

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2013

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Красноярский государственный университет

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

КРАСНОЯРСК 2013

Рецензент:

В.Н. Холопов, д-р техн. наук, проф. кафедры АТЛМ СибГТУ

Составители:

Ченцова Л.И.

Тепляшин В.Н.

Невзоров В.Н.

Ченцова, Л.И.

Изучение процесса сушки: метод. указания к выполнению лабораторных и практических работ / Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск 2013. - с.

Предназначено для студентов по направлению: 260100.62 «Продукты питания из растительного сырья», профили: «Технология хранения и переработки зерна», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий», «Технология бродильных производств и виноделия», «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов», «Технология консервов и пищевых концентратов»; 151000.62 «Технологические машины и оборудование», профиль «Пищевая инженерия малых предприятий», «Машины и аппараты пищевых производств». По специальности «Процессы и аппараты пищевых производств».

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

Красноярский государственный
аграрный университет, 2013

Основы теории

Сушкой называется процесс удаления влаги из различных сыпучих, пастообразных, кристаллических и волокнистых материалов путем испарения.

Наиболее распространенными способами сушки являются конвективный и контактный.

Контактная сушка материалов производится под атмосферным давлением и под вакуумом. Сушка под вакуумом идет быстрее, чем в атмосферных сушилках (при прочих равных условиях), так как с уменьшением давления в сушилке увеличивается разность парциальных давлений паров над материалом и в окружающей среде.

Сушилки под атмосферным давлением проще в устройстве и эксплуатации, нет дополнительного расхода энергии на создание и поддержание вакуума.

По своей физической сущности сушка - сложное тело - и массообменный процесс, скорость которого в основном определяется скоростью диффузии влаги в материале. Под влиянием температурного градиента возникает диффузия влаги из внутренних слоев к поверхности испарения и ее парообразование.

В зависимости от температурного режима процесса сушки, парообразование может начаться в первую очередь в слое, соприкасающемся с греющей поверхностью. Образовавшийся пар будет конденсироваться, соприкасаясь с более холодными слоями, нагревая их и частично испаряя, находящуюся в них влагу. Таким образом, процесс контактной сушки является типичным термодиффузионным процессом.

На характер и скорость сушки оказывают большое влияние следующие факторы: природа высушиваемого материала, форма высушиваемого материала, начальное и конечное влагосодержание материала, температура теплоносителя и т.д.

Единственной надежной характеристикой процесса сушки является кривая убыли влаги со временем, полученная опытным путем.

При сушке материала на греющей поверхности, как и при сушке в токе нагретого воздуха, наблюдается период постоянной скорости сушки и период падающей скорости сушки. В период постоянной скорости сушки поверхность материала покрыта пленкой влаги, и процесс сушки определяется скоростью диффузии образовавшихся

паров в окружающую среду. В период падающей скорости сушки процесс определяется интенсивностью подвода влаги из микрокапилляров к поверхности. Решающим фактором в этот период сушки является сопротивление внутренней диффузии.

Температура поверхности материала в первом периоде равна температуре мокрого термометра, в период падающей скорости сушки увеличивается, приближаясь к температуре греющей поверхности.

На основании экспериментальных данных, приведенных в таблице 1, строят график зависимости влажности материала от длительности сушки, $u=f(\tau)$, приведенная на рисунке 2.

По табличным данным и рисунку 6, определяют скорость сушки материалов в зависимости от влажности материала и строят график $\frac{du}{d\tau} = f(u_{cp})$, рисунок 7.

Скоростью сушки называется количество влаги, удаляемой с единицы поверхности в единицу времени.

$$u = \frac{W}{F\tau}, \text{ кг} / \text{ м}^2 \text{ с}, \quad (1)$$

где W - количество испаряемой влаги, кг; F - поверхность материала, м^2 ; τ - продолжительность сушки, с.

Как видно из приведенного графика, рисунок 7, в течение первого периода скорость сушки зависит от внешних факторов (температуры и давления). В первом периоде влагосодержание материала велико и влага из внутренних слоев поступает достаточно быстро, и поверхность материала всегда влажная. Температура в этом периоде остается постоянной.

Первый период называют постоянной скорости сушки и он продолжается до тех пор, пока содержание влаги в материале не уменьшится до определенной величины критического влагосодержания ($u_{кр}$).

После этой точки изменяется характер скорости сушки, начинается второй период падающей скорости сушки. В течение второго периода скорость сушки определяется скоростью подвода влаги из внутренних слоев поверхности. Для различных материалов вид кривой скорости сушки может быть различным, он уменьшается до u_p .

При расчете и проектировании сушильных камер любой конструкции важным фактором является определение длительности сушки. Продолжительность сушки материала составляет $\tau = \tau_1 + \tau_2$. (τ_1 , τ_2 - продолжительность сушки в первом и втором периоде).

Продолжительность сушки в первом и втором периоде определяется по уравнению:

$$\tau_1 = \frac{1}{K_1}(u_n - u_{кр}), \quad (2)$$

где K_1 - константа скорости сушки в первом периоде, с^{-1} ; она равна тангенсу угла наклона кривой изменения влажности материала к времени τ_1 ; u_n , $u_{кр}$ - начальное и критическое влагосодержание материала, отнесенное к абсолютно сухому сырью.

Продолжительность периода падающей скорости сушки зависит при данных параметрах сушильного агента в основном от физико-химических свойств материала и его структуры.

При инженерных расчетах длительность сушки во втором периоде определяется по формуле:

$$\tau_2 = \frac{u_{кр} - u_p}{K_1} \ln \frac{u_{кр} - u_p}{u_k - u_h}, \quad (3)$$

где u_p , u_k - равновесное и конечное влагосодержание материала на а.с.в.

Цель работы:

1. Построить график зависимости изменения влажности материала от времени сушки, $u=f(\tau)$.

2. Построить график зависимости скорости сушки от изменения влажности материала $\frac{\Delta u}{\Delta \tau} = f(u_{cp})$.

3. Определение длительности сушки для достижения заданного конечного влагосодержания и сопоставление с опытными данными.

Описание установки

Сушильный шкаф представляет собой чугунную закрывающуюся камеру (рисунок 1) с размерами внутреннего пространства Шкаф снабжен смотровым окном и закрывающейся плотно дверцей. На верхней крышке сушильного шкафа установлен

термометр, показывающий температуру внутри камеры. На противень, подвешенный к рычагу весов, загружается высушиваемый материал. Убыль веса фиксируется весами.

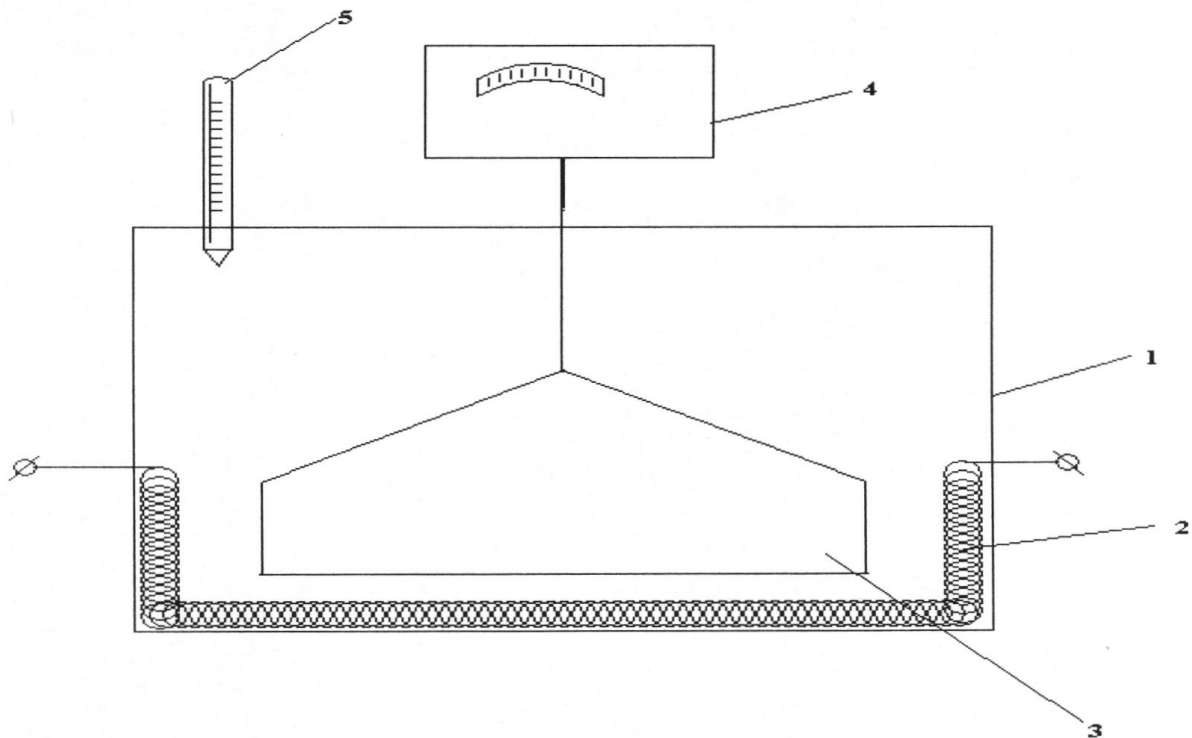


Рисунок 4 - Схема сушики:

1 - сушильный шкаф; 2 – электроспираль; 3 – противень; 4 – весы; 5 - термометр

Методика проведения работы

Влажный материал, предварительно взвешенный, загружают в сушильный шкаф на противень. Закрывают дверцу шкафа и через каждые 1...2 мин записывают показания весов. Опыт проводят до постоянного веса (три последних показания весов не изменяются), фиксируют температуру опыта. Все показания заносят в таблицу 1.

Записывают абсолютно сухую навеску материала. По формулам, приведенным в графах таблицы 1 проводят расчеты, строят графики зависимости $u=f(\tau)$, $\frac{\Delta u}{\Delta \tau} = f(u_{cp})$.

Рассчитывают длительность первого и второго периода сушки по приведенным выше формулам и сравнивают общее время сушки с опытными данными.

Высушиваемый материал -

Относительная влажность воздуха, поступающего в сушильную камеру φ , % -

Равновесная влажность материала U_p , % -

Масса абсолютно сухого материала $G_{\text{сух}}$, г -

Таблица 1 - Отчетная таблица

№ п.п.	Текущее время τ , мин	Интервал времени $\Delta\tau$, мин	Показания психометра °С		Показания термометра °С		Показания весов G , г	Рассчитанные величины				
			Термометры		На выходе из камеры t_2	У диафрагмы t_3		Содержание влаги в материале $W = G - G_{\text{сух}}$	Влажность материала, считая на а.с. В. $U = \frac{W}{G_c} \cdot 100\%$	Изменение влажности $\Delta U = U_i - U_{i+1}, \%$	Скорость сушки $\Delta U / \Delta \tau, \text{кг/кгс}$	Среднее влагосодержание материала за время между двумя замерами $U_{\text{ср}} = \frac{U_i - U_{i+1}}{2}$
			Сухой t_1	Мокрый t_b								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		-								-	-	-
Среднее							-	-	-	-	-	-

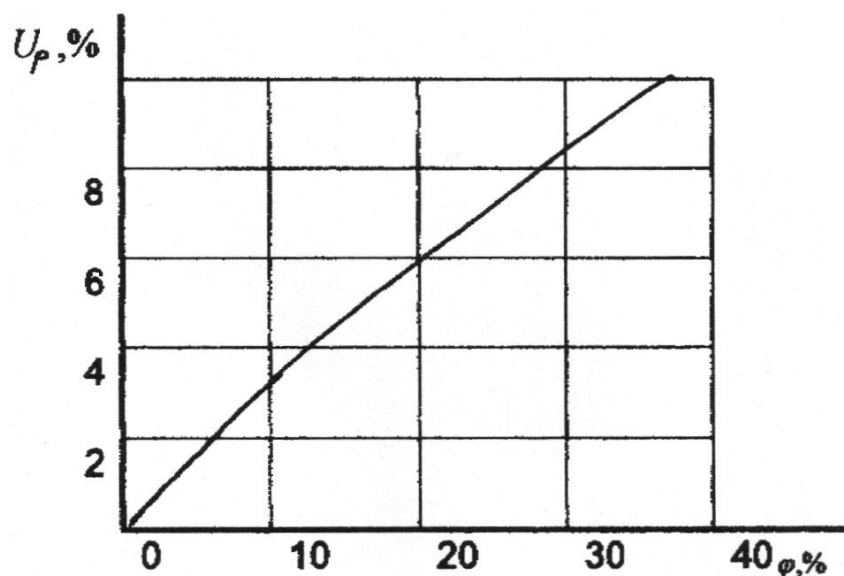


Рисунок 5 - Зависимость равновесного влагосодержания материала (% к общей массе) от относительной влажности воздуха, поступающего в сушилку, при 90 °С

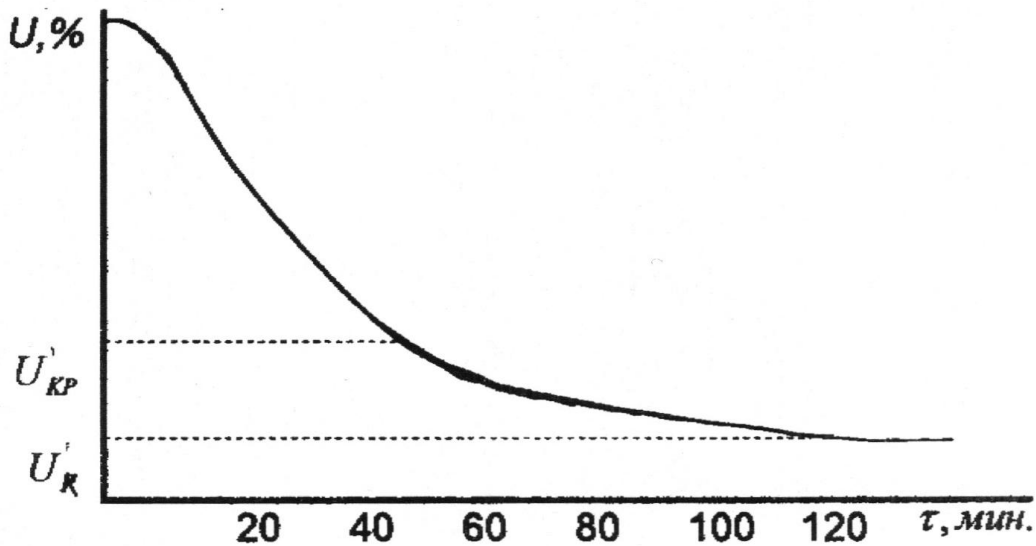


Рисунок 6 - Зависимость влагосодержания от времени

Скорость воздуха w_u , м/с, в циркуляционном трубопроводе определяют по формуле:

$$w_u = a \frac{d^2}{D^2} \sqrt{\frac{2pH}{p_b}} \quad (4)$$

где a - коэффициент расхода диафрагмы, $a = 0,636$; d - диаметр отверстия диафрагмы, 50 мм; D - диаметр трубопровода, мм; h - показание дифференциального манометра, м.вод.ст.; p_b - плотность воздуха, кг/м^3 (рассчитываются по среднему за опыт значению t_3); p - плотность жидкости, залитой в дифференциальный манометр, кг/м^3

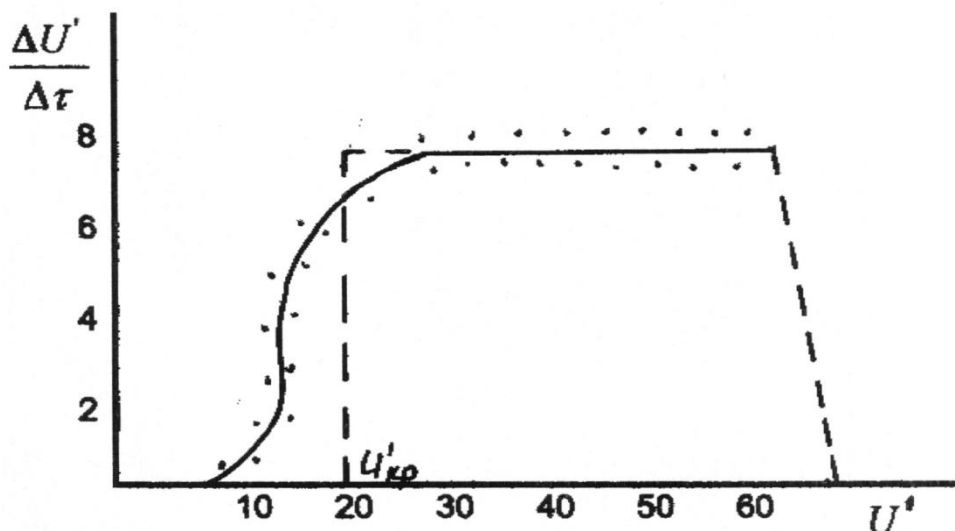


Рисунок 7 - Зависимость скорости сушки от влагосодержания

Контрольные вопросы к работе

1. Что называется процессом сушки ?
2. Что является движущей силой процесса сушки ?
3. От чего зависит скорость сушки и в каких единицах она измеряется ?
4. Чем определяется скорость сушки в первом периоде ?
5. Чем определяется скорость сушки во втором периоде ?
6. Что такое равновесное влагосодержание материала и от чего зависит его величина ?
7. Что такое критическое влагосодержание материала ?
8. Как измеряется температура материала в процессе конвективной сушки ?
9. Почему при сушке влага в материале перемещается из внутренних слоев к поверхности ?
10. Основные свойства влажного воздуха ?
11. По показаниям каких приборов и как можно найти относительную влажность воздуха пользуясь диаграммой $I-x$?
12. Изображение процессов сушки на диаграмме $I-x$?

Библиографический список

Основная литература

1. Кавецки Г.Д., Васильев В.В. «Процессы и аппараты пищевой технологии». М.: Колос, 2010. – с. 551.
2. Ларин В.А., Малахов Н.Н., Плаксинов Ю.В. «Процессы и аппараты пищевых производств». М.: Колос, 2008. – с. 350.
3. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова, Т.В. Борисова, КрасГАУ, - Красноярск, 2004. – с. 112.
4. Ченцова Л.И. «Процессы и аппараты пищевых производств. Массообменные процессы», учеб. пособие \Л.И. Ченцова, М.Н. Шайхудинова. – КрасГАУ, - Красноярск, 2009. – с. 163.

Дополнительная литература

1. Борисова Г.В. Основные свойства пищевого сырья, полуфабрикатов и продуктов. Справочное пособие. – КрасГАУ, - Красноярск, 2008. – с. 980.
2. Левин Б.Д., Ченцова Л.И., Шайхутдинова М.Н., Ушанова В.М. Процессы и аппараты химических и биологических технологий. Учеб. пособие для студентов химических специальностей вузов / под общ. ред. д – ра. хим. Наук С.М. Репяха. – Красноярск: Сибирский государственный университет, 2002. – с. 430.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 2 – е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. – с. 496.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов под ред. чл. – корр. АН России П.Г. Романкова. – 12- -е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – с. 576.

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ

*Методические указания к выполнению
Лабораторных и практических работ*

Составители: Л.И. Ченцова, В.Н. Тепляшин, В.Н. Невзоров

Редактор