



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»

Кафедра химической технологии и промышленной экологии

Изучение процесса адсорбции на стационарном слое адсорбента

Методические указания к лабораторной работе



Самара 2014

Печатается по решению методического совета нефтетехнологического факультета
УДК 66.02

Изучение процесса адсорбции на стационарном слое адсорбента:
Метод. указ. / Сост. В.В. Филиппов. – Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2014. 27 с.: ил. 10.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения следующих **направлений бакалавриата:**

- 151000 Технологические машины и оборудование (профиль «Оборудование нефтегазопереработки», по курсу – Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии);
- 240100 Химическая технология (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии);
- 240700 Биотехнология (по курсу – Процессы и аппараты биотехнологии);
- 260100 Продукты питания из растительного сырья (по курсу – Процессы и аппараты пищевых производств);
- 241000 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии);
- **и специалитета:** 240300 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий (по курсу – Процессы и аппараты химической технологии).

Рецензент канд. техн. наук *Н.Г. Кац*

На первой странице фото адсорбционной установки для получения азота высокой чистоты.

© В.В. Филиппов, составление, 2014
© Самарский государственный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Термины и определения

Адсорбцией называется избирательное поглощение одного или нескольких компонентов из смеси газов, паров или жидкостей твёрдыми пористыми телами.

Твердое вещество, на поверхности и в порах которого происходит концентрирование поглощаемого вещества, называется *адсорбентом*. Поглощаемое вещество (целевой компонент), находящийся вне пор адсорбента, называется *адсорбтивом*, а после его перехода в поры – *адсорбатом*.

Применение адсорбции

1. Наиболее важная задача адсорбции – *селективное поглощение* компонентов из газов и жидкостей. Эта задача, в свою очередь, может быть разделена на две подгруппы.

К первой подгруппе отнесем задачи *очистки основного (целевого) компонента от ненужных или вредных сопутствующих компонентов*, т.е. удаления этих компонентов. Это многочисленные процессы очистки, осушки, поглощения вредных примесей, запахов (как дурных, так и приятных¹) и т.д. К этой же группе относится довольно новое перспективное направление медицинского использования адсорбции и адсорбентов для очистки крови (*гемосорбция*), лимфы (*лимфосорбция*), плазмы (*плазмосорбция*). Сюда же примыкают очистка питьевой воды, промышленных стоков и газовых выбросов, спирта, сахара, регулирование качества пива, адсорбенты в сигаретных фильтрах и многое-многое другое.

Ко второй подгруппе отнесем задачи *поглощения ценного компонента с последующим его выделением* в концентрированном или

¹ Вам нравится запах свежемолотого кофе? А вы готовы нюхать его день и ночь?

в чистом виде. Это многочисленные задачи *рекуперации*, т.е. возврата в производство летучих растворителей, выделяющихся при сушке окрашенных изделий, извлечение ценных компонентов из морской воды или продуктов гидродобычи с подземной экстракцией ценных компонентов. Кстати, это один из способов добычи золота.

2. Использование адсорбции для задач *хранения*. Способность адсорбентов поглощать различные вещества в довольно больших количествах может быть использована и для задач *хранения* различных компонентов *в адсорбированном виде*. Способность аккумулировать, а затем постепенно отдавать – это вообще распространенное свойство адсорбции и адсорбентов.

3. **Адсорбенты как носители** и диспергаторы. Адсорбенты широко используются в катализе в качестве *носителей катализаторов*, обеспечивающих *формирование и стабилизацию* высокой дисперсности нанесенных активных компонентов катализатора. Такие системы являются, по сути, дисперсными системами типа твёрдое – твёрдое, где носитель выполняет роль дисперсионной среды.

4. **Адсорбенты в энергетике**. В последнее десятилетие стали уделять внимание еще одной особенности адсорбции и адсорбентов – *экзотермичности* адсорбции и *эндотермичности* десорбции. На основе этих эффектов разрабатываются многочисленные *адсорбционные тепловые машины*, необходимость в которых обусловлена непрерывно растущей стоимостью энергии, ужесточающимися экологическими требованиями, а также поиском новых портативных и экологически безопасных устройств для получения тепла или холода. В этом плане любой адсорбер можно рассматривать как тепловую машину, выделяющую тепло при адсорбции и поглощающую тепло при десорбции.

5. **Метод PSA** (*pressure swing adsorption*, или, по-русски, – КБА – короткоцикловая безнагревная адсорбция) – новый прогрессив-

ный метод разделения газов, в том числе воздуха на азот и кислород. В настоящее время кислород и азот широко используется во многих производственных процессах. Потребители этих газов вынуждены приобретать их в газообразном или жидком виде у сторонних поставщиков, что вызывает зависимость от производителя, завышенные цены, возможное низкое качество газа. Самое верное решение этой проблемы – приобрести специализированное воздуходелительное оборудование и наладить самостоятельное производство газа из сжатого воздуха. Для этого и предназначены установки КБА. На первой странице обложки показана установка получения азота высокой степени чистоты, разработанная и выпускаемая российской научно-производственной компанией «Грасис».

Теория адсорбции

Адсорбция происходит на поверхности пор, где ненасыщенные поверхностные силы твердого вещества взаимодействуют с силовыми полями поглощаемых молекул. В результате притяжения адсорбтива в порах адсорбента образуется «плёнка», в которой сорбированное вещество находится в сжатом или конденсированном состоянии. В зависимости от природы сил взаимного притяжения различают физическую и химическую адсорбции. Физическая адсорбция обусловлена действием сил Ван-дер-Ваальса. При химической адсорбции протекают химические реакции на поверхности адсорбента.

В качестве адсорбентов применяются пористые вещества с большой удельной поверхностью, величину которой обычно относят к единице массы адсорбента. В зависимости от диаметра поры условно делят на *макропоры* (более 2×10^{-7} м), *переходные поры* ($10^{-7} - 10^{-9}$ м) и *микропоры* (менее 10^{-9} м).

Величина удельной поверхности пор также изменяется в широких пределах:

- активная окись алюминия – $180\div 200$ м²/г;
- силикагели – $400\div 770$ м²/г;
- активные угли – $600\div 1700$ м²/г.

Поглотительная или адсорбционная способность адсорбента (*активность* адсорбента) характеризуется количеством адсорбтива, которое может поглотить единица массы или объема адсорбента.

Количество вещества, поглощенное единицей массы или объёма адсорбента к моменту достижения равновесия фаз в *статических* условиях, называется *равновесной статической активностью* (ёмкостью) адсорбента или просто *статической активностью* и обозначается a_c^* .

Величина статической активности адсорбента a_c^* зависит:

1. от того, какое вещество поглощает, т.е. от природы адсорбента (есть вещества с высокой активностью, а есть с невысокой);
2. от того, какое вещество поглощается, т.е. от природы адсорбтива (некоторые вещества поглощать довольно просто, а некоторые – проблематично);
3. от концентрации поглощаемого вещества c в газовой (жидкой) фазе;
4. от температуры – если она высокая, то энергия молекул поглощаемого вещества тоже высокая и поглотить его трудно;
5. от давления, если идёт поглощение компонента газовой фазы. Увеличение давления «загоняет» молекулы целевого компонента в поры поглотителя.

Возьмём какой-то определённый адсорбент и какое-то определённое вещество и рассмотрим влияние температуры T и концентрации c .

Экспериментально установлено, что активность зависит и от температуры, и от концентрации адсорбтива в газе

$$a_c^* = f(T, c) \quad (1)$$

где a_c^* – статическая активность, $\frac{\text{кг адсорбата}}{\text{м}^3 \text{ адсорбента}}$ или

$\frac{\text{кг адсорбата}}{\text{кг адсорбента}}$; c – концентрация адсорбтива в газовой (жидкой) фазе.

Мы можем легко заменить концентрацию c на парциальное давление p целевого компонента в газовой смеси (вспомним закон Дальтона).

Можно исключить температуру из числа переменных, сделав её постоянной ($T = \text{const}$). Тогда получится зависимость статической активности только от концентрации или только от парциального давления

$$a_c^* = f(c), \quad (2)$$

$$a_c^* = f(p). \quad (3)$$

Зависимости (2) и (3) получили название **изотерм адсорбции**. Они описывают в общем виде равновесие между твёрдой и газовой фазами. Вид этих изотерм может быть самым различным (рис. 1). Определяют их, как правило, экспериментально, но существуют и расчётные методы.

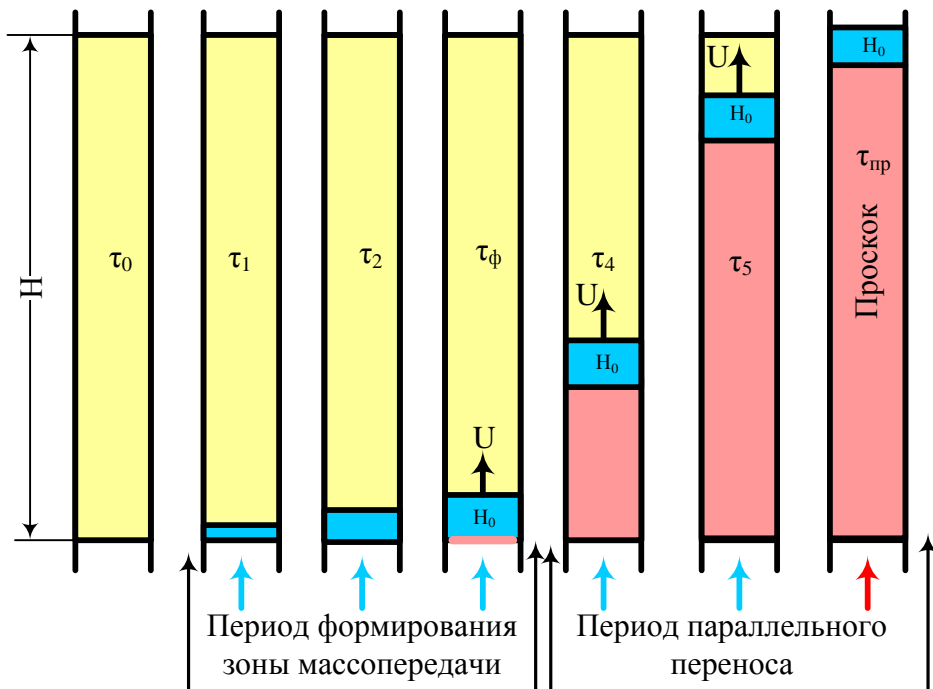
При адсорбции поглощаемое вещество переходит из газа в поры адсорбента. Это напоминает процесс конденсации – переход вещества из пара в жидкое состояние. При конденсации происходит выделение теплоты. Выделяется она и при адсорбции, т.е. **процесс адсорбции экзотермический**. Кроме того, в ходе адсорб-

ции уменьшается концентрация целевого компонента в газе, а, следовательно, и его парциальное давление. Поэтому в соответствии с принципом Ле-Шателье *процесс адсорбции выгодно проводить при пониженной температуре и повышенном давлении.*



Р и с . 1 . Изотермы адсорбции

В промышленности процесс адсорбции проводится не в статических, а в *динамических* условиях, когда поток газа проходит через стационарный слой адсорбента. На рис. 2 сделана попытка показать работу слоя адсорбента высотой H . В «жизни» слоя этого адсорбента различают *два* периода. К моменту времени τ_n адсорбент подготовлен к работе. В момент времени τ_l адсорбент начал работать. Первые его частицы энергично поглощают молекулы наступающего «врага».



Р и с . 2 . Динамика процесса адсорбции

К моменту времени τ_2 эти первые частицы немного «устали» и не успевают поглощать все поступающие молекулы адсорбтива. На помощь им приходят частицы, расположенные дальше в слое. Идёт формирование **фронта адсорбции**. В момент времени τ_ϕ первые частицы адсорбента полностью насытились и не могут больше работать. На этом заканчивается первый период «жизни» адсорбента – период формирования фронта адсорбции τ_ϕ высотой H_0 – и начинается второй. Зона адсорбции высотой H_0 начинает перемещаться по высоте слоя адсорбента с постоянной скоростью U . За этой зоной остаётся отработанный адсорбент, перед ней – свежий. Этот второй период получил название **период параллельного переноса фронта адсорбции**. Но и он

имеет конец. Наступает момент времени τ_{np} , когда за слоем адсорбента появились целыми и невредимыми молекулы адсорбтива. Наступил «проскок», защитное действие адсорбента закончилось. Время от начала работы адсорбента до «проскока» τ_{np} называется временем *защитного действия*.

В динамике адсорбции на стационарном слое адсорбента общепринятой является модель фронтальной (послойной) отработки слоя адсорбента, предложенная русским учёным Н.А. Шиловым применительно к работе противогазов. К моменту «проскока» адсорбент задержал какое-то количество целевого компонента. Так вот, средняя концентрация адсорбтива во всём слое адсорбента, достигнутая к моменту «проскока», получила название *динамической активности* a_d . Участок слоя адсорбента высотой H_0 получил название *работающего* слоя или *зоны массопередачи*.

Естественно, очень хочется заранее определить время защитного действия τ_{np} . Н.А. Шиловым было предложено уравнение, согласно которому время защитного действия является линейной функцией высоты слоя

$$\tau_{np} = KH - \tau_0 = \frac{1}{U} H - \tau_0, \quad (4)$$

где K – коэффициент защитного действия слоя, с/м; τ_0 – потеря времени защитного действия, с;

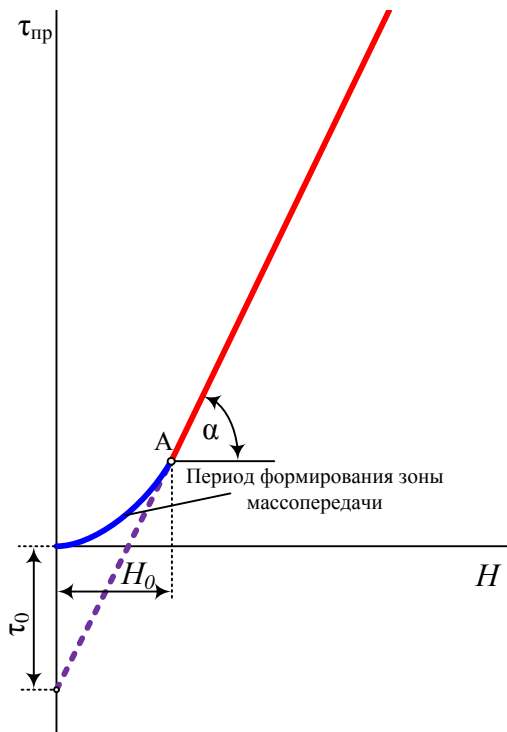
$$K = \frac{1}{U}, \quad (5)$$

U – скорость движения зоны массопередачи, м/с.

Величина потери времени защитного действия τ_0 обусловлена тем, что в момент времени τ_{np} мы выводим адсорбент из работы,

хотя часть слоя высотой H_0 ещё далека от насыщения и могла бы поработать. Поэтому динамическая активность всегда меньше статической $a_{\partial} < a_c^*$.

Графически уравнение (4) является уравнением прямой, не проходящей через начало координат. На практике линия получается криволинейной с изломом в точке А (рис. 3). Криволинейный участок – это период формирования зоны массопередачи.



Р и с . 3 . Зависимость времени защитного действия $\tau_{\text{пр}}$ от высоты слоя адсорбента H

Прямолинейный участок соответствует второму периоду – параллельного переноса фронта адсорбции. Тангенс угла наклона

этого прямолинейного участка $tg \alpha = K$, т.е. равен коэффициенту защитного действия слоя адсорбента. Отрезок, отсекаемый на оси ординат, соответствует времени потери защитного действия слоя τ_0 .

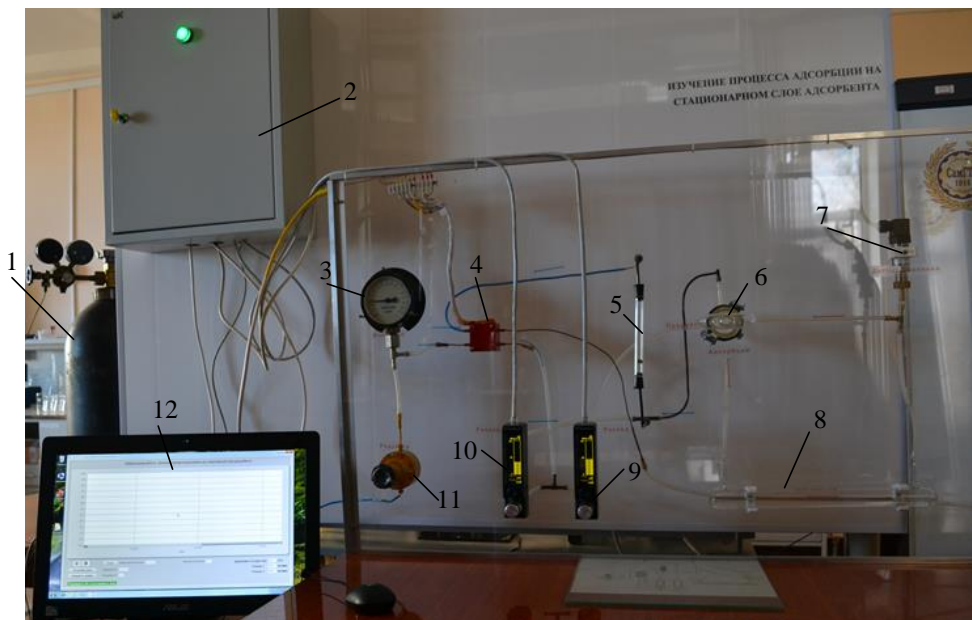
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы:

- экспериментальное изучение процесса адсорбции паров ацетона на стационарном слое адсорбента;
- изучение динамики адсорбции;
- проверка модели Шилова и расчёт некоторых параметров этой модели.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний вид установки показан на рис. 4.



Р и с . 4 . Лабораторная установка для изучения адсорбции на стационарном слое адсорбента

1 – баллон с азотом; 2 – шкаф управления; 3 – манометр; 4 – детектор по теплопроводности (катарометр); 5 – трубка-адсорбер; 6 – четырёхходовой кран; 7 – электронный манометр; 8 – сатуратор; 9, 10 – электронные ротаметры-регуляторы; 11 – редуктор; 12 – компьютер-моноблок.

Из баллона 1 азот подаётся в редуктор 11. Назначение редуктора – обеспечить стабильное давление азота на входе в установку. Для работы вполне достаточно избыточного давления $0,2 \div 0,3$ ат. Оно измеряется обычным стрелочным манометром 3. Он нужен для контроля давления при настройке установки. Показания

манометра 3 в расчётах не участвуют.

Далее азот поступает в сравнительную ячейку детектора по теплопроводности 4, который часто называют катарометром.

Принцип действия катарометра основан на сравнении теплопроводности газов, проходящих через две его ячейки (рис. 5). Одна ячейка называется *сравнительная*. В неё подаётся чистый азот. Вторая ячейка *измерительная* – в неё поступает этот же азот, но в нём может оказаться примесь другого вещества.

В ячейках находятся по две нити из тугоплавкого металла (типа нитей в обычной лампе накаливания). Этот металл должен сильно менять своё сопротивление при изменении температуры. Это обязательное условие для эффективной работы прибора. Четыре нити образуют мостовую схему². На них подаётся постоянный ток от контроллера, расположенного в шкафе управления 2. Под действием этого тока нити разогреваются до высокой температуры.

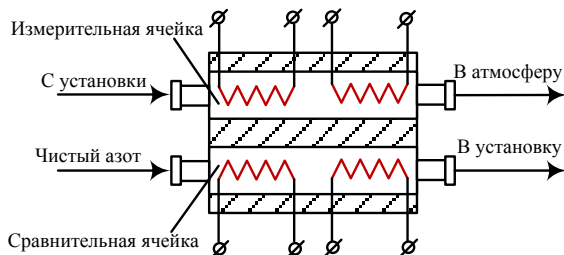
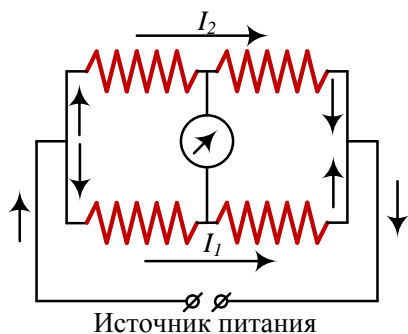


Рис. 5. Принцип работы детектора по теплопроводности (катарометра)

Если обе пары нитей обдуваются чистым азотом, условия теплосъёма с них одинаковы, сопротивления тоже одинаковы, а значит токи I_1 и I_2 , текущие по ним, равны (рис.6). Но как только в

² Эту мостовую схему называют мостом (мостиком) Уинстона – вспомните курс электротехники. Мостик Уинстона применяется с 1843 года.

потоке азота, который проходит через измерительную ячейку, оказывается постороннее вещество, теплосъём с этой пары нитей резко изменяется, что приводит к изменению температуры. А раз изменилась температура нитей, то изменилось и их сопротивление. Теперь токи I_1 и I_2 , текущие через плечи моста, стали разными. Появился *разбаланс* моста. Этот разбаланс фиксируется контроллером, расположенном в шкафу 2, поступает на моноблок 12, обрабатывается программой и записывается на мониторе. Чем больше поступило в измерительную ячейку постороннего вещества, тем сильнее будет этот сигнал.

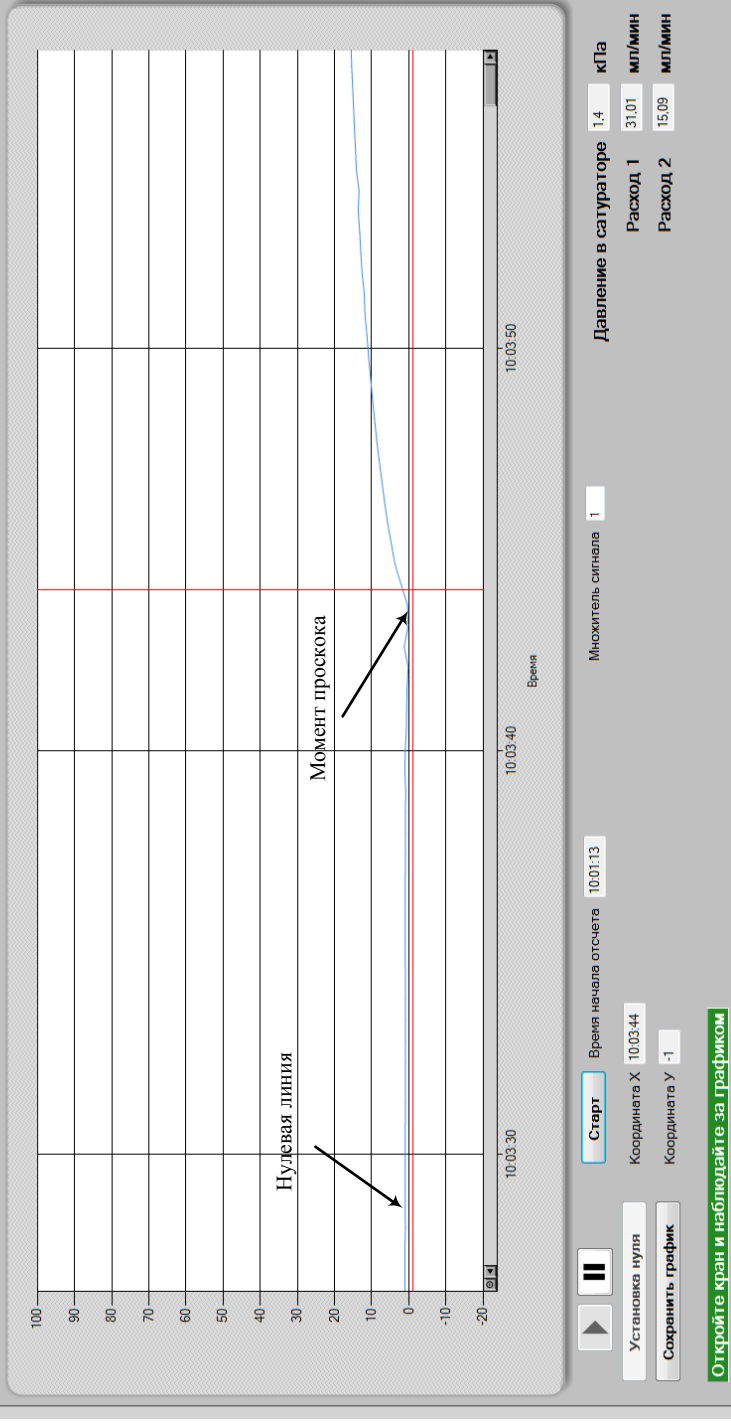


Р и с . 6 . Мостовая схема соединения нитей катарометра

Вернёмся к описанию установки. Пройдя сравнительную ячейку катарометра, азот разделяется на два потока – 1 и 2. Для управления расходами этих потоков и их измерения служат электронные цифровые ротаметры-регуляторы 9 и 10. Ротаметр-регулятор 9 управляет потоком 1, а ротаметр-регулятор 10 – потоком 2. Значения расходов в числовой форме приводятся на дисплеях приборов и дублируются на экране монитора в правом нижнем углу.

Выйдя из ротаметра-регулятора 9, поток 1 поступает в стеклянный четырёхходовой кран 6.

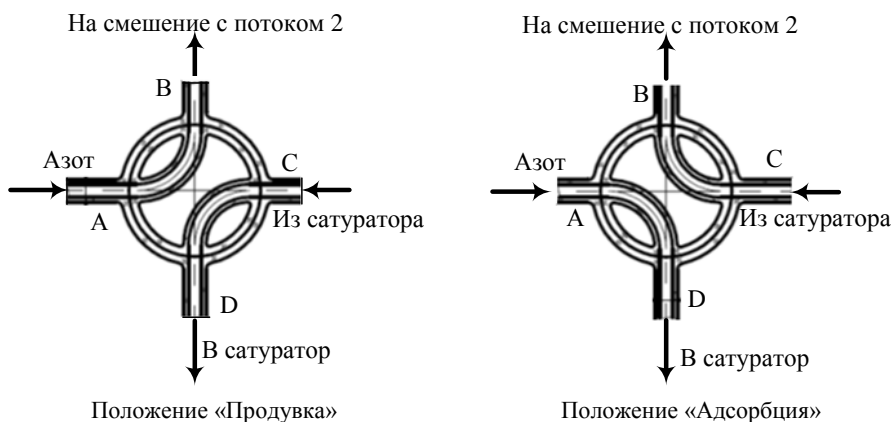
Лабораторная работа - Изучение процесса адсорбции на стационарном слое адсорбента.



Р и с . 7 . Так выглядит сигнал на экране монитора

Принцип работы крана показан на рис. 8. В положении крана «Продувка» поток газа заходит через штуцер А и выходит через штуцер В. Штуцера С и D соединены между собой, газ через них в этом положении не идёт.

При переключении крана в положение «Адсорбция» (поворот ручки на 90°) чистый азот заходит через штуцер А, выходит через штуцер D и уходит в сатуратор 8. Пройдя сатуратор, азот насыщается паром залитого в него вещества и возвращается в кран: заходит в штуцер С, а выходит через штуцер В.



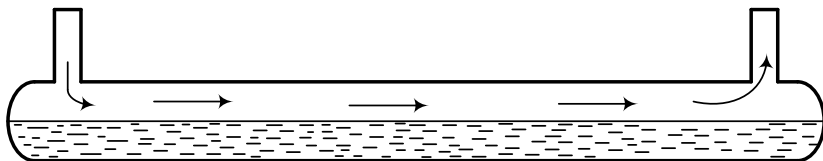
Р и с . 8 . Принцип работы четырёхходового крана

Сатуратор представляет собой стеклянную трубку, наполовину заполненную жидкостью – в нашем опыте ацетоном (рис. 9).

Проходя над зеркалом жидкости, азот насыщается её паром. Приготовленная таким образом парогазовая смесь смешивается с потоком 2 – чистым азотом, который вышел из ротаметра-регулятора 10. Зная расходы потоков 1 и 2, давление в сатураторе и температуру в лаборатории, можно рассчитать концентрацию пара в объединённом потоке азота.

Давление в сатураторе измеряется электронным манометром 7

и высвечивается в правом нижнем углу окна программы.



Р и с . 9 . Сатуратор для насыщения потока газа паром ацетона

В результате смешения потоков 1 и 2 мы получили искусственно приготовленную смесь азота с примесью пара исследуемого вещества (ацетона). Теперь эта смесь направляется в трубку-адсорбер 5, в которую засыпан порошок твёрдого поглотителя. В качестве адсорбента в работе используется силикагель. Вообще-то силикагель не предназначен для улавливания паров органических веществ. Его назначение – осушка газов. Но нам он подходит по той причине, что время его работы (защиты) при поглощении органики будет небольшим – соответствующим продолжительности лабораторной работы. Если взять хороший адсорбент, например, активированный уголь, то запланированный эксперимент растянется на несколько суток.

Итак, при поступлении в адсорбер смеси азот – целевой компонент силикагель начинает поглощение этого целевого компонента. Пока силикагель справляется с задачей, в измерительную ячейку катарометра поступает очищенный азот. Разбаланса моста нет, сигнала нет. Но как только адсорбент перестанет справляться со своей функцией, наступает «проскок» пара ацетона. Его мгновенно зафиксирует катарометр, выдавая сигнал на контроллер и далее на монитор (рис. 7). Задача экспериментатора – измерить время до проскока, т.е. время защитного действия.

3. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ

Запуск программы осуществляется через ярлык, расположенный на рабочем столе компьютера. После запуска программы автоматически начинается опрос четырёх приборов:

1. ротаметра-регулятора 9 (расход 1);
2. ротаметра-регулятора 10 (расход 2);
3. датчика давления 7;
4. датчика тока в мостовой схеме.

Показания датчика тока отображаются графически, остальных – цифровым значением в нижнем правом углу окна³.

Сопrotивления плеч моста катарометра 4 не одинаковы, следовательно, текущие по ним токи тоже будут различны (рис. 6), I_1 не равен I_2 . Поэтому при запуске программы на графике будет записываться какое-то значение сигнала. Для его обнуления предназначена кнопка «Установка нуля». При нажатии на неё линия перемещается на нулевую отметку.





Величину разбаланса моста катарометра можно масштабировать с помощью изменения значения в ячейке «Множитель сигнала». Другими словами, в случае слабого сигнала его можно усилить, умножив на величину введённого в окно множителя. Но при этом следует иметь виду, что могут усилиться и помехи от внешних источников – сотовые телефоны, электризация одежды и т.д. График может приобрести вид «пилы».


При повороте крана в положение «Адсорбция» необходимо нажать на кнопку «Старт». При этом в ячейке «Время начала опыта» появится астрономическое время. На рис. 7 это будет 10 часов 1 минута 13 секунд.

Время окончания опыта, т.е. время проскока, специально ло-

³ Если на графике крест или цвет линии вместо синего становится серым, а вместо цифровых показаний появляется NaN, то возникла ошибка и данные с прибора не были получены.

вить не надо. На графике хорошо будет видно изменение сигнала во времени. Достаточно подвести мышку к интересующей точке на графике и щёлкнуть. В ячейке «Координата X» появится значение времени. На рис. 7 время момента проскока 10 часов 3 минуты 44 секунды. По разности этих двух значений находится время защитного действия. В нашем примере это время составит 2 минуты 31 секунду.

С помощью кнопок   можно остановить или запустить процесс считывания показаний датчика тока мостовой схемы. При нажатии кнопки Pause  считывание данных с прибора прекращается, а при нажатии кнопки Play  – возобновляется. Изображение происходит в реальном, т.е. астрономическом времени.

Кривую процесса на графике возможно масштабировать. Для этого нужно выделить интересующийся фрагмент, и он растянется на весь экран. Сброс графика до начальной величины производится после нажатия на кнопку сброса  в начале полосы прокрутки.

Кнопка «Сохранить график» позволяет поместить график в специально созданную папку, ярлык которой находится на рабочем столе. Сохранённому графику присваивается имя в формате уу_ММ_дд НН.мм.сс, где уу- год, ММ - месяц, dd - день, НН - час, mm - минута, ss - секунда.

В самом низу окна появляется строка с подсказками для выполнения необходимых действий.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Работа проводится в присутствии инженера лаборатории, который включит установку, установит расходы азота и продемонстрирует основные приёмы работы.

1. Первый этап работы – подготовка адсорберов для проведения эксперимента.

1.1. Взвесить на аналитических весах четыре пустые стеклян-

ные трубки-адсорберы. Получившиеся значения масс занести в таблицу 1.

1.2. Засыпать в трубки силикагель высотой 2, 4, 6 и 8 см (если не будет других указаний). При этом стараться обеспечить одинаковую плотность засыпки, аккуратно постукивая доньшками трубок по твёрдой поверхности. Снова взвесить трубки и записать полученные массы в таблицу. По разности масс трубок с силикагелем и пустых трубок вычислить массы взятых для эксперимента навесок силикагеля.

2. Вставить в газовую линию первую трубку-адсорбер. Так как в этот момент подача азота нарушается, катарометр может отреагировать изменением сигнала. На графике появится характерный всплеск нулевой линии.

3. Переключить четырёхходовой кран в положение «Адсорбция». Одновременно следует щёлкнуть мышкой на кнопке «Старт» – первый опыт начался.

4. Дождавшись проскока целевого компонента, переключить четырёхходовой кран в положение «Продувка», вынуть отработанную трубку и заменить её на свежую.

5. Вынутую отработанную трубку третий раз взвесить на весах и записать полученное значение массы в таблицу.

6. Повторить эксперимент с новой трубкой: повернуть кран в положение «Адсорбция», дождаться проскока, вернуть кран в положение «Продувка», вынуть трубку, заменить её на следующую.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Построить график зависимости защитного действия слоя адсорбента τ_{np} от его высоты H (четыре прозрачных точки на рис. 10). График желательно строить на миллиметровой бумаге, т.к. это повысит точность расчётов. Ещё лучше использовать программу Excel.

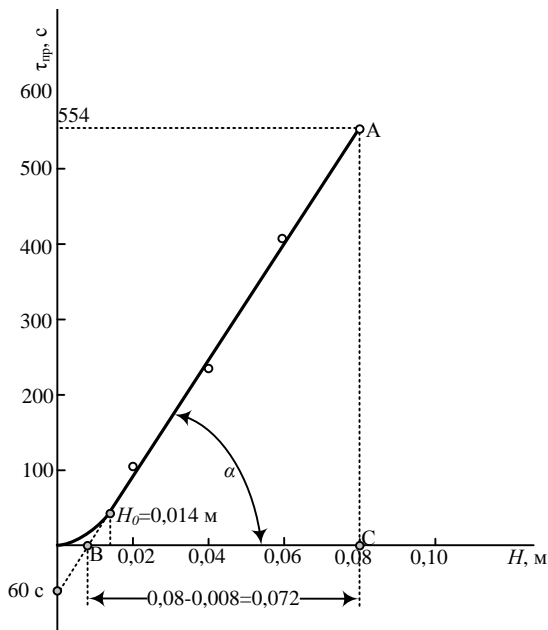
Если эксперимент выполнен хорошо, то точки должны лечь на прямую линию. Если какая-то точка «вылетела», это свидетельствует об экспериментальной ошибке. Опыт необходимо повторить.

2. Продлить прямую линию до пересечения с осью ординат и найти по графику потерю времени защитного действия τ_0 . На рис. 10 это время составляет 60 с.

3. Спроектировать точку перехода прямой линии в кривую на ось абсцисс. Это будет длина работающего слоя (длина зоны массопередачи) H_0 . В нашем примере она получилась равной 14 мм или 0,014 м.

4. По графику (рис. 10) определить коэффициент защитного действия K . В нашем случае он равен

$$K = \operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{BC} = \frac{554}{0,072} = 7694 \frac{\text{с}}{\text{м}}.$$



Р и с . 1 0 . Экспериментальная зависимость времени защитного действия слоя адсорбента от его высоты

5. Из уравнения (5) найти скорость движения зоны массопередачи по высоте слоя адсорбента

$$U = \frac{1}{K} = \frac{1}{7694} = 0,00013 \frac{M}{c} = 0,13 \frac{MM}{c} = 7,8 \frac{MM}{мин} = 0,468 \frac{M}{ч}.$$

Таким образом, в результате проведения эксперимента мы установили, что зона массопередачи перемещается по высоте слоя адсорбента со скоростью около $0,5 \text{ м/ч}^4$. А если для поглощения пара ацетона взять активированный уголь, то эта скорость будет намного меньше.

6. Определить экспериментальное значение динамической активности силикагеля по ацетону. Её значение вычисляется как

⁴ Черепаха ползёт гораздо быстрее – 70 м/ч . Да и улитка тоже – у неё скорость $10 \div 12 \text{ м/ч}$.

отношение массы поглощённого ацетона (столбец 7 таблицы) к массе силикагеля (столбец 5 таблицы)

$$a_{\partial} = \frac{m_{\psi}}{m_c}, \quad (6)$$

где a_{∂} – динамическая активность силикагеля по ацетону, г/г; m_{ψ} – масса поглощённого целевого компонента, г; m_c – масса силикагеля в трубке, г.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель лабораторной работы, схема установки.
2. Основные термины и определения: адсорбент, адсорбтив, адсорбат.
3. Применение адсорбции в промышленности.
4. Основные характеристики адсорбентов: активность, размер пор, удельная поверхность.
5. Виды адсорбентов: активные угли, силикагели, цеолиты.
6. Способы получения адсорбентов. Сырьё для получения активных углей [http://www.chemsystem.ru/aktivirovannyy_ugol/, <http://ru.wikipedia.org/wiki/>].
7. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
8. Динамическая и статическая активности.
9. Модель послойной отработки слоя адсорбента. Уравнение Шилова.
10. Параметры уравнения Шилова: коэффициент защитного действия, потеря времени защитного действия, высота зоны массопередачи, скорость движения зоны адсорбции.
11. Устройство и принцип работы катарометра.
12. Предложите те области технологии, в которых, по вашему мнению, целесообразно использовать адсорбцию. Приведите примеры.
13. Для проведения процесса адсорбции предложено два адсорбента приблизительно одинаковой стоимости. У одного скорость движения зоны массопередачи составляет 0,5 м/ч, у второго 0,3 м/ч. Какой адсорбент вы выберете? Ответ аргументируйте.
14. Для проведения процесса адсорбции предложено два адсорбента приблизительно одинаковой стоимости. У одного длина зоны массопередачи 15 мм, у второго 8 мм. Какой адсорбент вы выберете? Ответ аргументируйте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Изд-во Альянс, 2005. – 753 с. ISBN 5-98353-005-3.
2. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – М., 2005. – 576 с. ISBN 5-98535-006-1.
3. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В.Ф. Фролов. – Л.: «ХИМИЗДАТ», 2008.- 288с. ISBN 5-93808-039-8
4. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю.И. Дытнерский. Часть 2. - М., «Химия» 2002.-368 с. ISBN 5-7245-1232-7.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Термины и определения.....	3
Применение адсорбции.....	3
Теория адсорбции.....	5
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	12
2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	13
3. ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММЫ.....	19
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	20
5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	23
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	26
ЛИТЕРАТУРА.....	27

Учебное издание

Изучение процесса адсорбции на стационарном слое адсорбента

ФИЛИППОВ Вячеслав Васильевич

Авторская редакция
Формат 60×84 ¹/₁₆ . Бумага офсетная
Усл. п. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,37
Тираж 20 экз.

—
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100 г. Самара, Молодогвардейская, 244. Главный корпус