

УДК 372.8

ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ ВЫБОРУ МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Карнаушенко Юлия Викторовна
г. Керчь

У виборі способу сушіння сировини рослинного або тваринного походження необхідно планувати відповідні методи наукового експерименту. У статті на прикладі лабораторної роботи «Експериментальне дослідження процесу терморадіаційного сушіння дисперсних матеріалів» розглядаються методи навчання студентів вибору способу сушіння сировини рослинного або тваринного походження.

Ключові слова: харчове виробництво, лабораторна робота, процес сушіння, процес терморадіаційне сушіння, кінетика сушіння.

Главная цель работы пищевого предприятия – выпуск качественного продукта при наименьших материальных, энергетических и человеческих затратах и высокой продуктивности работы, что является требованиями научно-технического прогресса в этой области промышленности. Поэтому исследователями проводится большое количество фундаментальных исследований и поисковых работ с целью создания принципиально новой, более усовершенствованной технологии и техники, а также 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, что отмечается в работах А. Лыкова, О. Бурдо, В. Корнейчука, Ф. Малевича, Н. Погожих, А. Поперечного, В. Потапова, Г. Филоненко и других специалистов по пищевым процессам и технологиям.

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 эффективных 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 терморадіаційної сушки дисперсних матеріалів» [1].

Поэтому целью данной работы является рассмотреть подходы к обучению студентов при изучении процесса сушки сырья растительного или животного происхождения методом моделирования, а также

планированию эксперимента на примере лабораторной работы «Экспериментальное исследование процесса терморадіаційної сушки дисперсних матеріалів».

Цели лабораторной работы: 1) ознакомление студентов с особенностями сушки инфракрасными лучами; изучение кинетики процесса терморадіаційної сушки при различном подводе теплоты; 2) научить студентов выбору методов исследования и подбора режимов сушки, необходимых для исследования сушки пищевых продуктов.

Теоретические сведения. Сушкой называется процесс удаления влаги из твердых и пастообразных влажных или жидких материалов (суспензий) путем ее испарения и отвода образовавшихся паров. Сушка является сложным теплообменным 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.

Терморадіаційної 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 с длиной волны 0,77-340 мкм.

В качестве генераторов инфракрасного излучения применяют специальные зеркальные лампы (температура нити накала около 2200-2500 К), кварцевые трубки (температура нити накала 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].

Инфракрасные лучи способны проникать в толщу материала. Экспериментально показано, что для многих пищевых продуктов с уменьшением длины волны температура и глубина проникновения в материал увеличиваются. Проницаемость материала зависит от многих факторов: структуры и радиационных характеристик его поверхности, влагосодержания, форм связи влаги в материале 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 проникающей в него лучистой энергии. Приблизительно можно принять, что пропускание энергии излучения подчиняется экспоненциальной зависимости:

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

где D_{λ} – проникаемость 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 (рис. 1). Основные узлы установки, предназначенной для терморadiационной сушки влажных материалов, смонтированы на плите основания (фундаменте) 5, 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 листовая асбест, который также является ограждением. Лампа-генератор инфракрасного излучения 6 типа «ЭС-3» ($N = 500 \text{ Вт}$, $V = 220 \text{ В}$) устанавливается в корпус при помощи крепежа. Энергия излучения лампы используется для высушивания 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.

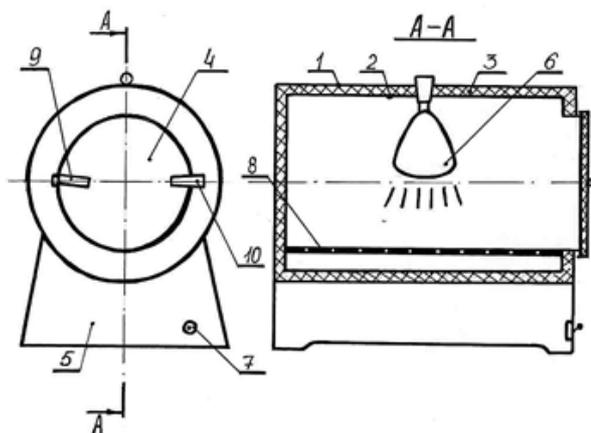


Рис. 1. Установка терморadiационной сушки

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 (по 3-5 г). Затем бюксы с навесками опять взвешивают.

3. При достижении температуры, равной 150°C , 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 таблицы 1 и 2.

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 вы-

сушивают 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 бюксом 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 |
|---------------------|---------------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | | |

4. В ходе сушки бюксы с навесками материала поочередно один за другим вынимают из сушилки с интервалом 4-6 мин., охлаждают и взвешивают. Результаты взвешиваний записывают в таблицу 1.

Влажность материала может быть выражена в процентах либо от общей массы влажного материала u , либо от массы сухого вещества W_n^c . Величины u и W_n^c связаны соотношениями:

$$W_n^c = \frac{100u}{100 - u} \quad u = \frac{100W_n^c}{100 + W_n^c}$$

5. Определяют начальную влажность материала по формуле:

$$u_H = \frac{G_{вл} \cdot 100}{G_1}$$

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).

Расчет ведется при условии одинаковой начальной влажности материала.

6. Определяют влагосодержание после сушки для каждой навески материала по формуле:

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

где $G_{вл} = G_n - G_{сух}$ - масса влаги в каждой навеске материала [г]; G_n - масса каждой навески материала после сушки [г]; $G_{сух}$ - количество сухих веществ в материале [г]. Результаты расчетов заносят в таблицы 1 и 2.

7. Количество испаренной в сушилке влаги W [кг/с] при изменении влажности материала от u_H до u_K определяем по формуле:

$$W = G_H \frac{u_H - u_K}{100 - u_K} \quad \text{или} \quad W = G_E \frac{u_H - u_K}{100 - u_H}$$

где G_H - производительность сушилки по влажному материалу [кг/с], определяется по формуле:

$$G_H = G_K \frac{100 - u_K}{100 - u_H}$$

а G_K - производительность сушилки по высушенному сырью [кг/с] определяется по формуле:

$$G_K = G_H \frac{100 - u_H}{100 - u_K}$$

В которой u_H - начальная влажность материала [%]; u_K - конечная влажность материала [%].

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 осциллирующего режимов 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)

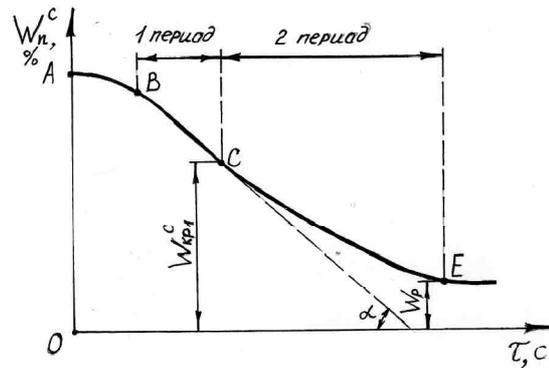


Рис. 2 Кривая сушки

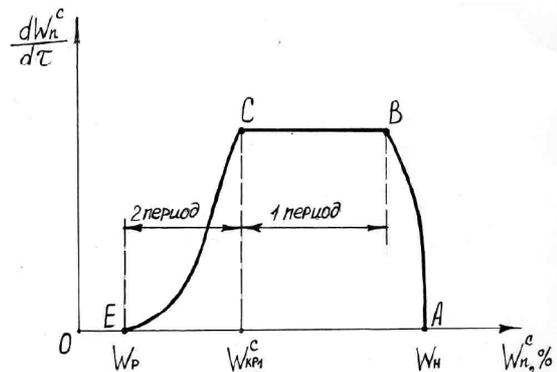


Рис. 3 Кривая скорости сушки

наступает период постоянной скорости сушки (1 период). В этот период температура материала принимает значение, равное температуре мокрого термометра. В период постоянной скорости сушки тепло, 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 (влагосодержания) $W_{кр.1}^c$, начиная с которой наступает период падающей скорости. В этом периоде снижение влажности материала выражается кривой СЕ. 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.

Кинетика сушки. Сушка, как было указано выше, является сложным тепло-массообменным процессом. Влага из материала к поверхности раздела фаз перемещается за счет массопроводности, а от по-

верхности раздела фаз в ядро газового потока – за счет конвективной диффузии.

Диффузия влаги в материале происходит не только вследствие градиента влагосодержания материала, но и под действием температурного градиента. Кинетика сушки характеризуется изменением во времени средней влажности материала или влагосодержания.

Для определения скорости сушки опытным путем получают кривую сушки, а затем, дифференцируя ее, – кривую скорости сушки, при этом приводят графические зависимости для непрерывного и в режиме осциллирования методов сушки материала.

Скорость сушки. Скорость сушки представляет собой изменение влажности (влагосодержания) в единицу времени. Влажность материала обычно обозначается « u » и измеряется в [%], а влагосодержание определяется произведением $W_n^c \cdot 60$ и измеряется в [% / с].

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 следующие контрольные вопросы, которые дают возможность преподавателю диагностировать качество усвоенного студентами материала.

1. В чем заключается физическая сущность инфракрасного излучения. Назвать области применения инфракрасного излучения. Назвать основные типы генераторов излучения. В чем заключаются преимущества терморadiационной сушки по сравнению с конвективной?

2. В чем заключаются особенности температурного поля при сушке инфракрасными лучами. Записать и проанализировать зависимость между температурой генератора излучения, длиной волны и глубиной

проникновения лучей в пищевые продукты.

3. Назвать основные элементы экспериментальной установки.

4. В чем заключается методика построения кривых сушки и скорости сушки?

5. Проанализировать полученные Вами опытные данные. Как они зависят от способа сушки? Сделать вывод о выборе того или другого режима сушки для данного материала. Можно ли этот режим использовать для любого другого материала?

Предложенная методика выполнения лабораторной работы дает студентам возможность изучения процесса сушки продуктов растительного и животного происхождения методом моделирования, а также с методикой самостоятельного планирования эксперимента. Выполняя 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.

Выводы. Рассмотренный метод по обучению студентов при изучении процесса сушки сырья растительного или животного происхождения на примере лабораторной работы «Экспериментальное исследование процесса терморadiационной сушки дисперсных материалов» позволяет научить студентов анализу и выбору оптимальных режимов процесса сушки, что для них является необходимым в дальнейшей самостоятельной познавательной и исследовательской деятельности.

В связи с вышеизложенным перспективу дальнейшего методического поиска мы видим в разработке новых лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлениям 6.050503 «Машиностроение» и 6.051701 «Пищевые технологии и инженерия», в курсе дисциплины «Процессы и аппараты пищевых производств». Целью таких работ должно быть приобретение умений и навыков по изучению процесса сушки путем моделирования как самостоятельного исследования.

Література та джерела

1. Карнаушенко Ю.В. Лабораторная работа «Экспериментальное исследование процесса терморadiационной сушки дисперсных материалов» / Ю.В. Карнаушенко // Сучасна освіта у гуманістичній парадигмі : IV Міжнар. наук.-практ. конф., 12-15 вересня 2013 р.: зб. наук. праць / Керч. держ. мор. технол. ун-т. – Керчь: РВВ КДМТУ, 2013. – С. 39-44.
2. Поперечний А.М. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник / А.М.Поперечний, В.О.Потапов, В.Г.Корнійчук. – К., 2012. – 312 с.
3. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежика. – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.

При выборе способа сушки сырья растительного или животного происхождения необходимо планировать соответствующие методы научного эксперимента. В статье на примере лабораторной работы «Экспериментальное исследование процесса терморadiационной сушки дисперсных материалов» рассматриваются методы обучения студентов выбору способа сушки сырья растительного или животного происхождения.

Ключевые слова: пищевое производство, лабораторная работа, процесс сушки, процесс терморadiационной сушки, кинетика сушки.

When choosing a drying method for raw materials of plant or animal origin it is necessary to plan appropriate methods of scientific experiment. The article represents the methods of teaching the students to choose the method for drying of raw materials of plant or animal origin on the example of a lab “The Experimental Study of Thermoradiation Drying of Dispersed Materials”.

Key words: food processing, laboratory work, the process of drying, the process of thermoradiation drying, kinetics of drying.