

А.Н. Поперечный /д.т.н./, Н.А. Миронова

*ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли
им. М. Туган-Барановского» (Донецк)*

КИНЕТИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПЛОДОВЫХ КОСТОЧЕК ПРИ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКЕ В ВИБРОКИПЯЩЕМ СЛОЕ

Приведены результаты исследований изменения температуры плодовых косточек в процессе инфракрасной сушки в виброкипящем слое при различной плотности теплового потока, а также влияния температуры нагрева исследуемого продукта на продолжительность сушки до равновесного влагосодержания. Установлено, что с повышением заданной температуры нагрева уменьшается время, соответствующее наибольшей скорости изменения относительной массы продукта. При этом обнаружено, что на время наибольшей скорости удаления влаги влияет не только температура, но и структура, и размер самого продукта. Полученные результаты могут быть использованы при выборе рационального режима сушки плодовых косточек и в качестве исходных данных для проектирования сушильного оборудования.

Ключевые слова: *плодовые косточки, инфракрасное излучение, сушка, кинетика температуры.*

Постановка проблемы

Развитие температурных полей в плодовых косточках определяется их структурой, формами связи влаги, закономерностями влагопереноса, а также режимами сушки. Ядра плодовых косточек являются термолабильным продуктом, не допускающим нагрев свыше определенной температуры. Поэтому температура косточек является определяющим фактором, от которого в значительной степени зависит интенсивность процесса сушки.

Во многом зависит от температуры и продолжительности термообработки и глубина биохимических процессов в ядрах плодовых косточек, происходящих при тепловом воздействии. Чем дольше продолжительность сушки и выше температура нагрева ядер, тем интенсивнее нежелательные биохимические процессы (окисление масла в ядрах, денатурация белков и т.д.), которые приводят к ухудшению технологических свойств ядер плодовых косточек и качества получаемого из них масла [1].

При сушке плодовых косточек инфракрасным излучением проникаемость лучистой энергии изменяет характер протекания процесса [2-9]: энергия излучения, проникая в глубину косточки, интенсифицирует перенос влаги из центральных слоев к ее поверхности, что приводит к значительному сокращению продолжительности сушки. За счет поглощения инфракрасных лучей происходит плавление липидов, частичное разрушение клеточной структуры ядра косточки, удерживающей липидные гранулы. Для исключения подгорания продукта при воздействии

инфракрасного нагрева целесообразно проводить сушку импульсами в сочетании периодов «отдыха» и воздействия инфракрасных лучей. В этом случае использование вибрационных воздействий на слой продукта позволяет обеспечить интенсивное перемешивание и постоянное обновление частиц, которые находятся в поле инфракрасного излучения.

В связи с этим значительный интерес представляет исследование температурного поля плодовых косточек при инфракрасном нагреве в виброкипящем слое с целью определения рациональных режимов ведения процесса, приводящих к интенсификации их сушки.

Анализ последних исследований и публикаций

Проведенный анализ научных работ в области сушки плодовых косточек показывает, что исследование температурных режимов является одним из важнейших этапов для выявления рациональных параметров процесса сушки.

В работе [10] автор рекомендует на основании проведенных экспериментальных исследований порционно-циркуляционным способом проводить сушку плодовых косточек при максимальной температуре нагрева продукта 90-110 °С, опираясь на полученные значения кислотного числа, характеризующего качество масла в ядрах косточек, при условии правильной подготовки продукта и своевременного проведения процесса сушки, так как срок хранения плодовых косточек оказывает существенное влияние на изменение химических показателей продукта.

Рекомендуемые значения температуры нагрева [10] противоречат результатам проведенных исследований более поздней работы [11]. Согласно этим исследованиям, термообработку (сушку) ядер косточковых культур необходимо проводить при температурном режиме, обеспечивающем нагрев ядер не выше 70 °С. Однако в работе [11] не уточняется продолжительность периода между удалением косточки из плода и проведением процесса сушки. Отметим, что срок хранения косточек после их извлечения из плода оказывает существенное влияние на значение кислотного числа масла ядер [10].

В работе [12] приведены результаты экспериментальных исследований процесса тепловой обработки лепестков ядер косточковых культур с использованием импульсного воздействия инфракрасного облучения, при этом температура материала достигала 80...85 °С. Однако в проведенных исследованиях не приводятся данные относительно влияния температурных режимов на качество полученного масла, содержащегося в ядрах плодовых косточек.

Цель (задачи) исследования

Целью данной работы является исследование кинетики температуры в процессе сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в вибрирующем слое.

Основной материал исследования

Объектами исследований являлись косточки: абрикоса сорта «Ранний Марусича» (начальное влагосодержание 28,7-32,2 %), вишни сорта «Владимирская» (начальное влагосодержание 19,4-21,4 %) и черешни сорта «Наполеон» (начальное влагосодержание 25,5-27,3 %).

Проведение экспериментов было осуществлено на специальном экспериментальном стенде [8]. Для измерения температуры в различных частях плодовой косточки и в рабочей камере использовались хромель-копелевые термопары (диаметр шарика спая 0,6 мм), помещенные во фторопластовые трубочки и соединенные с регистрирующим прибором КСП-4.

Толщина засыпки плодовых косточек на рабочую поверхность составляла один слой продукта. При этом измеряли изменение температуры нескольких косточек-образцов. Для закрепления термопары в косточке-образце просверливали отверстия сверлом диаметром 0,9 мм в двух местах в передней части (оболочке) и в середине (ядре) косточки. Для изоляции термопары (кроме спая) и плотности ее вхождения в косточку использовали термоизоляционный лак.

Для изучения механизма тепломассопереноса

между поверхностью материала и рабочей средой при сушке измерялась температура рабочей камеры в различных точках. Начальную и конечную влажность плодовых косточек и их составляющих (оболочки и ядра) определяли методом высушивания до постоянной массы в сушильном шкафу в соответствии с ГОСТ 15113.4-77 [8].

Рассмотрим кинетику изменения температуры в оболочке и ядре плодовых косточек в процессе сушки при различных значениях плотности теплового потока инфракрасного облучения.

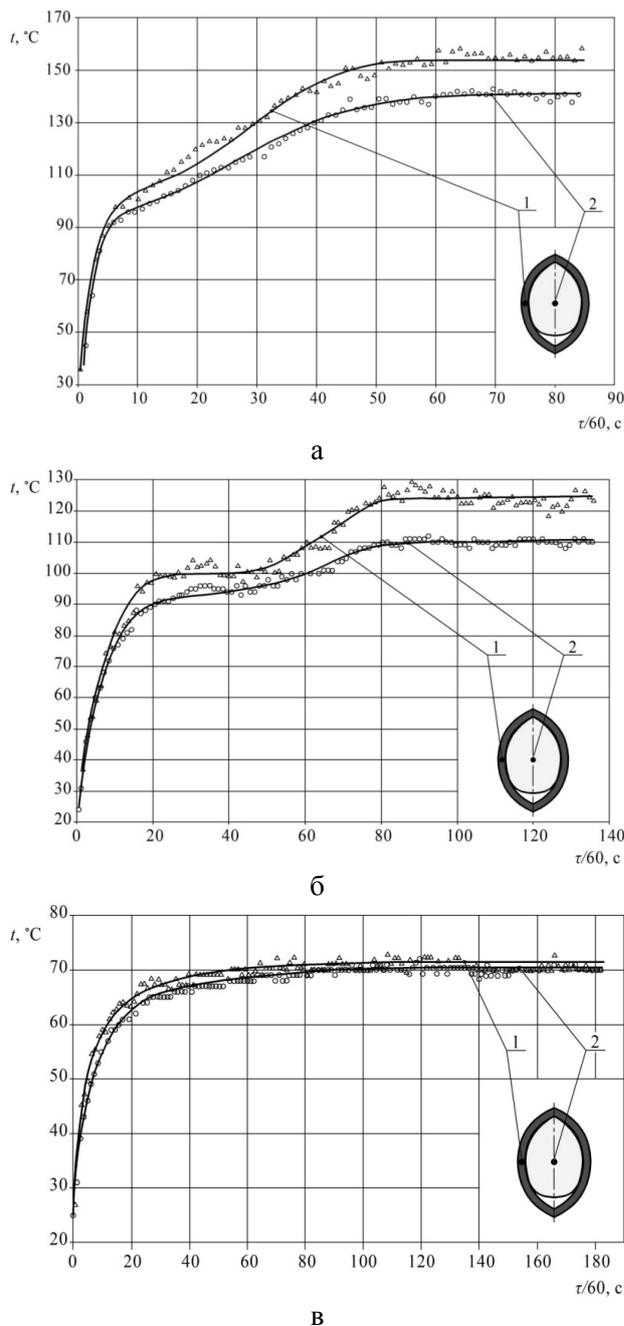


Рис. 1. Термограммы косточек абрикоса в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения: а – 1400 $\text{Вт}/\text{м}^2$; б – 900 $\text{Вт}/\text{м}^2$; в – 400 $\text{Вт}/\text{м}^2$

На рис. 1 приведены термограммы косточек абрикоса, соответствующие кривым сушки и скорости сушки [9].

Термограммы 1 соответствуют середине оболочки, термограммы 2 – центру ядра. Их анализ показывает, что в процессе сушки имеет место градиент температуры в середине косточек, причем он направлен от оболочки к ядру. Величина этого градиента увеличивается при повышении плотности теплового потока инфракрасного облучения. Так, при его значении 1400 Вт/м² в конце процесса температурный градиент достигает 13 °С (рис. 1а), а при 400 Вт/м² – 1 °С (рис. 1в). Величина плотности теплового потока влияет также и на форму термограмм. При значении 400 Вт/м² термограммы имеют два участка: крутой в начале процесса, которому соответствует интенсивное повышение температуры продукта, и плавный – соответствует практически неизменной до конца процесса температура продукта.

При других исследуемых значениях плотности теплового потока термограммы имеют более сложный характер: между крутым и плавным участками присутствует промежуточный участок, имеющий переменную крутизну. Этому участку соответствует в основном удаление связанной влаги продукта, поэтому ее появление вызвано, на наш взгляд, прогревом продукта до температуры около 100 °С, что значительно по-

вышает долю бародиффузии в процессе миграции влаги.

Поскольку график изменения температуры во времени имеет вид кривой линии, количественно влияние температуры на качественные показатели можно оценить с помощью среднеинтегральной температуры [13,14]. Ее мы определяли по термограмме (площадь под термограммой делили на продолжительность сушки) в графическом редакторе КОМПАС, который имеет инструмент для автоматического определения площади фигуры, ограниченной криволинейным контуром.

На рис. 2 и 3 приведены графики изменения максимальной и среднеинтегральной температуры центра ядра плодовых косточек в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения. Характер всех графиков одинаков – они имеют форму кривых, выпуклых к оси температуры. Наибольшую крутизну имеют графики, полученные для косточек черешни, наименьшую – для косточек абрикоса.

Как видно из рис. 3, значения максимальной и среднеинтегральной температуры при 1400 Вт/м² превышают рекомендуемое для процесса сушки плодовых косточек значение в 110 °С [10]. Это наглядно отражается на органолептических показателях: высушенные ядра косточек в середине имеют характерный темный цвет в первом случае и темно-кремовый во втором,

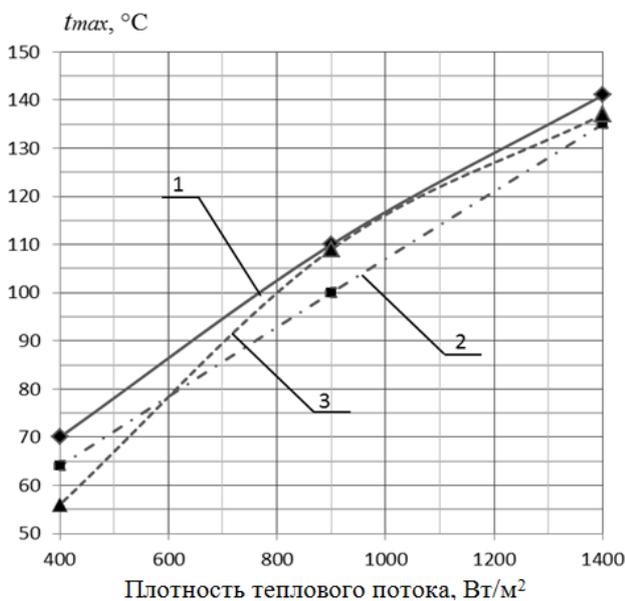


Рис. 2. Изменение максимальной температуры продукта в процессе сушки в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения:
1 – косточки абрикоса; 2 – косточки вишни;
3 – косточки черешни

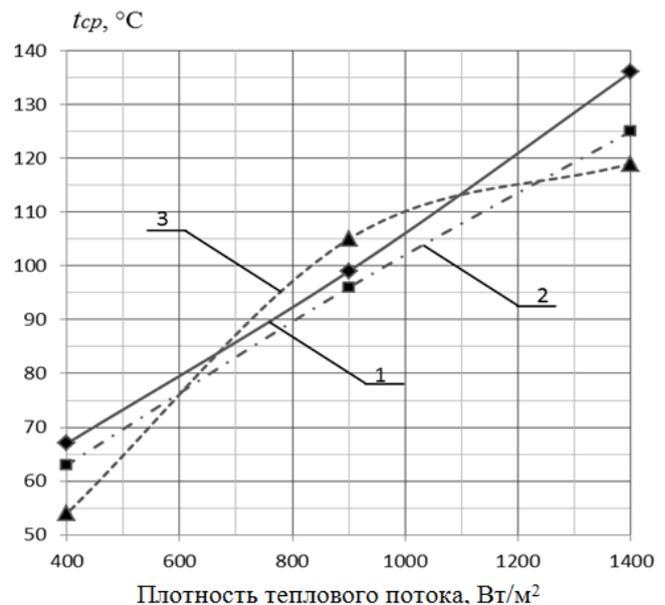


Рис. 3. Изменение среднеинтегральной температуры продукта в процессе сушки в зависимости от плотности теплового потока инфракрасного облучения:
1 – косточки абрикоса; 2 – косточки вишни;
3 – косточки черешни

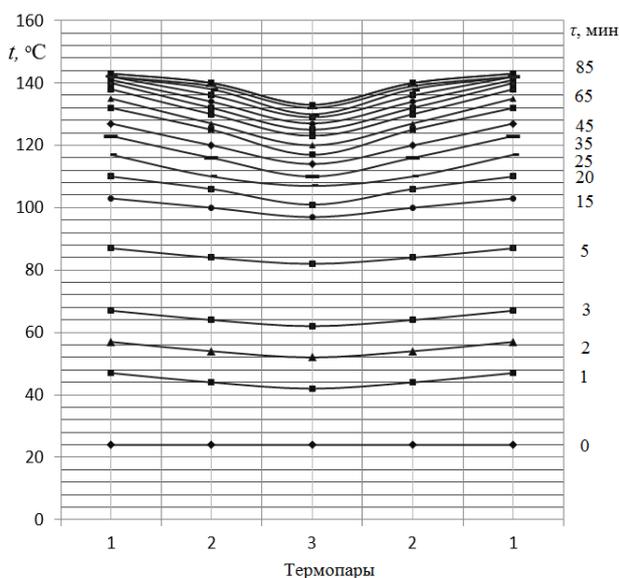


Рис. 4. Температурное поле в процессе сушки плодовых косточек абрикоса при плотности теплового потока 1400 Вт/м^2 : 1 – оболочка; 2 – воздушная прослойка; 3 – ядро

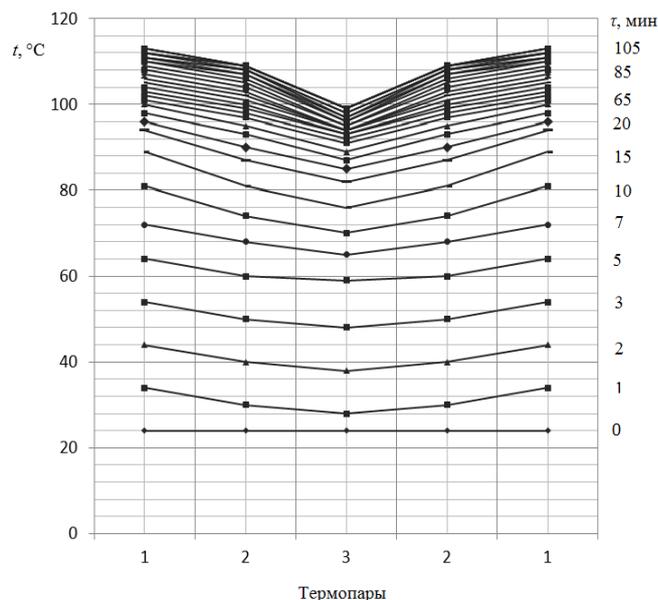


Рис. 5. Температурное поле в процессе сушки плодовых косточек абрикоса при плотности теплового потока 900 Вт/м^2 : 1 – оболочка; 2 – воздушная прослойка; 3 – ядро

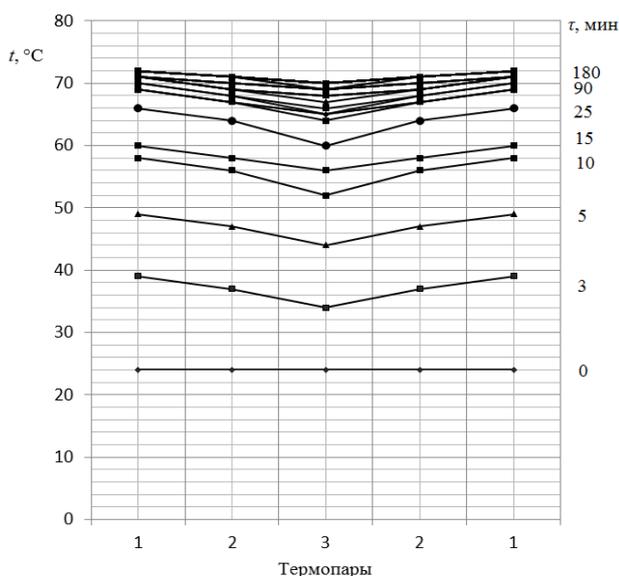


Рис. 6. Температурное поле в процессе сушки плодовых косточек абрикоса при плотности теплового потока 400 Вт/м^2 : 1 – оболочка; 2 – воздушная прослойка; 3 – ядро

что свидетельствует о различной степени процессов меланоидинообразования.

Кинетика и динамика тепло- и массообмена сушки изучалась путем анализа температурных полей и полей влагосодержания.

Для оценки изменения температурного поля целой косточки при различных значениях плотности теплового потока нами построены графики, приведенные на рис. 4-6.

Анализ температурных полей показывает, что прогрев центральных и поверхностных слоев

косточек идет с различной скоростью. Так, в течение первых трех минут поверхностный слой косточек прогревается со скоростью $14 \text{ }^\circ\text{C/мин}$, центральный (ядро) – $10 \text{ }^\circ\text{C/мин}$. Это объясняется проникновением инфракрасного излучения в косточку сразу на глубину около 1 мм .

При прогреве косточек длительностью 60 мин получаем разницу между температурами поверхности и центра $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Разница температур прогрева приводит к появлению температурного градиента, направленного от поверхностного слоя к центральному. Если в начальный период градиент равен $16 \text{ }^\circ\text{C}$, то к концу процесса он уже составляет около $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Влагосодержание центрального слоя (ядра) косточки практически изменяется мало, влага удаляется в основном из поверхностных слоев.

Выводы

Таким образом, были проведены исследования кинетики изменения температуры в процессе сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое. Выявлено, что процесс сушки целесообразно проводить при плотности теплового потока $400 \dots 900 \text{ Вт/м}^2$, при этом продолжительность сушки до равновесного влагосодержания для косточек абрикоса составит: при плотности теплового потока инфракрасного облучения 400 Вт/м^2 – 182 мин, а при 900 Вт/м^2 – 134 мин; для косточек черешни – 198 и 114 мин соответственно; для косточек вишни – 150 и 94 мин соответственно.

Список литературы

1. Щербатов, В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья.– М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
2. Поперечный, А.М. Кінетика процесу сушіння плодкових кісточок у віброкиплячому шарі ІЧ-випромінюванням / А.М. Поперечний, Н.О. Миронова // Науковий журнал Харківського державного університету харчування та торгівлі. – 2008. – Вип.7. – С. 93-10.
3. Поперечный, А.Н. Кинетика сушки плодовых косточек инфракрасным излучением в виброкипящем слое / А.Н. Поперечный, Н.А. Миронова // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2015. – №1.– С. 142-149. (сер.: процессы и аппараты пищевых производств).
4. Drying of Plant Materials in a Vibro-Fluidized Bed with Infrared Heating / A.N. Poperechnyi [et al.] // Academic message at the 4th edition of BIOATLAS International Conference, Transilvania University of Brasov, Faculty of Food and Tourism, May, 15-17, 2014. – P. 66-70.
5. Van't Land, C.M. Drying in the Process Industry. – John Wiley & Sons, 2011. – 368 p.
6. Sagar, V.R. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review / V.R. Sagar, P. Suresh Kumar // J Food Sci Technol. – 2010. – No.47(1). – P. 15-26.
7. Jongmin, C. Influence of the expansion device on the performance of a heat pump using R407C under a range of charging conditions / C. Jongmin, K. Yongchan // International Journal of Refrigeration. – 2004. – No.27. – P. 378-384.
8. Сушка нетрадиционного пищевого и лекарственного сырья: монография / А.Н. Поперечный [и др.]. – Краматорск: Каштан, 2016. – 250 с.
9. Влияние параметров сушки плодовых косточек на качество получаемого масла / А.Н. Поперечный [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2016. – №2. – С. 3-12. (сер.: процессы и аппараты пищевых производств).
10. Алейникова, А.В. Разработка метода и сушилки для сушки плодовых косточек: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Алейникова Алла Владиславовна. – Киев, 1988. – 134 с.
11. Гафуров, К.Х. Изменение биохимических свойств ядер плодовых косточек и качества масла при тепловой обработке / Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов IX Межд. науч.-техн. конф., Могилев, 25-26 апреля 2013 г. – Могилев: Могилевский гос. ун-т продовольствия», 2013. – С. 84.
12. Шодиев, С.С. Интенсификация процесса тепловой обработки косточковых маслосодержащих материалов с использованием нетрадиционных методов подвода энергии: дис. ... маг. техн. наук: 05.02.13 / Шодиев Сухроб Садилаевич. – Бухара, 2010. – 81 с.
13. Жданов, І.В. Сушіння рослинної сировини у відцентровому псевдозрідженому шарі: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / Жданов Іван В'ячеславович. – Донецьк, 2011. – 20 с.
14. Гришин, М.А. Интенсификация процесса сушки пищевых растительных материалов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.18.12 / Гришин Михаил Александрович. – Одесса, 1973. – 58 с.

A.N. Poperechnyi /Dr. Sci. (Eng.)/, N.A. Myronova

Donetsk National University of Economics and Trade Named after Mykhayilo Tugan-Baranovsky (Donetsk)

THE KINETICS OF THE TEMPERATURE FIELDS OF FRUIT PITS WITH INFRARED DRYING IN VIBRATED FLUIDIZED BED

***Background.** It is known that quality indicators of the dried products of plant origin depend on the temperature of their heating in the drying process, namely values of the final temperature and the process duration. It is to be noted that the temperature regimes of drying and the initial moisture content of the product determine to obtain the required values of the final moisture of the dried product, which, according to technical conditions of the reception of fruit pits by oil and fat companies, should be no more than 13 %. Drying fruit pits by infrared radiation in vibrated fluidized bed allows investigating the effect of different values of heat flux density on the temperature change. Since the schedule of temperature change in time has the form of a curve, determination of the average integral temperature and building of structure graphs of changes of the temperature field of fruit pits during the drying process can be used to quantify the effect of temperature on quality indicators.*

***Materials and/or methods.** In the paper, the analysis of scientific research in the field of temperature regimes used during drying fruit pits and cores, allowing maintaining and improving the quality of the final product. Noted that to obtain a dried product with the necessary indicators, one of which is the final humidity of the material, the drying temperature not should exceed 110 °C. It is proposed to use*

the infrared heating and the vibrated fluidized bed for drying fruit pits that will allow evenly impulsive drying of the product and applying high-temperature infrared radiation.

Results. *The obtained curves of temperature change in the core and shell during the process of drying fruit pits by infrared radiation in vibrated fluidized bed, and average integral temperature and change of the temperature field lead to the conclusion that to preserve the quality of kernel oil of fruits the drying process should be carried out at the heat flux of 400-900 W/m²; with these values the heating temperature of the kernel does not exceed 110 °C.*

Conclusion. *The obtained results can be used in the choice of rational mode of drying fruit pits by infrared radiation in vibrated fluidized bed, which provides even drying to obtain the desired quality indicators of the product and the initial data for the design of specialized drying equipment.*

Keywords: *fruit pits, infrared radiation drying, temperature kinetics.*

Сведения об авторах

А.Н. Поперечный

Телефон: +380 (66) 989-09-07
 Эл. почта: obladrn@kaf.donduet.edu.ua

Н.А. Миронова

SPIN-код: 5375-8228
 Телефон: +380 (50)-876-38-08
 Эл. почта: Mironova_nad@mail.ru

*Статья поступила 22.03.2017 г.
 © А.Н. Поперечный, Н.А. Миронова, 2017
 Рецензент д.т.н., проф. А.Б. Бирюков*



Новинки Изд-ва «ДОНЕЦКАЯ ПОЛИТЕХНИКА»

Научно-методическое обеспечение дополнительного профессионального образования: монография / О.А. Захарова; научный редактор д.пед.н., проф. П.В. Стефаненко. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ», 2016. – 302 с. ISBN 978-966-8248-80-1

Представлены результаты научных исследований, проведённых в рамках деятельности управления дистанционного обучения и повышения квалификации Донского государственного технического университета по обучению преподавателей вузов и персонала инновационных предприятий региона.

Рассмотрены теоретические и концептуальные принципы использования информационно-образовательной корпоративной среды в профессиональной подготовке и системе повышения квалификации.



Пономарев И.Ф. Экономический анализ состояния хозяйственной деятельности предприятий: учебник. – Донецк: ООО «Технопарк ДонГТУ «УНИТЕХ». – 366 с. ISBN 978-966-2239-80-5

Раскрыты теоретические и практические аспекты экономического анализа в системе управления производством. Рассмотрены методы и приемы анализа состояния основных элементов производства: рабочей силы, основных оборотных средств, затрат на производство, эффективности финансово-экономических элементов. Финансовые и экономические элементы рассмотрены в соответствии с государственным образовательным стандартом и законодательной базой. Структура издания соответствует требованиям Болонского процесса относительно кредитно-модульной программы подготовки специалистов.