБС «IPRbooks».

4. Игнатенков В.И. Примеры и задачи по общей химической технологии / В.И.Игнатенков, В.С.Бесков. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. - 198 с.

5. Москвичев Ю.А. Теоретические основы химической технологии / Ю.А.Москвичев, А.К.Григорьев, О.С.Павлов. – М.: Академия, 2005. – 272с.

6. Общая химическая технология / Под ред. В.И.Ксензенко. – М.: КолосС, 2003. - 328 с.

7. Абалонин Б.Е. Основы химических производств / Б.Е.Абалонин, И.М.Кузнецова, Х.Э.Харлампиди. - М.: Химия, 2001. – 472 с.

8. Соколов Р.С. Химическая технология / Р.С.Соколов. - М.: Центр Влос, 2000. – в 2 томах: Т.1, 368с. (10 экз.); Т.2, 448с.

9. <http://techn.sstu.ru/new/SubjectFGOS/Default.aspx?kod=188>

Содержание

Введение	2
Лабораторная работа №1. Концентрирование твердого сырья флотационным способом	3
Лабораторная работа №2. Анализ воды и подготовка ее к использованию в химическом производстве	7
Лабораторная работа №3. Оценка эффективности работы химического реактора	14