

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 664.854.047:621.36

В.Д. Очиров, В.А. Федотов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И СКОРОСТИ НАГРЕВА ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ПЛОДОВ ЯБЛОК
ПРИ ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ СУШКЕ

V.D. Ochirov, V.A. Fedotov

THE DETERMINATION OF TIME AND SPEED OF CHOPPED APPLES HEATING DURING
THERMAL AND RADIATION DRYING PROCESS

Очиров В.Д. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. энергообеспечения и теплотехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: ochirov@igsha.ru

Федотов В.А. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. электрооборудования и физики Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: skobarifed@yandex.ru

Ochirov V.D. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply and Heating Engineering, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, V. Molodyozhny. E-mail: ochirov@igsha.ru

Fedotov V.A. – Cand. Techn. Sci., Asst, Chair of Electric Equipment and Physics, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, V. Molodyozhny. E-mail: skobarifed@yandex.ru

Цель исследования – определение времени и скорости нагрева до установившейся температуры измельченных плодов яблок при ИК-сушке. Выбор в качестве объекта исследования плодов яблок исходил из тех соображений, что яблоки являются незаменимым продуктом питания и сырьем для перерабатывающей промышленности, а также получили большое распространение в России по сравнению с другими плодовыми деревьями, занимая значительную площадь от общей площади плодовых насаждений, в том числе имеют большие перспективы и потенциал при выращивании их в Южном Предбайкалье. Произведен расчет постоянной времени нагрева измельченных плодов яблок, по данным которой получены значения времени и скорости нагрева плодов яблок до установившейся температуры 70 °С. Постоянная времени нагрева зависит от теплофизических и геометрических характеристик материала, а также условий отвода теп-

лоты (охлаждения). Предложить надежную формулу для определения физической плотности яблок при сушке не представляется возможным. Физическая плотность разных сортов яблок не одинакова, поскольку яблоки различаются химическим составом и пористостью. Физическая плотность яблок, выращенных в России, находится в пределах от 660 до 860 кг/м³. Было принято ориентировочно среднее значение плотности яблок $\rho = 760$ кг/м³. При расчетах постоянными приняты значения плотности плодов яблок и коэффициента теплоотдачи в окружающее пространство, а также не было учтено влияние усадки материала в процессе сушки. Полученные данные расчетов позволяют сделать вывод, что сушку измельченных плодов яблок необходимо вести с понижением уровня ИК-энергоподвода в каждом последующем цикле в зависимости от содержания влаги, так как с понижением содержания влаги в материале ско-

рость нагрева увеличивается и для достижения значения установившейся температуры материала расходуется меньше времени.

Ключевые слова: время и скорость нагрева, плоды яблок, сушка, ИК-энергоподвод, постоянная времени нагрева.

The research objective was the definition of time and speed of heating up to established temperature of crushed fruits of apples at IR-drying. The choice as object of research of fruits of apples proceeded from those reasons that apples are an irreplaceable food product and raw materials for processing industry, and also gained big distribution in Russia in comparison with other fruit-trees, occupying the considerable space from total area of fruit plantings, have big prospects and potential at their cultivation in South Baykal area. In a known formula the calculation of constant of time of heating of chopped fruits of apples according to which values of time and speed of heating of fruits of apples up to established temperature of 70 °C is made. The constant of time of heating depends on heatphysical and geometrical characteristics of material and also conditions of branch of warmth (cooling). It is not possible to offer reliable formula for the determination of physical density of apples when drying. Physical density of different varieties of apples is not identical as apples differ in chemical composition and porosity. Physical density of the apples grown up in Russia is ranging from 660 to 860 kg/m³. Approximate average value of apples density $\rho = 760 \text{ kg/m}^3$ was accepted. At calculations of constants accepted values of density of fruits of apples and coefficient of thermolysis in surrounding space and also the influence of shrinkage of material in the course of drying was not considered. Obtained data of calculations allow to draw the conclusion that drying of the chopped fruits of apples needs to be conducted with lowering of the level lowering of IR-energetic supply cycle depending on moisture content as with the decrease in moisture content in the material the speed of heating increases and for the achievement of value of established temperature of material less time is spent.

Keywords: heating time and speed, apples fruits, drying, IR-energetic supply, the constant of heating time.

Введение. Большая часть сельскохозяйственных продуктов является высоковлажными телами, что вызывает порчу продуктов вследствие жизнедеятельности различных микроорганизмов в вод-

ной среде. Поэтому большинство пищевых продуктов подвергаются сушке, в процессе которой их влажность значительно уменьшается [1].

Одним из прогрессивных способов нагрева, создающим значительный ресурсосберегающий эффект, является ИК-нагрев, применяемый для сушки сельскохозяйственных продуктов.

Для правильного понимания механизма процесса сушки и для его расчета необходимо знание тепло- и массообменных характеристик материалов и степени их влияния на время и скорость нагрева до установившейся температуры.

Цель исследования: определение времени и скорости нагрева до установившейся температуры измельченных плодов яблок при ИК-сушке.

Методы и результаты исследования. Расчет значений времени и скорости нагрева необходимо начать на основе совместного решения уравнений теплового баланса и теплопередачи с учетом динамики нагрева.

Процессы нагрева по своей природе являются динамическими, связанными с изменением теплосодержания нагреваемых материалов и явлениями теплопередачи, которые не могут происходить мгновенно.

Рассмотрим систему «излучатель – материал» как простейший случай нагрева однородного и изотропного материала.

Уравнение теплового баланса за промежуток времени $d\tau$ имеет вид

$$dQ_1 = dQ_2 + dQ_3, \quad (1)$$

где dQ_1 – количество теплоты, подведенное к материалу за время $d\tau$, Дж; dQ_2 – количество теплоты, поглощенное в объеме материала, Дж; dQ_3 – потери теплоты в окружающую среду, Дж.

После подстановки значений отдельных составляющих в уравнение теплового баланса (1) уравнение предстанет в развернутом виде следующим образом [2, 3]:

$$AEF_0 d\tau = Mc d\tau + q_m r F d\tau + \alpha(t - t_b) F d\tau, \quad (2)$$

где A – поглощательная способность материала; E – поверхностная плотность потока от излучателей, Вт/м²; F_0 – площадь облучаемой поверхности материала, м²; M – масса облучаемого материала, кг; c – удельная теплоемкость облучаемого материала, Дж/(кг·К); dt – изменение температуры материала, °С; q_m – начальная интенсивность или скорость испарения вещества, кг/(м²·с); r – удель-

ная теплота испарения, Дж/кг; F – площадь полной поверхности материала, м²; $\alpha = \alpha_k + \alpha_{и}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К); $\alpha_{и}$ – коэффициент теплоотдачи излучением Вт/(м²·К); t и t_b – температура материала и окружающего воздуха, °С, или

$$\frac{Mc}{\alpha F} \cdot \frac{dt}{d\tau} + t - \left(t_b + \frac{AE F_0}{\alpha F} - \frac{q_m r}{\alpha} \right) = 0. \quad (3)$$

Введем обозначения [2, 3]:

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{Mc}{\alpha F}, \\ \bar{F} &= \frac{F}{F_0}, \\ t_y &= t_b + \frac{AE}{\alpha \bar{F}} - \frac{q_m r}{\alpha} = t_b + \frac{AE - q_m r \bar{F}}{\alpha \bar{F}}, \end{aligned} \quad (4)$$

где T_n – постоянная времени нагрева, с; \bar{F} – отношение площадей полной поверхности и облучаемой ее части; t_y – установившаяся температура материала (при $\frac{dt}{d\tau} = 0$).

С учетом обозначений уравнение (3) представлено в следующем виде:

$$T_n \frac{dt}{d\tau} + t - t_y = 0. \quad (5)$$

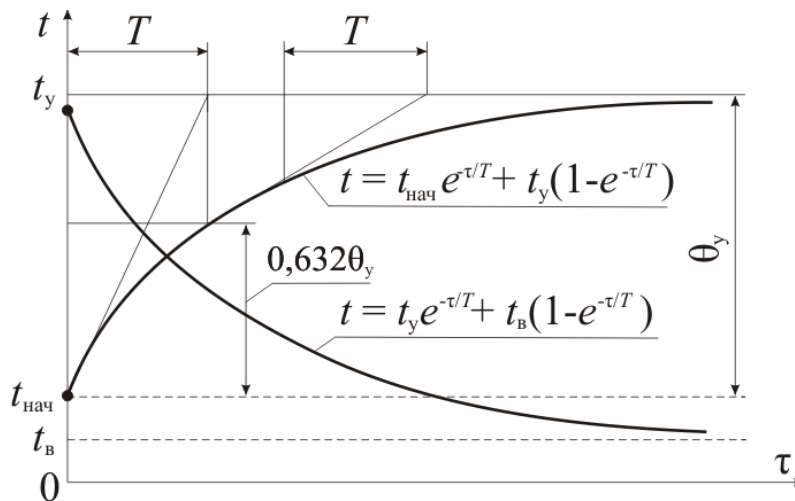
Это дифференциальное уравнение первого порядка, решение которого

$$t = t_{нач} e^{-\frac{\tau}{T_n}} + t_y \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_n}} \right), \quad (6)$$

где $t_{нач}$ – температура материала в начальный момент времени при $\tau = 0$, °С.

Примем значение температуры материала в начале нагрева $t_{нач} = 15$ °С.

Из зависимости (6), представляющей собой уравнение нагрева однородного материала, видно, что рост температуры материала по мере ИК-энергоподвода подчиняется экспоненциальной зависимости (рис.). При $\tau \rightarrow \infty$ или практически (с погрешностью не более 5 %) для $\tau \geq (3 \div 4) T_n$ устанавливается баланс между количеством теплоты, поглощаемым материалом, и тепловыми потерями в окружающую среду. Этому моменту соответствует установившаяся температура нагреваемого материала, при этом $t = (0,95 \div 0,98) t_y$.



Кривые нагрева и охлаждения однородного тела

На практике кривые нагрева незначительно могут отличаться от приведенных на рисунке в силу тех упрощений, которые были приняты в исследовании. Однако общий принцип динамики нагрева и характеризующие его параметры остаются неизменными.

Выражение, полученное из уравнения (6), для определения времени нагрева материала до любой температуры t в промежутке от $t_{нач}$ до t_y выглядит следующим образом:

$$\tau = T_n \ln \frac{t_y - t_{нач}}{t_y - t}. \quad (7)$$

Скорость нагрева в процессе подводы теплоты к материалу определяется по выражению

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{t - t_{\text{нач}}}{T_n} \frac{e^{-\frac{\tau}{T_n}}}{1 - e^{-\frac{\tau}{T_n}}} \quad (8)$$

На основе полученных уравнений в [1–3] видно, что к числу важнейших параметров при тепловой обработке относится постоянная времени нагрева T_n , определяющая значение скорости нагрева.

Физический смысл постоянной времени нагрева раскрывается следующим определением. Постоянная времени нагрева определяется как такое время, в течение которого температура материала достигла бы установившейся температуры, если бы не было тепловых потерь в окружающую среду (адиабатный процесс). Как видно из рисунка, при значении $\alpha = 0$ температура тела изменяется во времени по прямой. Из чего следует, что постоянная времени нагрева не зависит от мощности, подводимой к материалу, а зависит только от условий отвода теплоты (охлаждения).

По вышеизложенной методике нами был произведен расчет постоянной времени нагрева, времени нагрева и скорости нагрева для измельченных плодов яблок, подвергаемых ИК-сушке. Выбор в качестве объекта исследования плодов яблок исходил из соображений того, что яблоки являются незаменимым продуктом питания и сырьем для перерабатывающей промышленности [4–10]. Кроме этого, выбор был обусловлен тем, что яблоны среди плодовых растений наиболее популярны и получили очень большое распространение в России, занимая значительную площадь от общей площади плодовых насаждений, в том числе имеют большие перспективы и потенциал при выращивании их в Южном Предбайкалье [11, 12].

Опыта тепловой обработки данного продукта в стране и мире достаточно, но тем не менее исследования по определению оптимальных режимов термообработки пищевых продуктов всегда остаются актуальными.

Если принять $M = V\rho$ (V – объем материала, м³; ρ – его плотность, кг/м³), то выражение (4) можно записать следующим образом:

$$T_n = \frac{Mc}{\alpha F} = \frac{c\rho V}{\alpha F} \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), для расчета постоянной времени нагрева необходимы сведения по удельной теплоемкости, плотности, об объеме и площади полной поверхности материала, а также суммарном коэффициенте теплоотдачи в окружающую среду.

Для практических условий П.Д. Лебедев значение суммарного коэффициента теплоотдачи α рекомендует принимать в пределах от 18,6 до 23,2 Вт/(м²·К) [2]. В настоящих расчетах принято значение $\alpha = 20$ Вт/(м²·К).

По [13] предложить надежную формулу для определения физической плотности яблок при сушке не представляется возможным. Физическая плотность разных сортов яблок не одинакова, поскольку яблоки различаются химическим составом и пористостью. Физическая плотность яблок, выращенных в России, находится в пределах от 660 до 860 кг/м³ [14]. Примем для расчетов ориентировочно среднее значение плотности яблок $\rho = 760$ кг/м³.

На практике плотность плодов яблок и коэффициент теплоотдачи в окружающую среду при сушке меняются, но для приблизительных расчетов значение плотности и коэффициента теплоотдачи решено принять постоянным на всем протяжении процесса влагоудаления.

Необходимые сведения по удельной теплоемкости плодов яблок в зависимости от температуры и массовой доли влаги нами получены по формуле, заимствованной из обстоятельной работы по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов А.С. Гинзбурга и М.А. Громова [13, 15]:

$$c = 4187 - 3526n + 3,6Tn, \quad (10)$$

где n – массовая доля сухого вещества.

Формула (10) справедлива в широком интервале T и ω , и она рекомендуется авторами для практического использования. Температура для сушки яблок $t = 70$ °С ($T = 343$ К).

Форма плодов яблок, нарезанных на промышленной овощерезке, имеет вид параллелепипеда. Минимальный размер составляет 25×3×3 мм, максимальный – 40×6×6 мм.

Как известно, в процессе сушки большинство материалов уменьшается в размерах, изменяет форму, т. е. дает усадку, что необходимо учитывать при расчетах. Овощи и плоды относятся к числу коллоидных капиллярно-пористых материалов и при сушке дают значительную усадку, уменьшаясь в объеме в 3-4 раза.

Усадка по объему и площади полной поверхности материала пищевых растительных материалов имеет линейную зависимость от влагосодержания [14, 16]:

$$V = V_0(1 + \beta_v u), \quad (11)$$

$$F = F_{с.в.}(1 + \beta_F u), \quad (12)$$

где V_0 – объем абсолютно сухого тела для материалов, имеющих усадку на протяжении всего процесса сушки или в период падающей скорости, м³; β_v – коэффициент объемной усадки (относительное изменение объема тела при изменении влагосодержания на 1 кг/кг, или на 1 %); u – влагосодержание материала, кг влаги на кг с.в.; $F_{с.в.}$ – площадь абсолютно сухого материала, м²; β_F – коэффициент усадки по площади.

Коллектив авторов [14] при расчетах продолжительности сушки пищевых растительных мате-

риалов влиянием усадки рекомендует пренебречь, аргументируя это следующим. При сушке в неподвижном слое в испарении участвуют только частицы, поверхность которых смочена. Усадка, сокращая поверхность частиц, одновременно способствует увеличению пористости слоя, т. е. повышению поверхности смачивания. Эта взаимная компенсация явлений, происходящих при усадке, исключает ее влияние на процесс сушки.

Нами же при вычислении постоянной времени соотношения $\frac{V}{F}$ принято постоянным на всем протяжении процесса влагоудаления из предположения того, что при усадке объем и площадь полной поверхности материала уменьшаются равномерно одинаково.

Подставив в формулу (9) значения удельной теплоемкости, объема и площади полной поверхности материала, получим:

$$T_n = \frac{c\rho V}{\alpha F} = \frac{\rho(4187 - 3526n + 3,6Tn)}{\alpha} \frac{V_0(1 + \beta_v u)}{F_{с.в.}(1 + \beta_F u)}. \quad (13)$$

Объем и площадь полной поверхности измельченных плодов яблок определены по известным в геометрии формулам. Числовое значение соотношения $\frac{V}{F}$ для плодов яблок с размерами

25×3×3 мм составило $0,708 \cdot 10^{-3}$ м, а для плодов яблок с размерами 40×6×6 мм – $1,395 \cdot 10^{-3}$ м.

Данные общих расчетов сведены в таблицу.

Постоянная времени нагрева измельченных плодов яблок

№ п/п	Массовая доля влаги ω , %	Удельная теплоемкость c , Дж/(кг·К)	Постоянная времени нагрева T , с	Время нагрева $\tau \approx 3T$, с	Скорость нагрева $dt/d\tau$, °C/с
1	80	3728,76	100,25–197,71	300,76–593,13	0,18–0,09
2	70	3499,64	62,73–123,71	188,19–371,12	0,29–0,15
3	60	3270,52	43,97–86,71	131,9–260,12	0,42–0,21
4	50	3041,40	32,71–64,71	98,13–193,52	0,56–0,28
5	40	2812,28	25,20–49,71	75,61–149,12	0,73–0,37
6	30	2583,16	19,84–39,13	59,53–117,40	0,92–0,47
7	20	2354,04	15,82–31,20	47,47–93,61	1,16–0,59
8	10	2124,92	12,70–25,04	38,09–75,11	1,44–0,73

Анализируя данные таблицы, можно сказать о существенном влиянии на время и скорость нагрева значений содержания влаги. С уменьшением влаги в материале с 80 до 10 %, а в свою очередь – удельной теплоемкости, время нагрева до установившейся температуры резко уменьшается, а скорость нагрева увеличивается. Также скорость

и продолжительность нагрева при одном и том же влагосодержании в значительной мере определяются толщиной плодов яблок. Так, при увеличении толщины от 3 до 6 мм продолжительность процесса нагрева увеличивается в 2 раза.

Выводы. Данные расчетов позволяют сделать вывод, что сушку плодов яблок необходимо

вести с понижением ИК-энергоподвода. В начале сушки при высокой влажности яблоки можно без ущерба для их питательных веществ подвергать длительному и мощному облучению, а по мере уменьшения влажности интенсивность ИК-энергоподвода необходимо постепенно снижать. Это дополнительно обусловлено тем, что при высокой влажности сухое вещество яблок более термостойко и опасаться перегрева в начале сушки не стоит.

Литература

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 527 с.
2. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 320 с.
3. Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А. Электрический нагрев и электротехнология. – М.: Колос, 1975. – 384 с.
4. Костина Е.В. Совершенствование процесса сушки яблочных выжимок и их применение в энергоэффективной технологии порошкообразного холинхлорида: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: Изд-во ВГУИТ, 2013. – 24 с.
5. Кох Д.А. Технология получения полуфабриката и мучных кондитерских изделий из замороженных плодов мелкоплодных яблок Красноярского края: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2011. – 17 с.
6. Литвинов Е.В. Научное обеспечение процесса комбинированной конвективно-СВЧ-сушки при производстве яблочных чипсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: Изд-во ВГУИТ, 2013. – 24 с.
7. Присухина Н.В. Разработка технологии производства порошка из вторичных продуктов переработки мелкоплодных яблок Сибири: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2011. – 17 с.
8. Тупсина Н.Н., Присухина Н.В., Туманова А.Е. Перспективные полуфабрикаты из мелкоплодных яблок Сибири // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2011. – № 4. – С. 21–23.
9. Тупсина Н.Н., Присухина Н.В., Кох Д.А. Порошок из мелкоплодных яблок в кондитерском производстве // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 6. – С. 209–213.
10. Шевцов А.А. и др. Разработка технологии импортозамещающего кормового сырья на основе сухих яблочных выжимок // Кормопроизводство. – 2012. – № 1. – С. 42–44.

11. Раченко М.А. и др. Перспективы промышленного садоводства в Южном Предбайкалье // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – 2013. – № 3. – С. 18–21.
12. Раченко М.А. Эколого-биологические особенности сортов яблонь в условиях Южного Предбайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2011. – 22 с.
13. Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.
14. Филоненко Г.К. и др. Сушка пищевых растительных материалов. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 439 с.
15. Раичков Г., Кименов Г. Теплофизични характеристики на ябълков концентрат // Научни трудове Висш. институт хранит. и вкус. пром. – Пловдив. – 1983. – Т. 30 – № 1. – С. 309–314.
16. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

Literatura

1. Ginzburg A.S. Osnovy teorii i tehniki sushki pishhevyyh produktov. – M.: Pishhevaya promyshlennost', 1973. – 527 s.
2. Lebedev P.D. Raschet i projektirovanie sushil'nyh ustanovok. – M.; L.: Gosjenergoizdat, 1962. – 320 s.
3. Kudrjavcev I.F., Karasenko V.A. Jelektricheskij nagrev i jelektrotehnologija. – M.: Kolos, 1975. – 384 s.
4. Kostina E.V. Sovershenstvovanie processa sushki jablochnyyh vyzhimok i ih primenenie v jenergojektivnoj tehnologii poroshkoobraznogo holinhlorida: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Voronezh: Izd-vo VGUIT, 2013. – 24 s.
5. Koh D.A. Tehnologija poluchenija polufabrikata i muchnyh konditer-skih izdelij iz zamorozhennyh plodov melkoplodnyh jablok Krasnojarskogo kraja: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Krasnojarsk, 2011. – 17 s.
6. Litvinov E.V. Nauchnoe obespechenie processa kombinirovannoj kon-vektivno-SVCh-sushki pri proizvodstve jablochnyyh chipsov: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Voronezh: Izd-vo VGUIT, 2013. – 24 s.
7. Prisuhiina N.V. Razrabotka tehnologii proizvodstva poroshka iz vtorichnyh produktov pererabotki melkoplodnyh jablok Sibiri: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. – Krasnojarsk, 2011. – 17 s.
8. Tupsina N.N., Prisuhiina N.V., Tumanova A.E. Perspektivnyye polufabrikaty iz melkoplodnyh

- jablok Sibiri // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2011. – № 4. – S. 21–23.
9. *Tipsina N.N., Prisuha N.V., Koh D.A.* Poroshok iz melkoplodnyh jablok v konditerskom proizvodstve // Vestn. KrasGAU. – 2012. – № 6. – S. 209–213.
 10. *Shevcov A.A.* i dr. Razrabotka tehnologii importozameshchajushhego kormovogo syr'ja na osnove suhih jablochnyh vyzhimok // Kormoproizvodstvo. – 2012. – № 1. – S. 42–44.
 11. *Rachenko M.A.* i dr. Perspektivy promyshlennogo sadovodstva v Juzhnom Predbajkal'e // Vestn. Ros. akad. s.-h. nauk. – 2013. – № 3. – S. 18–21.
 12. *Rachenko M.A.* Jekologo-biologicheskie osobennosti sortov jablon' v uslovijah Juzhnogo Predbajkal'ja: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Ulan-Udje: Izd-vo BGU, 2011. – 22 s.
 13. *Ginzburg A.S., Gromov M.A.* Teplofizicheskie karakteristiki kartofelja, ovoshhej i plodov. – M.: Agropromizdat, 1987. – 272 s.
 14. *Filonenko G.K.* i dr. Sushka pishhevyyh rastitel'nyh materialov. – M.: Pishhevaja promyshlennost', 1971. – 439 s.
 15. *Raichkov G., Kimenov G.* Teplofizichni karakteristiki na jab#lkov koncentrat // Nauchni trudove Vissh. institut hranit. i vkus. prom. – Plovdiv. – 1983. – T. 30 – № 1. – S. 309–314.
 16. *Lykov A.V.* Teorija sushki. – M.: Jenergija, 1968. – 472 s.



УДК 631.365.32

*Л.О. Онхонова, Г.Ф. Ханхасаев,
И.Ю. Скрябина*

УНИВЕРСАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*L.O. Onkhonova, G.F. Khankhasaev,
I.Y. Skryabina*

UNIVERSAL REMEDY FOR POSTHARVEST PROCESSING OF GRAINY MATERIALS

Онхонова Л.О. – д-р техн. наук, проф. каф. «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47mail.ru

Ханхасаев Г.Ф. – д-р техн. наук, проф. каф. «Биомедицинская техника. Процессы и аппараты пищевых производств» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47mail.ru

Скрябина И.Ю. – асп. каф. «Технологические машины и оборудование. Агроинженерия» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления, г. Улан-Удэ. E-mail: onkhonova47mail.ru

Onkhonova L.O. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Technological Machines and Equipment, Agroengineering, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47mail.ru

Khankhasaev G.F. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Biomedical Equipment. Processes and Devices of Food Productions, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47mail.ru

Scryabina I.Yu. – Post-Graduate Student, Chair of Biomedical Equipment. Processes and Devices of Food Productions, East Siberian State University of Technologies and Management, Ulan-Ude. E-mail: onkhonova47mail.ru

Цель исследования – проверка работоспособности аэрожелоба с новыми конструктивными элементами в режиме активного вентилирования и пневмовыгрузки. Задачи исследования: 1) изучить равномерность воздушораспределения во влажной зерновой массе; 2) изучить характер пневмовыгрузки зерновой массы; 3) дать

теоретические зависимости по тепломассообмену во влажной зерновой массе. Материалом для исследования послужили новые конструкции аэрожелоба и зерновые материалы (пшеница, овес, ячмень, имеющие влажность соответственно 12–18,4; 21 и 18 %). Авторами предлагается конструкция трехканального аэрожелоба с новыми