

ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. КАРНАУШЕНКО

Украина, Г. Керчь,

Керченский государственный морской технологический университет

Научно-технический прогресс требует проведения фундаментальных исследований и постановки большого количества поисковых работ с целью:

- создания принципиально новой, более усовершенствованной технологии и техники;
- интенсификации существующих процессов, технологий и технологического оборудования.

В связи с этим основные проблемы и направления развития пищевых производств включают фундаментальные исследования тепло- и массообмена сложных пищевых систем. Внедрение нового технологического процесса всегда сопровождается исследованиями, которые проводятся на основе определенных теоретических и экспериментальных методов, исследуются также и действующие производственные объекты для установления оптимальных условий их работы. С целью определения нормативных показателей работы и характеристик режимов работу машин и аппаратов, а также процессов, которые в них происходят, можно изучать на малогабаритных экспериментальных (исследовательских) образцах и в лабораториях на моделях.

При изучении массообменных процессов и аппаратов для студентов высших учебных заведений III-IV уровней аккредитации направлений 6.050503 «Машиностроение» и 6.051701 «Пищевые технологии и инженерия» в курсе дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств» мы предлагаем *лабораторную работу «Экспериментальное исследование процесса терморadiaционной сушки дисперсных материалов».*

В связи с вышесказанным **целью** данной статьи является рассмотреть на примере лабораторной работы «Экспериментальное исследование процесса терморadiaционной сушки дисперсных материалов» методы обучения студентов выбору способа сушки сырья растительного или животного происхождения, а также планированию

эксперимента.

Цель лабораторной работы: ознакомление с особенностями сушки инфракрасными лучами; изучение кинетики процесса терморadiационной сушки при различном подводе теплоты.

Теоретические сведения. Сушкой называется процесс удаления влаги из твердых влажных, пастообразных или жидких материалов (суспензий) путем ее испарения и отвода образовавшихся паров. Сушка является сложным тепломассо-обменным процессом. Скорость сушки во многих случаях определяется скоростью внутри диффузионного переноса влаги в твердом теле. В производстве многих пищевых продуктов сушка, как правило, является обязательной операцией и представляет достаточно энергоемкую технологическую стадию процесса. От аппаратурно-технологического оформления и режима сушки зависит в большой степени качество продукта.

Терморadiационной называется сушка, осуществляемая путем передачи теплоты инфракрасными излучателями. При сушке инфракрасными лучами теплота для испарения влаги подводится термоизлучением. Инфракрасное излучение имеет ту же физическую природу, что и световое излучение, – это электромагнитные колебания, но с длиной волны 0,77-340 мкм.

В качестве генераторов инфракрасного излучения применяют специальные зеркальные лампы (температура нити около 2200-2500 К), кварцевые трубки (температура нити около 2550 К), электронагревательные элементы сопротивления (температура поверхности 873-1173 К) и газовые горелки инфракрасного излучения, в которых происходит беспламенное сжигание газа (температура поверхности 1073-1173 К).

Согласно закону Вина, при повышении температуры излучателя длина волны максимума энергии излучения уменьшается:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{2886}{T},$$

где $\lambda_{\text{макс}}$ – длина волны максимума излучения, [мкм]; T – температура генератора излучения, [К].

В зависимости от свойств облучаемого материала и температуры излучателя, от которой зависит длина волны, инфракрасные лучи способны проникать в толщу материала. Экспериментально показано, что для многих пищевых продуктов с уменьшением длины волны глубина проникновения в материал увеличивается.

Проницаемость материала зависит от многих факторов: структуры и радиационных характеристик его поверхности, влагосодержания, форм связи влаги в материале, пористости материала и т.д.

Для пищевых продуктов глубина проникновения коротковолновых инфракрасных лучей составляет 1-7 мм и достигает 12 мм и более (пшеничный хлеб). Чем глубже расположен слой, тем меньше доля лучистой энергии, проникающей в него. Приблизительно можно принять, что пропускание энергии излучения подчиняется экспоненциальной зависимости:

$$D_{\lambda} = D_0 \cdot e^{-b_{\lambda}x},$$

где D_{λ} – проницаемость слоя, [%]; $D_0 = 1 - R_0$ – доля лучистой энергии, воспринятой поверхностью материала, [%]; R_0 – величина, учитывающая отражение лучей поверхностью материала; e – основание натурального логарифма; b_{λ} – коэффициент ослабления лучей; x – глубина расположения (толщина) слоя.

Описание лабораторной установки

В данной лабораторной работе рассматривается работа ламповой терморadiационной сушилки.

Схема лабораторной установки изображена на рис. 1. Основные узлы установки, предназначенной для терморadiационной сушки влажных материалов, смонтированы на плите основания (фундаменте) 5,

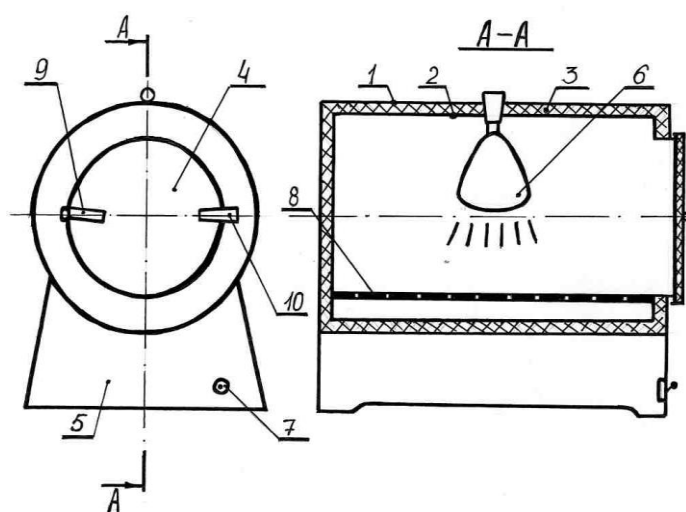


Рис. 1. Установка терморadiационной сушки

которая имеет регулируемые опоры для установки прибора на столе. На основании 5 установлен корпус установки, состоящий из кожуха 1 и внутреннего контейнера 2, между ними находится слой изоляции 3. Изоляцией является листовый асбест, который также является ограждением. Лампа-генератор инфракрасного излучения 6 типа «ЭС-3» ($N = 500$ Вт, $V = 220$ В) устанавливается в корпус при помощи крепежа. Энергия излучения лампы используется для высушивания навески материала. В передней части кожуха имеется откидная дверца 4, через которую производится загрузка и выемка высушиваемой навески материала. Высушиваемые навески помещаются на полку 8.

Откидная дверца 4 снабжена держателем 9 и фиксатором закрытия 10. Пуск и завершение работы установки осуществляется при помощи выключателя 7.

Методика выполнения работы и обработка опытных данных

1. Открывают дверцу терморadiационной установки и помещают в нее (на полку) термостойкий термометр. Закрывают дверцу и тумблером включают лампу – генератор инфракрасного излучения.

2. Взвешивают на весах 5-6 пустых бюксов, на них помещают навески влажного материала (каждая по 3-5 г). Затем бюксы с навесками опять взвешивают.

3. При достижении температуры, равной 150 °С, бюксы с навесками помещают в установку (на полку). После этого плотно закрывают дверцу установки и отмечают время начала опыта. Процесс сушки материала ведут двумя способами. Первый способ заключается в непрерывном ведении процесса, а второй – в режиме осциллирования, который заключается в том, что процесс сушки материала чередуют с «отлежками» в течение заданного времени с целью распределения влаги по объему материала. Результаты заносят в табл. 1 и 2.

4. В ходе сушки бюксы с навесками материала поочередно один за другим вынимают из сушилки с интервалом 4-6 мин., охлаждают и взвешивают. Для определения начальной влажности материала одну его навеску высушивают до постоянной массы (до тех пор, пока два очередных взвешивания этой навески не дадут одинакового результата). Результаты взвешиваний записывают в табл. 1. Перед началом сушки в табл. 1 записывают массы пустых бюксов и массы навески с бюксами до сушки.

Таблица 1

Опытные и расчетные величины (первый способ)

Время замеров, мин.	Масса бюкса, г	Масса навески с бюксом до сушки, г	Масса навески с бюксом после сушки, г	Масса навески после сушки, г	Сухая масса навески, г	Масса влаги в навеске до сушки, г	Масса влаги в навеске после сушки, г	Влажность после сушки, %	Скорость сушки, %/мин

Для изучения процесса сушки преподаватель задает или предлагает на выбор продукт, указывая при этом начальную и конечную влажность продукта. Если нет справочных данных по начальной влажности, тогда для ее определения, одну из

навесок высушивают до постоянной массы (до тех пор, пока два очередных взвешивания не дадут одинакового результата). Перед началом сушки в таблицу 1 заносят массу бюксы, массу навески с бюксой до сушки.

Таблица 2

Опытные и расчетные величины (второй способ)

Время замеров, мин.	Время отлежки, мин.	Масса бюкса, г	Масса навески с бюксом до сушки, г	Масса навески с бюксом после сушки, г	Масса навески после сушки, г	Масса влаги в навеске до сушки, г	Масса влаги в навеске после сушки, г	Влажность после сушки, %	Скорость сушки, %/мин

6. Определяют начальную влажность материала по формуле:

$$W_0^c = \frac{G_{вл}}{G_1} \cdot 100\% ,$$

где $G_{вл} = G_1 - G_k$ - масса влаги в навеске (в граммах); G_1 – масса влажного образца до сушки (в граммах); G_k – масса материала после сушки до постоянного веса (в граммах).

7. Рассчитывают сухую массу каждой навески материала по формуле:

$$G_{сyx} = \frac{G_1}{100 + W_0^c} \cdot 100\% .$$

Расчет ведется при условии одинаковой начальной влажности материала.

8. Определяют влажность после сушки для каждой навески материала по формуле:

$$W_n^c = \frac{G_{вл}}{G_{сyx}} \cdot 100\% ,$$

где $G_{вл} = G_n - G_{сyx}$ – масса влаги в каждой навеске материала [г]; G_n – масса каждой навески материала после сушки [г]; $G_{сyx}$ – сухая масса каждой соответствующей навески материала [г].

Результаты расчетов заносят в табл. 1 и 2.

9. По результатам опытов строят *кривую сушки* в координатах $(W_n^c; \tau)$, а затем методом графического дифференцирования строят кривую скорости сушки в координатах $dW_n^c / d\tau; W_n^c$ для непрерывного и в режиме осцилляции методов

сушки материала.

Кривая сушки. Зависимость между средней влажностью материала и временем сушки изображается кривой сушки. Типичная кривая сушки состоит из нескольких участков, соответствующих различным периодам сушки (рис. 2). После периода прогрева материала до температуры сушки (участок АВ) наступает период постоянной скорости сушки (1 период). В этот период температура материала принимает значение, равное температуре мокрого термометра. В период постоянной скорости сушки теплота, подводимая к материалу, расходуется на испарение свободной влаги. Период постоянной скорости сушки изображается прямой линией с постоянным тангенсом угла наклона (отрезок ВС). Этот период продолжается до достижения первой критической влажности $W_{кр.1}^c$.

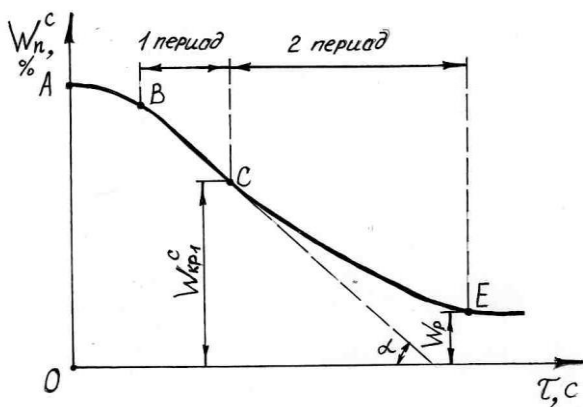


Рис. 2 Кривая сушки

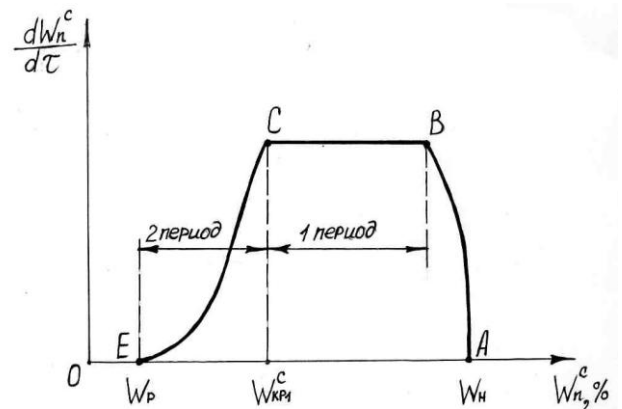


Рис. 3 Кривая скорости сушки

Начиная с $W_{кр.1}^c$, наступает период падающей скорости. В этом периоде снижение влажности материала выражается кривой CE. В период падающей скорости удаляется связанная влага и температура материала повышается. В конце сушки влажность материала приближается к равновесной влажности W_p . При достижении равновесной влажности прекращается удаление влаги из материала. В этот момент температура материала достигает значения, равного температуре окружающего материал теплоносителя.

Скорость сушки. Скорость сушки представляет собой изменение влажности (влагосодержания) в единицу времени. Влажность материала обычно выражается в [%], влагосодержание в [c^{-1}].

Скорость сушки для данной влажности материала выражается тангенсом угла наклона касательной, проведенной к точке кривой сушки, определяющей влажность.

По данным о скорости сушки строится кривая скорости сушки (рис. 3). Горизонтальный отрезок ВС определяет скорость в первом периоде сушки, а отрезок СЕ – во втором периоде сушки.

По результатам расчетов и графических построений делают соответствующие выводы по определению рационального режима и параметров сушки для заданного материала.

После выполнения лабораторной работы предлагаем контрольные вопросы, которые дают возможность преподавателю проверить качество усвоенного студентами материала:

1. Физическая сущность инфракрасного излучения.
2. Области применения инфракрасного излучения.
3. Особенности температурного поля при сушке инфракрасными лучами.
4. Основные типы генераторов излучения.
5. Зависимость между температурой генератора излучения, длиной волны и глубиной проникновения лучей в пищевые продукты.
6. Преимущества терморadiационной сушки по сравнению с конвективной.
7. Основные элементы экспериментальной установки.
8. Методика построения кривых сушки и скорости сушки.
9. Анализ опытных данных.
10. Сделать вывод о выборе того или другого режима сушки.

Выводы. Выполняя описанную работу, студенты закрепляют умения и навыки выполнять физический эксперимент, применять знания на практике, усваивают понятия физических величин, которые описывают массообменные процессы.

С другой стороны, выполняя одну и ту же лабораторную работу двумя способами, студенты учатся выбирать более рациональные режимы процесса сушки, а также планировать дальнейшие экспериментальные исследования, что является необходимым для самостоятельного выполнения курсовых, дипломных или магистерских работ.

Литература:

1. Поперечний А.М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв : підручник / А.М. Поперечний, В.О. Потапов, В.Г. Корнійчук. – К., 2012. – 312 с.
2. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К. : НУХТ, 2003. – 400 с.

Надійшло до редакції 14.10.2013 року