

УДК 66.047.3.085.1

DOI 10.21661/r-559356

Демидов С.Ф., Пелевина Л.Ф., Васильева Е.Ю.

О НЕКОТОРЫХ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПРОЦЕССА ПОДСУШКИ КУКУРУЗНОГО КРАХМАЛА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫДЕЛЕННОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЙНЫХ КОНФЕТ

***Аннотация:** авторами произведены экспериментальные исследования процесса подсушки кукурузного крахмала для производства желейных конфет инфракрасным излучением выделенной длиной волны до заданного влагосодержания в зависимости от технологических и динамических параметров.*

***Ключевые слова:** инфракрасное излучение, кукурузный крахмал, время, влагосодержание, желейные конфеты, подсушка.*

В Колледже бизнеса и технологии «Санкт-Петербургского экономического университета» проводятся исследования по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [1–4].

Наиболее распространенным и высокопроизводительным способом формирования конфетных корпусов в настоящее время является отливка в формы, которые могут иметь различную конфигурацию. Вследствие значительной адгезии желейных масс ко многим конструкционным материалам и отсутствия усадки при затвердевании конфетных масс формы для конфет изготавливают из формовочного материала, в частности кукурузного крахмала. Кукурузный крахмал в процессе производства желейных конфет должен удовлетворять следующим требованиям: при штамповке образовывать неосыпающиеся формы с гладкой поверхностью, не прилипать к поверхности штампов, хорошо поглощать влагу из отливаемой массы, легко удаляться с поверхности отформованных изделий при очистке щетками и обдувке, не иметь посторонних примесей, неприятного запаха и вкуса. Большое влияние на качество форм и на качество получаемых желейных конфет оказывает влажность используемого крахмала. Рекомендуется

поддерживать влажность крахмала в пределах от 5 до 9%. При влажности крахмала менее 5% формы из него легко осыпаются, что приводит к образованию возвратных отходов. С повышением влажности осыпаемость форм уменьшается, их поверхность становится более гладкой. Однако излишне влажный крахмал прилипает к поверхности штампа при получении форм. С повышением влажности крахмала понижается его способность поглощать влагу из отлитой конфетной массы, что замедляет процессы структурообразования, формирования и затвердения корочки изделий, и, следовательно, удлиняется процесс выстойки конфетных корпусов. Кроме того, при влажности более 9% возникает опасность увеличения микробиологической обсемененности крахмала. При отливке конфетных масс часть крахмала (около 0,4%) прилипает к поверхности корпусов конфет настолько прочно, что не может быть удалена ни щетками, ни обдувкой воздухом. При многократном использовании крахмала он увлажняется, засоряется крошками конфетных масс. Для восстановления необходимых качеств формирующего материала крахмал подсушивают до влажности не менее 5% при температуре не выше 60°C. При освоении дисциплины студентами «Оборудование для производства сахаристых кондитерских изделий» проведены данные исследования.

Целью данной работы является получение кинетических закономерностей процесса подсушки кукурузного крахмала инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1.5–3.0 мкм с плотностью теплового потока 4,18 кВт/м², высотой слоя продукта 20 мм в зависимости от расстояния инфракрасного излучателя до слоя кукурузного крахмала при достижении до конечного влагосодержания 6 кг/кг и температуры 57 до 61°C. Исследования кинетики подсушки кукурузного крахмала инфракрасным излучением проводились на экспериментальном стенде (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования процесса подсушки кукурузного крахмала инфракрасным излучением. 1 – сушильная камера, 2 – хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термопары, 3 – датчики плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-П-50-50-Ж-О, 4 – измеритель теплопроводности ИТ-2, 5 – персональный компьютер

В сушильной камере установлены инфракрасные излучатели. В качестве генераторов инфракрасного излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с функциональной керамической оболочкой. Каждый излучатель устанавливается в фокусе параболического отражателя. Инфракрасные излучатели установлены сверху относительно тефлоновой ленты. Инфракрасные излучатели и тефлоновая лента перемещаются с помощью направляющих в вертикальном направлении. На тефлоновую ленту помещается слой кукурузного крахмала. Перемещение тефлоновой ленты позволяет регулировать расстояние между инфракрасными излучателями и тефлоновой лентой. Для измерения напряжения на клеммах инфракрасных излучателей в диапазоне 210–220 В используется вольтметр. Для снятия температурных полей в слое кукурузного крахмала используются хромель-алюмелевые ТХА 9419–23 термопары градуировки $ХА_{94}$ с диаметром проволоки $6 \cdot 10^{-4}$ м. Измерение температуры поверхности облучаемого материала производится при помощи дистанционного неконтактного инфракрасного термометра Raytek MiniTemp MT6. Измерение

плотности теплового потока осуществлялось при помощи термоэлектрических датчиков плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-П-50-50-Ж-О. Измеритель температуры многоканальный ИТ–2 предназначен для автоматического измерения и регистрации температуры ($^{\circ}\text{C}$), а также плотности теплового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$) по 16 каналам при помощи подключаемых к прибору датчиков плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-П-50-50-Ж-О и хромель-алюмелевых ТХА 9419-23 (ХА_{94}) термопар с последующей передачей данных на персональный компьютер (ПК) по интерфейсу RS–232. Результаты измерения (в мВ, $\text{Вт}/\text{м}^2$ или $^{\circ}\text{C}$) записываются в файл и выводятся на монитор ПК в виде таблицы. Убыль массы кукурузного крахмала в процессе подсушки измеряется устройством автоматического взвешивания, разработанного на базе электронных аналитических весов GF–600.

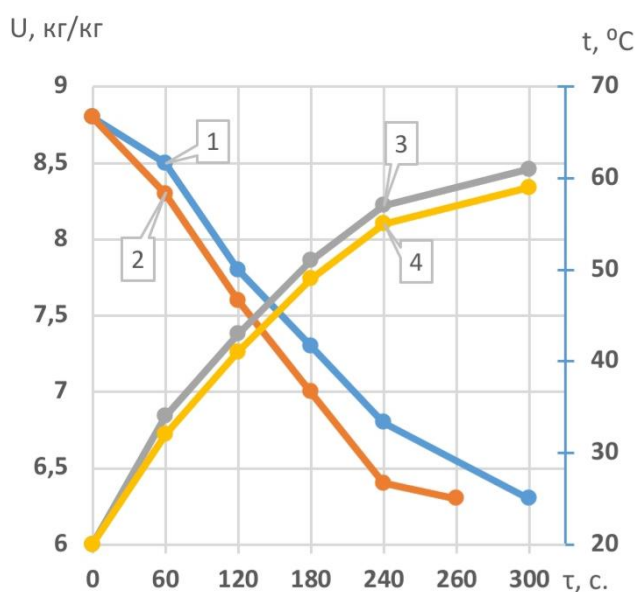


Рис.2. Графики зависимости процесса сушки инфракрасным излучением слоя кукурузного крахмала слоя высотой 10 мм при плотности теплового потока инфракрасного излучателя $4,18 \text{ кВт}/\text{м}^2$: 1 – $\bar{U} = \bar{U}(\tau)$, расстояние от слоя кукурузного крахмала до инфракрасного излучателя 60 мм; 2 – $\bar{U} = \bar{U}(\tau)$, расстояние от слоя продукта до инфракрасного излучателя 40 мм; 3 – $t = t(\tau)$, расстояние от слоя продукта до инфракрасного излучателя 60 мм на поверхности слоя продукта; 4 – в центре слоя продукта

Анализ кривых графиков зависимости кинетики сушки кукурузного крахмала показал, что время сушки кукурузного крахмала от начального влагосодержания 8,8 кг/кг до конечного влагосодержания 6 кг/кг, при расстоянии от инфракрасного излучателя до слоя продукта 40 мм, плотности теплового потока 4,18 кВт/м² и при расстоянии от инфракрасного излучателя до слоя продукта 60 мм увеличивается на 40–50 с. Инфракрасное излучение определенной длины волны активно поглощается водой, содержащейся в продукте, но не поглощается тканью продукта, поэтому удаление влаги происходит при невысокой температуре (60°C). Из графиков 1 и 2 видно, что подсушка кукурузного крахмала проходит в основном в периоде постоянной скорости сушки – линейная зависимость влагосодержания от времени подсушки кукурузного крахмала. Из приведенных температурных кривых можно сделать вывод, что температура на поверхности слоя кукурузного крахмала находится в пределах от 57 до 61°C, при этом она не превышает температуру, при которой происходит денатурация белка и разрушение витаминного комплекса и, как следствие, потеря питательных свойств продукта. Температура в слое кукурузного крахмала меньше температуры кукурузного крахмала на поверхности на 4–5°C. Важно отметить, что если испарение происходит не только на поверхности материала, но и внутри него (критерий испарения $\varepsilon > 0$), как в нашем случае, то температура центральных слоёв материала меньше, чем на поверхности. Поэтому при $\varepsilon > 0$ в периоде постоянной скорости сушки внутри тела имеет место температурный градиент. Падающие на поверхность инфракрасные лучи проникают в глубь материала. Возникает температурный градиент и градиент влажности. А градиент влажности связан с тем, что испарение влаги происходит не со всей геометрической поверхности материала сушки, а только с поверхности менисков жидкости, заключенной в порах и капиллярах, и в процессе сушки мениски отступают в глубь материала – происходит отсос влаги из пор через соединяющие их каналы. Через некоторое время температура поверхности испарения материала сушки (поверхности скелета твердого тела) начинает превышать температуру в глубине материала – начинается процесс изменения направления температурного градиента. Жидкость на

поверхности материала испаряется, переходя в окружающую среду. Испарение влаги с поверхности материала создаёт перепад влагосодержания между последующими слоями и поверхностным слоем, что вызывает обусловленное диффузией перемещение влаги из внутренних слоёв к поверхностным. Под влиянием градиента температур (температура на поверхности материала больше температуры центральных слоев) влага вследствие термовлагопроводности стремится переместиться внутрь тела. В нашем случае испарение происходит внутри тела, следовательно диффузионному потоку способствует диффузионное скольжение, при котором перенос влаги происходит против потока тепла. Таким образом, в процессе сушки мы имеем непрерывный подвод влаги из внутренних слоёв к поверхностным слоям материала, вследствие чего уменьшается влажность не только на поверхности, но и в глубине материала.

Вывод. Получены кинетические закономерности процесса подсушки кукурузного крахмала инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1.5–3.0 мкм плотностью теплового потока 4,18 кВт/м², высоты слоя продукта 20мм в зависимости от расстояния инфракрасного излучателя до слоя кукурузного крахмала 40–60 мм при достижении конечного влагосодержания 6 кг/кг и температуры 57 до 61°С.

Список литературы

1. Демидов С.Ф. Сушка инфракрасным излучением торфа для производства биоконтейнера с растительным посевным материалом / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, Е.А. Нестеренко [и др.] // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: мат. IX Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 февр. 2018 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: Интерактив плюс, 2018. – С. 12–14. – ISBN 978-5-6040732-3-0.

2. Демидов С.Ф. Кинетические закономерности процесса сушки панировочной хлебной крошки инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, С.С. Беяева, Л.Ф. Пелевина [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: мат. VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 февр. 2016 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: Интерактив плюс, 2016. –

№1 (7). – С. 160–163. – ISSN 2412-0510.

3. Ободов Д.А. Источники инфракрасного излучения с энергоприводом для термообработки пищевых продуктов / Д.А. Ободов, С.Ф. Демидов, Б.А. Вороненко // Электронный журнал СПбГУНиПТ. – Март 2011. – №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.open-mechanics.com/journals> (дата обращения: 10.10.2022).

Демидов Сергей Федорович – канд. техн. наук, преподаватель, старший научный сотрудник Колледжа бизнеса и технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», Россия, Санкт-Петербург.

Пелевина Лидия Федоровна – директор Колледжа бизнеса и технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», Россия, Санкт-Петербург.

Васильева Евгения Юрьевна – заместитель директора Колледжа бизнеса и технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет», Россия, Санкт-Петербург.
