

ОСОБЕННОСТИ ПОСТАНОВКИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»

Смирнов С.И.¹, Рузанов С.Р.¹

¹ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Н.Новгород, Россия (603950, Н.Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24), e-mail: nntu@nntu.nnov.ru

Формируются общие положения по постановке лабораторного практикума по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» на примере лабораторной работы «Изучение процесса сушки в воздушной циркуляционной сушилке». Приводится схема лабораторной установки с указанием фиксируемых параметров, необходимых для дальнейшей обработки и получения основных характеристик процесса сушки. Излагается методика обработки опытных данных, основой которых является графическая и математическая обработка современными методами с использованием электронных средств. Приводятся результаты выполнения студентами лабораторной работы по сушке в виде графических зависимостей – кривой сушки и кривой скорости сушки, а также в виде уравнений, характеризующих соответствующие периоды сушки. Представлены результаты сопоставления опытного коэффициента массоотдачи для первого периода сушки с его расчетными значениями по уравнениям из учебно-справочной литературы.

Ключевые слова: лабораторный практикум, сушка, кривая сушки, кривая скорости сушки, периоды сушки.

FEATURES OF STATEMENT OF THE LABORATORY WORKSHOP ON THE COURSE «PROCESSES AND DEVICES OF CHEMICAL TECHNOLOGY»

Smirnov S. I.¹, Ruzanov S.R.¹

¹Niжеgorodski state technical university the name of R.E. Alekseeva, N.Novgorod, Russia(603950, N.Novgorod, GSP-41, street of Minina, 24), e - mail: nntu@nntu.nnov.ru

General provisions on statement of a laboratory workshop on the course "Processes and Devices of Chemical Technology" on the example of laboratory work "Studying of process of drying in the air circulating dryer" are formed. The scheme of laboratory installation with the indication of the fixed parameters necessary for further processing and obtaining the main characteristics of process of drying is provided. The technique of processing of skilled data which basis is graphic and their mathematical processing by modern methods with use of electronic means is stated. Results on drying of one of the prototypes received by students when performing laboratory work are given. Results are presented in the form of graphic dependences – curve drying and curve speed of drying, and also the equations characterizing the corresponding periods of drying. Results on comparison of the skilled mass-transfer coefficient corresponding to the first period of drying with the calculated values which are available in educational reference books are presented.

Keywords: laboratory practical work, drying, curve drying, drying speed curve, drying periods.

К решению сложных задач современной химической технологии студенты высших учебных заведений готовятся при изучении учебных дисциплин как общеинженерного, так и профессионального циклов.

Курс «Процессы и аппараты химической технологии» относится к дисциплинам профессионального цикла и имеет существенное значение в подготовке студентов химико-технологических и механических специальностей.

Глубина и эффективность освоения этой учебной дисциплины в значительной мере зависит от содержания и постановки лабораторного практикума. Актуальным является то, что в лаборатории процессов и аппаратов студенты не только знакомятся с практической стороной курса, но и приобретают навык научного исследования.

Ниже рассмотрены особенности постановки лабораторного практикума на примере работы «Изучение процесса сушки в воздушной циркуляционной сушилке». Эта лабораторная работа в наибольшей степени сочетает практическую и научную сторону одного из самых сложных химико-технологических процессов.

При выполнении работы студенты знакомятся с целым комплексом теоретических вопросов, связанных с физическими основами процесса сушки, с основными законами теплопередачи и массопередачи. Не менее важны практические вопросы, которые стоят перед студентами при выполнении лабораторной работы - это экспериментальное определение кинетических закономерностей сушки; определение численного значения скорости сушки в первом периоде; определение первой критической влажности материала; расчет расхода тепла на нагрев воздуха; определение численного значения коэффициента влагоотдачи (массоотдачи). Обязательным условием при обработке экспериментальных данных по сушке конкретного материала является использование современных средств обработки результатов, например, электронных таблиц EXCEL.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

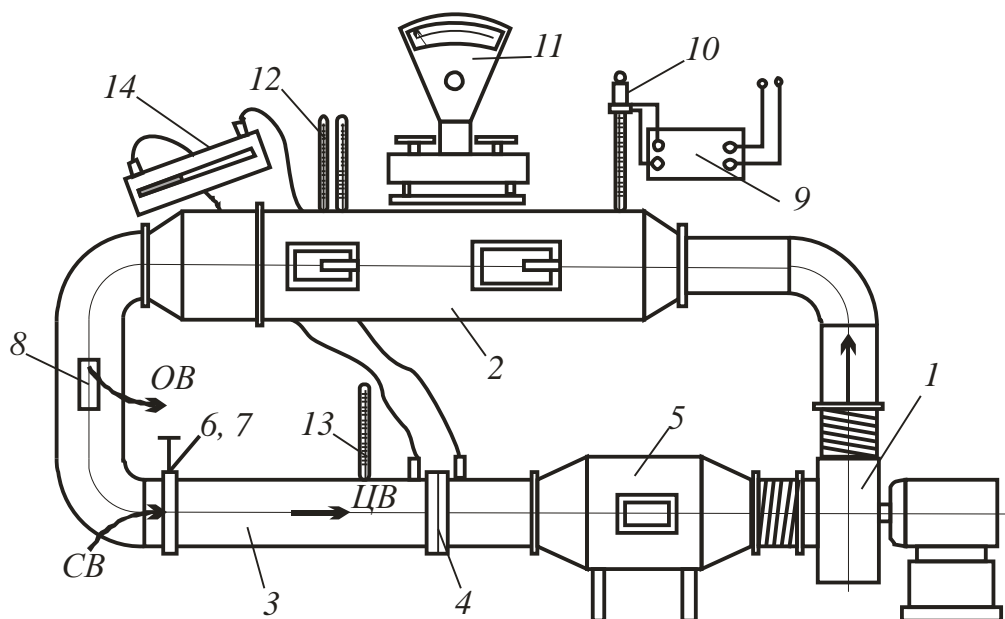


Рис. 1.Схема лабораторной установки:

- 1 – вентилятор; 2 – сушильная камера; 3 – циркуляционная труба;
- 4 – измерительная диафрагма; 5 – электрокалорифер; 6 и 7 – регулирующие шиберы;
- 8 – окно; 9 – терморегулятор; 10 – контактный термометр; 11 – весы; 12 – психрометр;
- 13 – термометр; 14 – наклонный дифференциальный манометр;
- ОВ – отработанный воздух; СВ – свежий воздух; ЦВ – циркулирующий воздух

Методика выполнения работы предусматривает фиксирование в журнале наблюдений (экспериментальных данных):

- изменений массы высушиваемого образца материала во времени по показаниям весов 11;
- значений температур воздуха в циркуляционной сушилке по показаниям психрометра 12 и термометра 13;
- перепад давления на измерительной диафрагме 4.

Экспериментальные данные по изменению массы высушиваемого образца используются студентами при расчете влажности материала ω^c и при построении кривой сушки $\omega^c = f(\tau)$. Построение кривой сушки проводится с использованием электронных таблиц EXCEL, которые позволяют студенту не только выбрать вид зависимости $\omega^c = f(\tau)$, но и получить ее аппроксимацию математическим выражением.

Пример кривой сушки с аппроксимирующими ее уравнениями приведен на рис. 2.

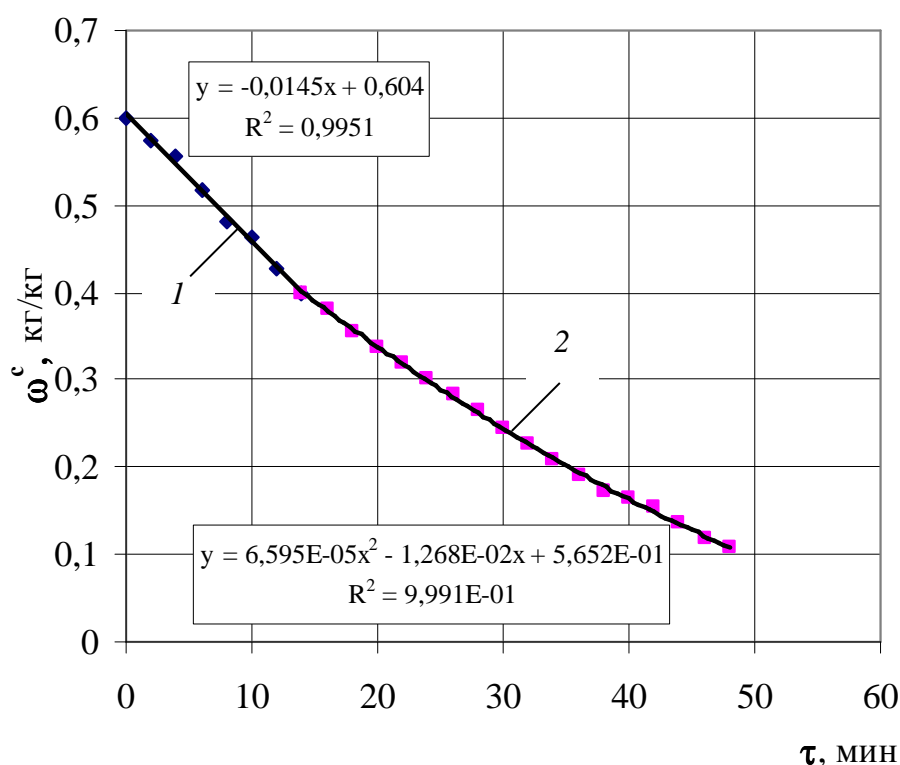


Рис. 2. Кривая сушки:
1- первый период сушки; 2- второй период сушки

При подборе аппроксимирующих уравнений для первого и второго периодов сушки величина достоверности аппроксимации R^2 должна быть не менее 0,95. Для уравнений аппроксимирующих опытные данные, представленные на рисунке 2, величина достоверности аппроксимации R^2 составляет для первого периода 0,9951, а для второго периода 0,991.

Математические выражения, полученные при обработке кривой сушки, позволяют студенту быстро определить кинетические характеристики процесса сушки.

В частности из уравнения первого периода сушки следует, что для испытываемого образца скорость сушки в этом периоде составляет

$$N = - (d\omega^c/d\tau) = 0,0145 \text{ (мин}^{-1}\text{)}. \quad (1)$$

Математическое выражение изменения влажности материала для испытываемого образца во втором периоде сушки представляется в виде

$$\omega^c = 6,595 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 1,268 \cdot 10^{-2} \tau + 5,652 \cdot 10^{-1}. \quad (2)$$

Дифференцирование этого выражения позволяет получить зависимость изменения скорости сушки от времени для второго, падающего, периода сушки

$$\frac{d\omega^c}{d\tau} = 13,19 \cdot 10^{-5} \tau - 1,268 \cdot 10^{-2}. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3), в дальнейшем, используются студентом при построении кривой скорости сушки

$$d\omega^c/d\tau = f(\omega^c). \quad (4)$$

Пример кривой сушки для опытного образца приведен на рис.3.

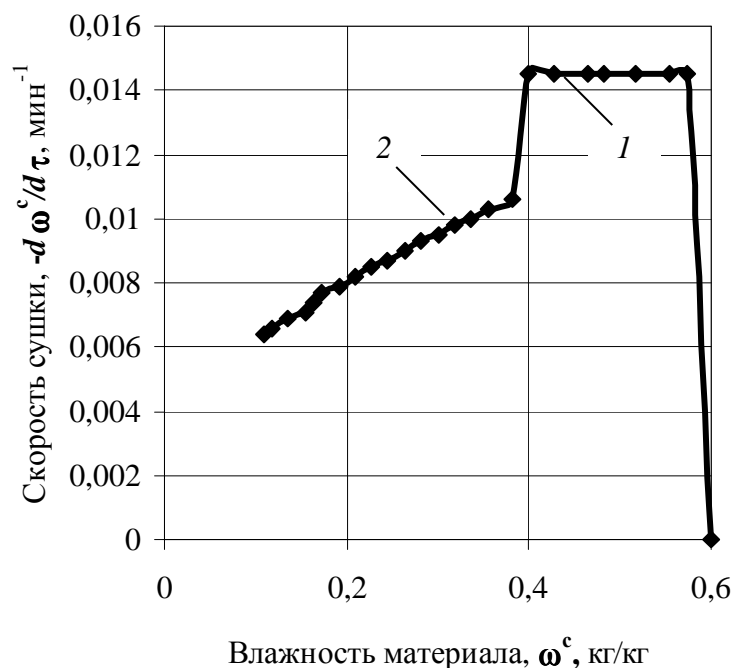


Рис. 3- Кривая скорости сушки:
1- первый период сушки; 2- второй период сушки

Дальнейшая методика выполнения работы по изучению кинетики сушки заключается в определении опытного значения коэффициента массоотдачи в газовой фазе для первого периода сушки и последующего его сравнения с расчетными значениями.

Численное значение опытного коэффициента массоотдачи в газовой фазе в первом периоде сушки определяет из известного уравнения массоотдачи [1]

$$\frac{\Delta M}{F\Delta\tau} = \beta_p (p_{\text{нас}} - p_{\text{п}}), \quad (4)$$

где ΔM – изменение массы образца в опыте, определяемое по разности начальной и конечной влажности опытного образца в первом периоде сушки, кг;

F – поверхность образца, м²;

$\Delta\tau$ – интервал времени сушки опытного образца, ч;

$p_{\text{нас}}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, определяемое по температуре мокрого термометра t_m в сушильной камере, мм рт.ст.;

$p_{\text{п}}$ – парциальное давление паров влаги в воздухе сушильной камеры, мм рт.ст.;

β_p – коэффициент массоотдачи в газовой фазе, кг/(м²·ч·мм рт.ст.).

Для сравнения полученного численного значения коэффициента массоотдачи в газовой фазе β_p в первом периоде сушки студентам предлагаются из справочной и учебной литературы [1–5] различные уравнения для расчета соответствующего коэффициента массоотдачи.

Предлагаются следующие расчетные уравнения:

- источник [1]

$$\beta = 0,00168 + 0,00128w, \quad (5)$$

где размерность $[\beta] = [\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм вод.ст})]$;

- источник [2]

$$\text{Nu}'_{\Gamma} = 0,347 \text{Re}_{\Gamma}^{0,65} (\text{Pr}'_{\Gamma})^{0,33} \text{Gu}^{0,135}, \quad (6)$$

где размерность $[\beta] = [\text{м}/\text{с}]$;

- источник [3]

$$\text{Nu}'_{\Gamma} = 2 + 0,83 \text{Re}_{\Gamma}^{0,57} (\text{Pr}'_{\Gamma})^{0,33}, \quad (7)$$

где размерность $[\beta] = [\text{м}/\text{с}]$;

- источник [4]

$$\beta_p = 5,6 \cdot 10^{-4} (w\rho)^{0,8}, \quad (8)$$

где размерность $[\beta] = [\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})]$.

- источник [5]

$$\text{Nu}'_{\Gamma} = 2 + 0,49 \text{Re}_{\Gamma}^{0,61} (\text{Pr}'_{\Gamma})^{0,33} \text{Gu}^{0,135}, \quad (9)$$

где размерность $[\beta] = [\text{м}/\text{с}]$.

В таблице приведены результаты сравнения коэффициентов массоотдачи в газовой фазе полученные студентами по условиям сушки опытного образца из уравнения (4) и из уравнений (5)–(9).

Результаты сравнения коэффициентов массоотдачи

Источник коэффициента	Коэффициент массоотдачи, β			
	м/с	кг/(м ² ·ч·мм вод.ст)	кг/(м ² ·ч·мм рт.ст)	кг/(м ² ·ч·Па)
Эксперимент			0,076	
Уравнение (5)		0,0027	0,037	
Уравнение (6)	0,0098		0,029	
Уравнение (7)	0,0144		0,042	
Уравнение (8)			0,062	0,000465
Уравнение (9)	0,0096		0,028	

Завершается работа анализом полученных результатов. Студенты должны сделать выводы о применимости тех или иных уравнений, использованных при обработке опытных данных, пояснить возможные причины погрешностей расчета.

Предлагаемый вариант выполнения лабораторной работы позволяет сформировать творческий подход студентов к работе в лаборатории, заинтересовать их в получении достоверных результатов, научить работе с технической литературой и дать представление о научно-исследовательской деятельности будущего специалиста.

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.– М.: Химия, 2009. – 752 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.– Л.: Химия, 2005. – 576 с.
3. Лабораторный практикум по процессам и аппаратам химической технологии: Учебное пособие. Под ред. проф. Г.С.Дьяконова. Казан. гос. технол. ун-т, Казань, 2005, – 236 с.
4. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
5. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. – М.: Химия, 1995. – 368 с.

Рецензенты:

Когтев С.Е., д.т.н., профессор, директор по развитию производства ООО «Синтез-ПКЖ», г. Дзержинск;

Сидягин А.А., д.т.н., профессор кафедры «Машины и аппараты химических и пищевых производств» ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Дзержинск.