

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ДИФФУЗИОННЫЕ (МАССООБМЕННЫЕ) ТВЕРДОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Методические указания к лабораторным работам для студентов
специальностей 240801, 240802, 240902, 260601, 240401, 280202
по курсам «Процессы и аппараты химической технологии»,
«Процессы и аппараты пищевых производств»,
«Процессы и аппараты защиты окружающей среды»



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2011

УДК 66.081.6(076)
ББК Л113.91я73-5
Д503

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
В.Я. Борщев

Составители:

А.Н. Колиух, А.Н. Пахомов, А.Ю. Орлов, В.М. Нечаев, Ю.В. Пахомова

Д503 Диффузионные (массообменные) твердофазные процессы : метод. указания к лабораторным работам / сост. : А.Н. Колиух, А.Н. Пахомов, А.Ю. Орлов, В.М. Нечаев, Ю.В. Пахомова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 20 с. –50 экз.

Даны основные теоретические сведения, описание лабораторных установок, порядок выполнения работы, обработка экспериментальных данных, контрольные вопросы, список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов специальностей 240801, 240802, 240902, 260601, 240401, 280202 по курсам «Процессы и аппараты химической технологии», «Процессы и аппараты пищевых производств», «Процессы и аппараты защиты окружающей среды».

УДК 66.081.6(076)
ББК Л113.91я73-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2011

ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ В АППАРАТЕ С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ ЗЕРНИСТОГО АДСОРБЕНТА

Цель работы: ознакомление с работой адсорбционной установки периодического действия; определение коэффициентов массопередачи и защитного действия, предельной величины адсорбции при поглощении водяного пара цеолитом марки NaX или CaX.

Селективность адсорбции цеолитами обусловлена наличием тонких пор строго определённого размера, поэтому их часто называют молекулярными ситами.

Наибольшее практическое значение получили синтетические цеолиты типа 4A (NaA), 5A (CaA), 13X (NaX), 10X (CaX). Диаметр пор в молекулярных ситах определяется размером атома катиона. Сама структура – микропористая, и размер пор близок к размерам малых молекул.

Высокие адсорбционная способность и содержание активной составляющей в готовом продукте позволяют широко применять цеолит как адсорбент в химической, энергетической промышленности, в процессах органического синтеза, методах тонкой очистки газов и жидкостей, в качестве вспомогательных веществ для получения детергентов и т.д.

Цеолит адсорбирует: воду, углекислый газ, сероводород, аммиак, метанол, этилен, пропилен, низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан.

При низких температурах хорошо адсорбирует газы: неон, аргон, криптон, ксенон, кислород, азот, окись углерода, метан.

Длительность работы слоя адсорбента в стадии параллельного движения фронта сорбции рассчитывается по уравнению Н.А. Шилова

$$\tau = KL - \tau_0,$$

где τ – время защитного действия слоя, с; K – коэффициент защитного действия, с/м, показывающий время защитного действия слоя длиной 1 м; L – высота слоя, м; τ_0 – потеря времени защитного действия, с (кинетическая константа, пропорциональная скорости массообмена, при бесконечно большой скорости становится равной нулю).

При изучении сорбционного процесса обычно измеряют выходную кривую сорбции – изменение концентрации поглощаемого вещества во времени за слоем сорбента (рис. 1). Затем, пользуясь развёрнутым уравнением динамики сорбции

$$\tau = KL - \frac{K\omega}{K_V} \left(\ln \frac{x_0}{x} - 1 \right),$$

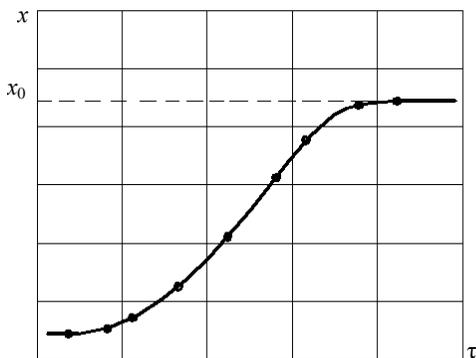


Рис. 1. Выходная кривая сорбции

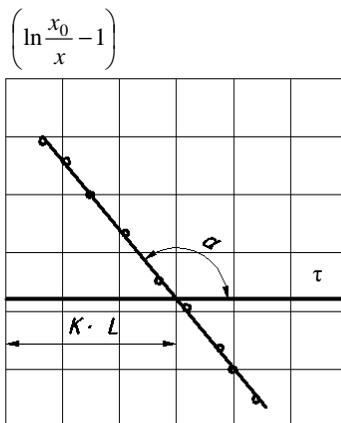


Рис. 2. Кривая сорбции

строят график в координатах

$$\left(\ln \frac{x_0}{x} - 1 \right) = f(\tau) \cdot \left(\ln \frac{x_0}{x} - 1 \right) = f(\tau).$$

Отрезок, отсекаемый на оси абсцисс (рис. 2), равен KL , а котангенс угла наклона есть $K\omega / K_V$, где ω – объёмная скорость потока, отнесённая к полному сечению аппарата, $\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с}$;

$$K_V = \frac{a_0}{\omega x_0},$$

где a_0 – предельная величина сорбции, кг сорбированного вещества на м^3 слоя адсорбента; x_0 – влагосодержание воздуха на входе в адсорбционную колонну, $\text{кг}/\text{м}^3$; K_V – коэффициент массопередачи, с^{-1} .

Объёмная скорость парогазовой смеси ω определяется по уравнению расхода

$$V = \omega S.$$

Описание лабораторной установки

Работа проводится на установке (рис. 3), которая работает по следующей схеме. Воздушный поток поступает из компрессора 1 через ресивер 2, игольчатый вентиль 3 и ротаметр 4. Далее он делится на две части: одна направляется в увлажнительную камеру 7, имеющую нагревательный элемент для нагрева воды и контактный термометр для поддержания определённой температуры в камере, другая часть направляется в обход увлажнительной камеры. Соотношение частей потока регулируется вен-

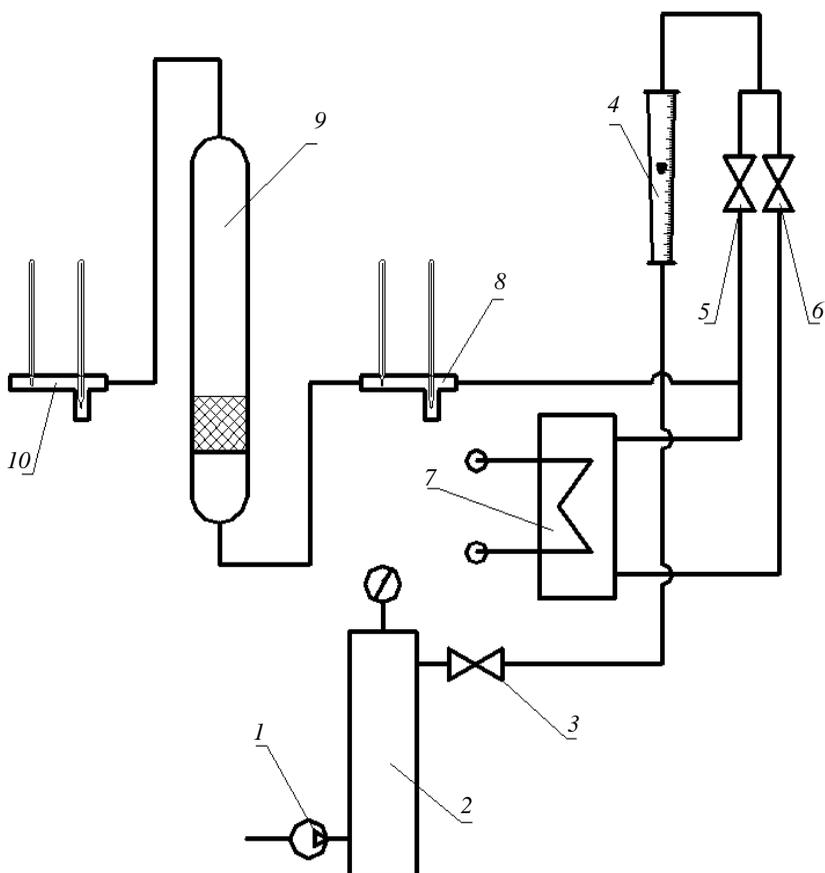


Рис. 3. Схема лабораторной установки

тиями 5 и 6. После смешения обоих потоков измеряется влагосодержание воздуха с помощью психрометра 8. Далее воздух поступает в колонну 9, заполненную адсорбентом, который поглощает из воздуха воду (осушает воздух). Влагосодержание воздуха после колонны измеряется психрометром 10. Осушенный воздух выбрасывается в атмосферу.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа проводится в следующей последовательности.

1. Ознакомиться с содержанием работы и установкой.
2. Включить компрессор 1 и игольчатым вентилем 3 установить по ротаметру 4 заданный расход воздуха.

3. Включить нагревательный элемент увлажнительной камеры 7 тумблером.

4. С помощью вентилей 5 и 6 задать требуемое соотношение потоков, т.е. определённую влажность воздуха для дальнейшей осушки.

5. Убедившись, что вода в увлажнительной камере нагрелась до необходимой температуры, насыпать адсорбент в колонку и соединить колонку с психрометром 10.

6. Для начала опыта соединить систему с адсорбционной колонкой, т.е. соединить колонку с психрометром 8. С этого момента начинать отсчёт времени опыта.

7. Через каждые 30 с – 6 замеров, затем через каждые 60 с – 7 замеров, а потом через каждые 120 с – все остальные замеры. Записывать в табл. 1 показания психрометров на выходе и на входе колонки.

8. Опыт проводить до тех пор, пока показания психрометра 10 на выходе из колонки и психрометра 8 на входе не будут одинаковыми.

9. Окончив опыт, выключить нагреватель увлажнителя, затем – компрессор.

10. Опытные данные свести в табл. 1. Записать высоту слоя адсорбента L , диаметр колонки D и расход воздуха через колонку V по тарировочному графику.

Таблица 1

τ	До колонки			После колонки			Расчётные данные					
	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$x_0, \text{кг/кг}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$x, \text{кг/кг}$	$\frac{x_0}{x}$	$\ln \frac{x_0}{x}$	$\ln \frac{x_0}{x} - 1$	$G_0, \text{кг/м}^3$	$K, \text{с/м}$	$K_V, 1/\text{с}$
с	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												

Обработка опытных данных

1. По температурам сухого t_c и мокрого t_m термометров определить влагосодержание воздуха на входе x_0 и на выходе x адсорбционной колонны для каждого момента времени

$$x = 0,622 \frac{\varphi P_c}{735 - \varphi P_c},$$

где φ – относительная влажность воздуха (отн. ед.), вычисляется по формуле

$$\varphi = \frac{P_m - 0,494(t_c - t_m)}{P_c},$$

где P_m , P_c – парциальное давление водяного пара в воздухе при температуре мокрого t_m и сухого t_c термометров, мм рт. ст.

Парциальное давление может быть рассчитано по уравнению, аналогичному уравнению Антуана, которое для водяного пара в диапазоне температур от 0 до 60 °С имеет вид

$$\ln P = 18,76 - \frac{4081,18}{236,77 + t}$$

или

$$P = \exp\left(18,76 - \frac{4081,18}{236,77 + t}\right).$$

2. Построить по экспериментальным данным выходную кривую в координатах $\chi = f(\tau)$ (см. рис. 2).

3. Рассчитать и построить выходную кривую в координатах $\left(\ln \frac{x_0}{x} - 1\right) = f(\tau)$ (см. рис. 3).

4. Вычислить коэффициент защитного действия по отрезку, отсекаемому прямой на оси абсцисс, K , с/м:

$$K = \tau_1 / L.$$

5. Вычислить предельную величину сорбции по уравнению

$$a_0 = K \frac{V}{S} x'_0,$$

где V – объёмный расход газовой смеси, м³/с; S – площадь сечения колонки, м²; x'_0 – влажность газовой смеси, кг воды на м³ воздуха, на входе в слой сорбента, $x'_0 = x_0 \rho$, ρ , кг/м³, – плотность воздуха при температуре газовой смеси (при t_c), рассчитанная по уравнению Клапейрона

$$\rho = \frac{M}{22,4} \frac{273}{273 + t_c},$$

где M – мольная масса газа.

6. Вычислить коэффициент массопередачи K_V по котангенсу угла наклона прямой (см. рис. 3):

$$\operatorname{ctg} \alpha = -\frac{K\omega}{K_V}; \quad K_V = -\frac{K\omega}{\operatorname{ctg} \alpha}.$$

Содержание отчёта

1. Схема установки.
2. Таблица опытных данных.
3. Выходная кривая сорбции в координатах $x - \tau$.
4. Выходная кривая сорбции в координатах $\left(\ln \frac{x_0}{x} - 1 \right) = f(\tau)$.

Характеристика адсорбентов.

Цеолит марки СаХ.

Размер пор – 10 \AA .

Размер гранул: диаметр – 2 мм, длина – 3 мм.

Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}} = 0,735 \text{ г/см}^3$.

Температура регенерации – 400...450 °С.

Цеолит марки NaХ.

Размер пор – 10 \AA .

Размер гранул – 3 мм.

Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}} = 0,7 \text{ г/см}^3$.

Температура регенерации – 400...450 °С.

Контрольные вопросы

1. Механизм процесса адсорбции.
2. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
3. Требования к адсорбентам. Промышленные адсорбенты.
4. Тепловой эффект при адсорбции.
5. Уравнение Шилова, время защитного действия, потеря времени защитного действия, понятие «проскока».
6. Конструкции адсорберов.

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: практическое освоение методики экспериментально-го изучения кинетических закономерностей конвективной сушки и изучение основ теории сушки; выработка навыков использования инженерной методики расчёта кинетической кривой сушки.

Конвективная сушка – удаление влаги из твёрдых и пастообразных материалов путём её испарения и отвода образовавшихся паров при подводе тепла конвекцией, используется практически во всех отраслях промышленности, распространена в природе и быту.

Агрегатное состояние, структура, теплофизические свойства высушиваемых материалов, теплофизические характеристики растворителей и сушильного агента являются только основными факторами, влияющими на скорость процесса, вследствие чего кинетические закономерности процесса имеют много существенных отличий. На рисунке 1 приведены кинетические кривые сушки $\bar{u}(\tau)$ и $t(\tau)$, характерные для крупно капиллярно-пористого тела. На этих графиках и на рис. 5 хорошо прослеживается кинетика сушки, соответствующая различным физическим механизмам процесса, и взаимосвязь тепло- и массообмена. Для капиллярно-пористых

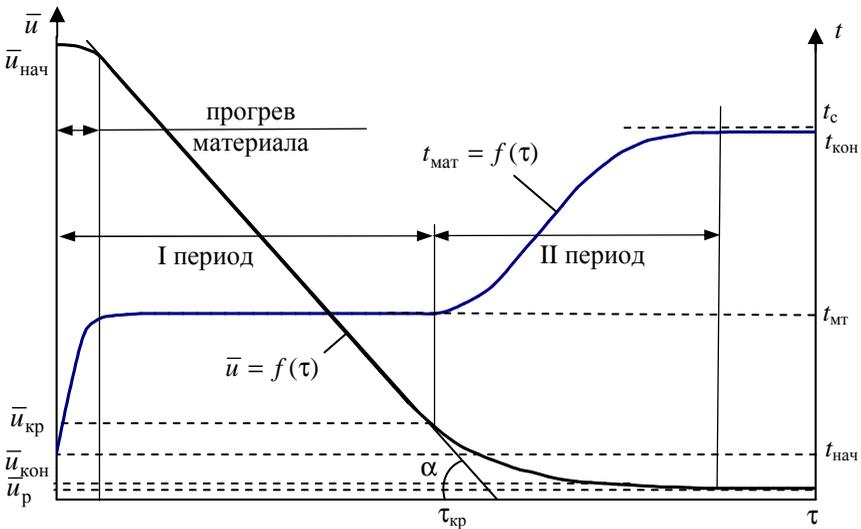


Рис. 1. Кинетические кривые сушки $\bar{u}(\tau)$ и $t(\tau)$

материалов наиболее характерным является наличие на кинетических кривых следующих участков: прогрев материала от начальной температуры $t_{\text{нач}}$ до температуры, близкой к температуре мокрого термометра $t_{\text{мт}}$, в условиях сушки, удаление влаги происходит с небольшой, увеличивающейся скоростью; удаление влаги при постоянной скорости сушки – первый период (удаление поверхностной влаги), температура остаётся приблизительно постоянной (всё подводимое тепло расходуется на испарение); второй период сушки – удаляемая влага подводится к поверхности материала (поверхности испарения) из внутренних слоёв материала по капиллярам увеличивающейся протяжённости, что определяет увеличение фильтрационного сопротивления и уменьшение количества транспортируемой жидкости, поэтому скорость удаления влаги падает и часть подводимого тепла, которая не затрачивается на испарение, расходуется на нагрев материала – температура материала повышается до $t_{\text{кон}}$, достигая в пределе температуры сушильного агента t_c , при этом влагосодержание достигает $\bar{u}_{\text{кон}}$, которое обычно больше \bar{u}_p . Несмотря на то что приведено достаточно общее для крупно капиллярно-пористых материалов изменение кинетики в процессе обезвоживания, в практике сушки нет случаев совпадения эволюций кинетических кривых для разных материалов и условий процесса. Поэтому до настоящего времени невозможно теоретически предсказать кинетику сушки, вследствие чего инженерные расчётные методики построены на основе экспериментального изучения процесса.

Описание лабораторной установки

Экспериментальная часть работы выполняется на конвективной циркуляционной сушилке (рис. 2), состоящей из вентилятора 1, замкнутого воздуховода 2, образующего циркуляционный контур, в который для подогрева воздуха встроен электрокалорифер 3. Центральная царга 4 циркуляционного воздуховода используется для размещения образца 10 через стеклянную дверцу 5 на траверсе 11 весов 12.

Необходимая температура сушильного агента поддерживается регулирующим потенциометром 6, а его скорость стабилизируется поддержанием постоянных оборотов двигателя воздуходувки с помощью частотно-преобразователя 7. Измерение относительной влажности сушильного агента осуществляется датчиком, установленным в воздуховоде 2, который соединён с показывающим прибором 8.

Масса образца 10 в течение всего эксперимента фиксируется электронными весами 12, имеющими выход электрического сигнала на ПК. Температура образца измеряется термопарой 9, расположенной в образце, и непрерывно фиксируется на ПК.

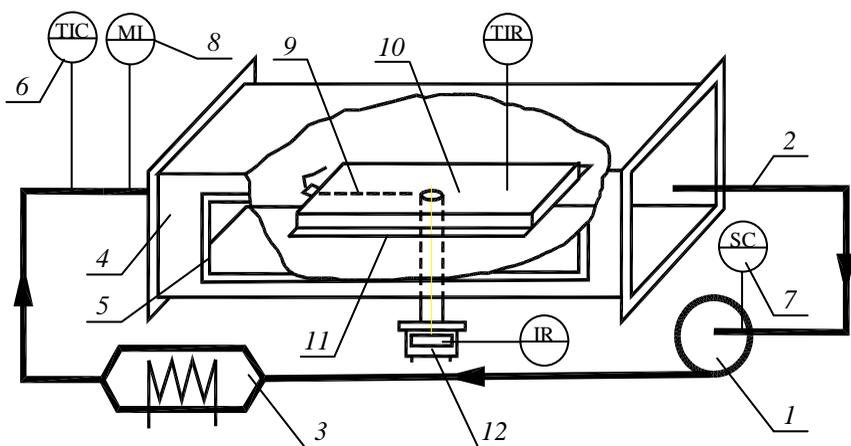


Рис. 2. Схема лабораторной сушилки

Порядок выполнения работы

1. После ознакомления с описанием и схемой установки по разрешению преподавателя выполняется эксперимент: а) включают вентилятор; б) устанавливают заданную скорость воздуха (по градуировке реостата на частотном преобразователе); в) включают электрокалорифер 3.

2. Извлекают образец из сушилки, взвешивают и производят замеры геометрических размеров образца и рабочей камеры (табл. 1).

3. Образец увлажняют (помещают образец в ванночку с водой и выдерживают 10...15 мин) и взвешивают.

4. После прогрева установки до заданной температуры в увлажнённый образец точно по центру вводят иглу с термопарой и помещают образец в сушильную камеру на траверсу 11 весов 12.

Таблица 1

Измеряемая величина	Размерность	Значение
Вес абсолютно сухого образца	г	
Начальный вес увлажнённого образца	г	
Длина l , ширина b , толщина h образца	мм	
Размеры сушильной камеры $B \times H$	мм	
Скорость воздуха ω	м/с	
Относительная влажность воздуха φ	%	

Таблица 2

Время от начала процесса $\tau, \text{с}$	Показания весов $G_{\text{вл. м}}, \text{Г}$	Убыль влаги $G_{\text{вл}}, \text{Г}$	Влагосодержание		Температура материала $t_{\text{мат}}, \text{°С}$	Скорость сушки $d\bar{u}/d\tau, \%/\text{с}$
			экспериментальное $\bar{u}, \%$	расчётное $\bar{u}, \%$		

5. На ПК запускают программы для регистрации веса и температуры образца и параллельно заполняют табл. 2.

6. После окончания сушки (вес и температура образца остаются постоянными в течение 10...12 мин) останавливают работу программ на ПК и сохраняют данные. Также в табл. 1 записывают показание относительной влажности воздуха.

Обработка экспериментальных данных

1. По данным опыта для каждого замера рассчитывается влагосодержание материала в массовых процентах:

$$\bar{u} = (G_{\text{вл}}/G_{\text{с}}) \times 100, \%,$$

где $G_{\text{вл}} = G_{\text{вл. мат}} - G_{\text{с}}$ – масса влаги, содержащаяся в образце, кг, $G_{\text{вл. мат}}$ – масса влажного образца, кг; $G_{\text{с}}$ – масса абсолютно сухого образца, кг.

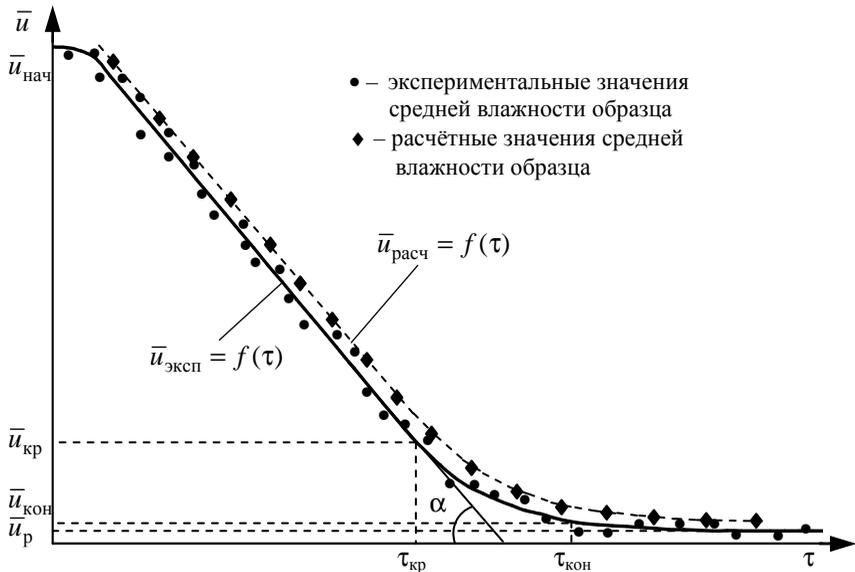


Рис. 3. Экспериментальные и расчётные кривые сушки

2. Нанести на миллиметровую бумагу полученные данные (точки), построить кривую сушки $\bar{u} = f(\tau)$, соединив усреднённые данные плавной кривой (рис. 3).

3. Аналогично по экспериментальным данным построить термограмму сушки $t_{\text{мат}} = f(\tau)$ (рис. 4), где $t_{\text{мат}}$ – среднеобъёмная температура образца.

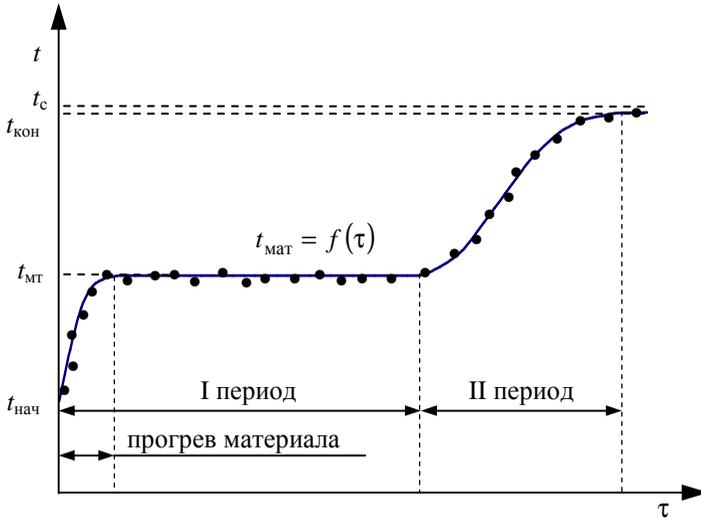


Рис. 4. Термограмма сушки

4. Выделить на кривой сушки $\bar{u} = f(\tau)$ и термограмме $t_{\text{мат}} = f(\tau)$ характерные участки: прогрев материала, период постоянной скорости сушки, период падающей скорости сушки.

5. Отметить на кривой сушки $\bar{u}_{\text{нач}}$, $\bar{u}_{\text{кр}}$, $\bar{u}_{\text{кон}}$, $\tau_{\text{кр}}$ и определить их значения. По термограмме определить температуру мокрого термометра $t_{\text{мт}}$.

6. Построить расчётную кривую сушки. Для этого необходимо вычислить влагосодержание образца в нескольких точках в пределах первого и второго периодов. Скорость сушки N в первом периоде определяется вычислением тангенса угла наклона прямой, отражающей убыль влаги в первом периоде сушки, к оси τ (см. построения на рис. 1):

$$N = dW / F \cdot d\tau = A \cdot \text{tg}\alpha, \text{ кг влаги / м}^2 \cdot \text{с},$$

где W – масса испарённой влаги, кг; F – поверхность фазового контакта (поверхность испарения), м^2 ; τ – время сушки, с; A – численный коэффи-

циент, введённый в формулу для перевода размерности \bar{u} , выраженной в процентах, в доли, рассчитываемый как

$$A = G_c / F \cdot 100 \cdot 1000, \text{ кг/м}^2.$$

7. Построить график изменения скорости сушки $d\bar{u}/d\tau = f(\bar{u})$ (см. рис. 5). Необходимые для этого данные получают дифференцированием кривой сушки. В пункте 6 показано, как найти скорость сушки в пределах $0 - \tau_{\text{кр}}$. Очевидно, что от начала и до конца этого диапазона скорость сушки имеет постоянное значение. Во втором периоде нужно вычислить скорость сушки в 5–7 точках, задаваясь временем в пределах $\tau_{\text{кр}} - \tau_{\text{кон}}$. Для этого перестраивают кривую сушки второго периода в уменьшенном масштабе, что позволяет увеличить точность отсчёта влагосодержания и времени и, следовательно, точность дифференцирования. (Предпочтительно выполнить дифференцирование на ПК с целью получения большего числа точек.) На рисунке 6 для примера показана схема расчёта скорости сушки в точке A для момента времени τ и влагосодержания \bar{u} :

$$d\bar{u}/d\tau = (\bar{u}_1 - \bar{u}_2) / (\tau_2 - \tau_1), \text{ кг/с.}$$

8. Рассчитать равновесное влагосодержание материала:

$$\bar{u}_p = 1 / (0,304 - 1,91\phi), \%$$

В этой формуле ϕ – относительная влажность сушильного агента, подставляется в долях, при этом результат \bar{u}_p получается в процентах.

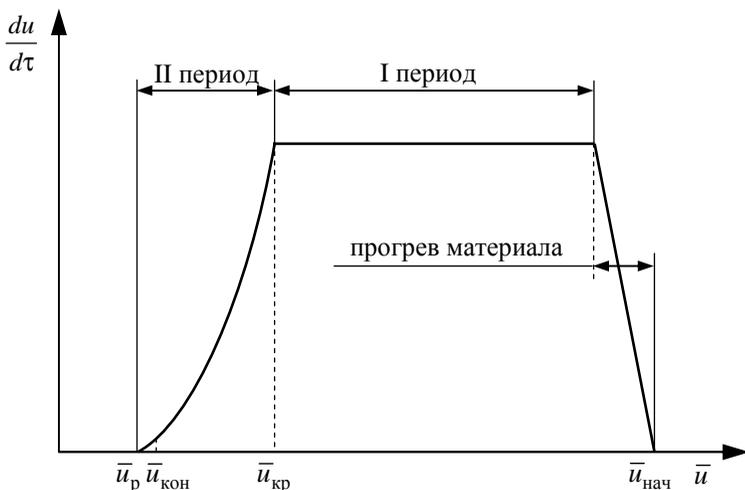


Рис. 5. График изменения скорости сушки $d\bar{u}/d\tau = f(\bar{u})$

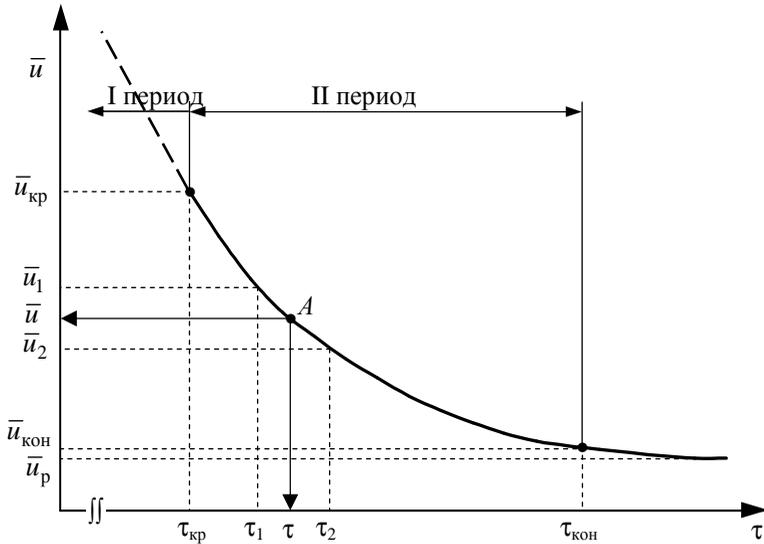


Рис. 6. Пример дифференцирования

9. Рассчитать концентрации водяного пара в сушильном агенте u на поверхности материала C_M и в ядре потока C_c :

$$C_M = P_M / [3,46 (273 + t_M)];$$

$$C_c = P_c / [3,46 (273 + t_c)],$$

где P_M и P_c [мм рт. ст.] – парциальные давления водяного пара в сушильном агенте при температуре мокрого и сухого термометра соответственно. Определяются, например, по диаграмме Л.К. Рамзина.

10. Вычислить коэффициент массоотдачи, приняв температуру пограничного слоя $t = (t_c + t_{MT})/2$, по формуле

$$Nu_d = E Re^n Pr_d^{0,33} Gu^{0,135},$$

где $Nu_d = \beta l / D$ – массообменный критерий Нуссельта; $Re = wL\rho/\mu$ – критерий Рейнольдса; $Pr_d = \mu / \rho D$ – диффузионный критерий Прандтля; $Gu = (T_c + T_M)/T_c$ – критерий Гухмана. Здесь β – коэффициент массоотдачи, м/с; D – коэффициент молекулярной диффузии водяного пара в воздухе, м²/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; w – скорость воздуха, м/с; L – длина образца, м. Значения коэффициента E и n даны в табл. 3. Значения D , μ , ρ приведены в табл. 4.

Таблица 3

Re	E	n
$1 \dots 2 \cdot 10^2$	0,38	0,53
$3,15 \cdot 10^3 \dots 2,2 \cdot 10^4$	0,49	0,61
$2,2 \cdot 10^4 \dots 3,15 \cdot 10^5$	0,25	0,90

Таблица 4

$t, ^\circ\text{C}$	55	60	65	70	75	80
$\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	20,01	20,25	20,48	20,71	20,94	21,17
$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	1,076	1,060	1,044	1,029	1,014	1,00
$D \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	28,84	29,50	30,17	30,34	31,52	32,20

11. Рассчитать скорость сушки в первом периоде:

$$N = 200\beta(C_M - C_c)/\rho_{\text{мат}} h, \% / \text{с},$$

где $\rho_{\text{мат}}$ – плотность сухого материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; h – толщина материала, м.

12. Рассчитать длительность первого периода:

$$\tau_1 = (\bar{u}_H - \bar{u}_{\text{кр}}) / N, \text{ с}.$$

Сравнить полученное значение τ_1 с $\tau_{\text{кр}}$, полученным из графика $\bar{u} = f(\tau)$ рис. 3.

13. Вычислить коэффициент скорости сушки:

$$K = N / (\bar{u}_{\text{кр}} - \bar{u}_p).$$

14. Для первого периода, т.е. в пределах $0 < \tau < \tau_{\text{кр}}$, рассчитать для 4–5 точек значения влагосодержания материала:

$$\bar{u} = \bar{u}_H - N\tau, \text{ кг вл} / \text{кг абс. сух. мат},$$

при этом рассчитанное влагосодержание должно быть в пределах $\bar{u}_H \geq \bar{u} \geq \bar{u}_{\text{кр}}$.

15. Для 5 – 7 точек, задаваясь временем в пределах второго периода, $\tau_{кр} < \tau < \tau_{кон}$, рассчитать влагосодержание по зависимости

$$\bar{u} = \bar{u}_p + (\bar{u}_{кр} - \bar{u}_p) e^{-K(\tau - \tau_{кр})}, \text{ кг вл / кг абс. сух. мат.}$$

При этом расчётное влагосодержание должно быть в пределах $\bar{u}_{кр} > \bar{u} > \bar{u}_p$.

16. Нанести на рис. 3 полученные расчётным путём влагосодержания (пункты 14 и 15) и соединить плавной кривой, которая будет соответствовать графику $\bar{u}_{расч} = f(\tau)$.

17. Оценить максимальное отклонение расчётной кинетической кривой от экспериментальной по влагосодержанию:

$$\Delta_{\max} = \frac{\bar{u}_{расч} - \bar{u}_{эксп}}{\bar{u}_{эксп}} \times 100, \%$$

Содержание отчёта

1. Схема лабораторной установки со спецификацией.
2. Пример последовательного расчёта данных для отчётной таблицы.
3. Отчётная таблица по приведённой форме.
4. Графики $\bar{u}_{эксп} = f(\tau)$, $\bar{u}_{расч} = f(\tau)$, $t_{эксп} = f(\tau)$, $d\bar{u}/d\tau = f(\bar{u})$.

Контрольные вопросы

1. Основные свойства влажного воздуха.
2. Диаграмма влажного воздуха Л.К. Рамзина.
3. Отображение основных процессов изменения состояния воздуха на ($I-x$)-диаграмме Л.К. Рамзина.
4. Методика исследования конвективной сушки твёрдых материалов.
5. Равновесие в процессах сушки.
6. Формы и энергия связи влаги с материалом.
7. Массопередача в системах с твёрдой фазой.
8. Кинетика процесса сушки, особенности кинетических кривых.
9. Расчёт времени сушки при конвективном теплоподводе.
10. Классификация сушилок.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Плановский, А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М. : Химия, 1987. – 495 с.
2. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии / Ю.И. Дытнерский. – М. : Химия, 1995. – Ч. 2. – 368 с.
3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – М. : Альянс, 2006. – 576 с.
4. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / В.Ф. Фролов. – СПб. : ХИМИЗДАТ, 2003. – 608 с.

Учебное издание

ДИФФУЗИОННЫЕ (МАССООБМЕННЫЕ) ТВЕРДОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Методические указания

С о с т а в и т е л и:

КОЛИУХ Александр Николаевич,
ПАХОМОВ Андрей Николаевич,
ОРЛОВ Андрей Юрьевич,
НЕЧАЕВ Василий Михайлович,
ПАХОМОВА Юлия Владимировна

Редактор Е.С. Кузнецова

Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 08.12.2011.

Формат 60 × 84 / 16. 1,16 усл. печ. л. Тираж 50 экз. Заказ № 570

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14