

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 664.732

Теоретическая оценка изменения влажности зерна в сушилке

Купреенко А.И., Панова Т.В., Панов М.В.

Аннотация. Влажность является важнейшим показателем качества зерна, поэтому ее определяют при приеме зерна сразу же. Это объясняется влиянием воды на жизнедеятельность живых организмов, прежде всего самого зерна и микроорганизмов на его поверхности. Влажность характеризует количество питательных веществ в зерне, а также его пригодность к хранению и переработке. Так, влажное зерно содержит меньше питательных веществ и нестойко при хранении. Увлажнение активизирует физико-химические и физиологические процессы (дыхание, прорастание, расщепление высокомолекулярных биополимеров, активизация ферментов, набухание), все это осложняет его хранение и переработку. На поверхности влажного зерна начинают быстро развиваться микроорганизмы, также в зерновой массе увеличивается число насекомых, клещей и других вредителей. Совокупность перечисленных процессов в зерне приводит к ухудшению его качества и к его порче при хранении. В работе представлена математическая модель изменения влажности зерна в сушилке, зависящая от таких факторов, как масса зерна и сушильного агента, температура зерна и сушильного агента, скорость движения зерна и сушильного агента.

Ключевые слова: зерно, сушилка, влажность, теорема Букингема, математическая модель.

Для цитирования: Купреенко А.И., Панова Т.В., Панов М.В. Теоретическая оценка изменения влажности зерна в сушилке // Инновационная техника и технология. 2020. № 3 (24). С. 23–28.

Theoretical assessment of change in grain moisture in the dryer

Kupreenko A.I., Panova T.V., Panov M.V.

Abstract. Moisture is the most important indicator of grain quality, therefore it is determined when receiving grain immediately. This is due to the effect of water on the vital activity of living organisms, primarily the grain itself and microorganisms on its surface. Moisture characterizes the amount of nutrients in the grain, as well as its suitability for storage and processing. So, wet grain contains less nutrients and is unstable during storage. Humidification activates physicochemical and physiological processes (respiration, germination, splitting of high molecular weight biopolymers, activation of enzymes, swelling), all this complicates its storage and processing. Microorganisms begin to develop rapidly on the surface of wet grain, and the number of insects, mites and other pests increases in the grain mass. The combination of the listed processes in grain leads to deterioration of its quality and to its deterioration during storage. The paper presents a mathematical model of changes in grain moisture in the dryer, which depends on factors such as the mass of grain and drying agent, temperature of grain and drying agent, speed of grain and drying agent.

Keywords: grain, dryer, moisture, Buckingham's theorem, mathematical model.

For citation: Kupreenko A.I., Panova T.V., Panov M.V. Theoretical assessment of change in grain moisture in the dryer. Innovative Machinery and Technology. 2020. No.3 (24). pp. 23–28. (In Russ.).

Введение

Влажность зерна является фактором, который показывает долю питательных веществ зерна и длительность его хранения. Чем выше содержание влаги в зерновой массе, тем меньше она содержит питательных веществ и тем быстрее портится. Чрезмерное количество влаги приводит к активации физиологических, физико-химических процессов. Зерно начинает набухать, прорастать, расщепляются высокомолекулярные биополимеры, активизируются ферменты. Снижается натура, сыпучесть зерна, оно становится уязвимым для механических повреждений. Если влажным зерно остается на длительный срок, его хранение и обработка становятся невозможными. В любом случае, выход зерна и качество продукции при использовании влажного сырья снижаются [1].

В зависимости от влагонасыщенности воздуха в хранилище семена способны поглощать воду или отдавать ее в окружающую среду. Если относительная влажность и температура воздуха остаются постоянными, между семенами и воздухом наступает состояние гигроскопического равновесия, устанавливается равновесная влажность. Во время длительного хранения семян относительная влажность воздуха не должна быть больше 70%; повышение ее до 75% (критическая влажность) вызывает интенсивное дыхание семян, большой расход питательных веществ, выделение энергии в виде тепла (самосогревание семян), возможно набухание, прорастание семян и активное развитие на них микроорганизмов. Повышение в хранилище температуры воздуха при постоянной его влажности уменьшает

влажность семян, а понижение - увеличивает. Показатели равновесной влажности всех зерновых культур близки и составляют при 70%-ной относительной влажности воздуха в среднем 14 - 15%, у масличных культур она значительно ниже (для сои - 2,5, для льна - 8,5, клещевины - 7,5%), так как содержащиеся в семенах этих культур жиры не связывают воду. Поэтому при хранении семян масличных культур нужно особенно внимательно следить за режимом хранения. Государственными стандартами на сортовые и посевные семена установлена предельная влажность семян для разных культур, превышение которой не допускается. Так, влажность кондиционных семян зерновых культур (пшеницы, ржи, ячменя и овса) не должна превышать 15,5% и только для районов Сибири, Севера и Северо-запада влажность семян допускается до 17%. Влажность кондиционных семян в зависимости от зоны должна быть: риса - 14 - 15%, проса - 13,5 - 16%, гречихи - 14 - 17%, гороха - 14 - 17%, фасоли - 15%. Для посева семян практически влажность семян не играет роли, лишь бы сохранилась их сыпучесть [2]

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является сушилка, представленная на рисунке 1., содержащая теплоизолированную камеру 1, представляющую собой сушильную шахту 2, в которой установлены подающие 3 и отводящие 4 сушильный агент короба, на выходе из сушильной шахты 2 установлен шлюзовый затвор 5, соединенный с воздухопроводом пневмотранспортера 6, над сушильной шахтой 2 установлен зерновой бункер 7 с загрузочным циклоном 8, загрузочным шнековым транспортером 9 и разгрузочным циклоном 10 с заслонкой 12, центробежный вентилятор 13 с нагревательным ротором 14 имеет каналы рециркуляции 15 сушильного агента с заслонками 16, теплообменный аппарат 17 имеет дополнительный нагревательный ротор 18 с каналом рециркуляции 19 отработанного сушильного агента и заслонкой 20. В зерновом бункере 7 располагаются верхний 21 и нижний 22 датчики уровня зерна, а в сушильной шахте 2 расположены датчики влажности зерна 23. Центробежный вентилятор 13 соединен с сушильной шахтой 2 воздухопроводом 24. Сушильная шахта 2 соединена с дополнительным нагревательным ротором 18 воздухопроводом 25. Дополнительный нагревательный ротор 18 соединен с теплообменным аппаратом 17 воздухопроводом 26. Теплообменный аппарат 17 соединен с центробежным вентилятором 13 воздухопроводом 27. Нагревательный

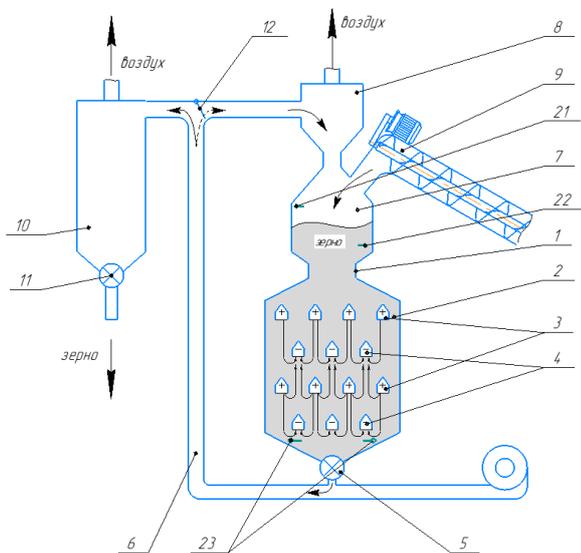


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема сушилки

роторы 14 и дополнительный нагревательный ротор 18 приводятся в движение электродвигателями 28 и 29.

Сушилка работает следующим образом. Зерно-загрузочным шнековым транспортером 9 подается в зерновой бункер 7, где уровень зерна регулируется верхним 21 и нижним 22 датчиками уровня зерна, управляемыми отключением и включением загрузочного шнекового транспортера 9. Далее зерно поступает в шахту 2 и, распределяясь между подающими 3 и отводящими 4 сушильный агент коробами, под действием силы тяжести движется вниз к шлюзовому затвору 5. Нагревательный ротор 14, приводимый в движение электродвигателем 28, нагревает предварительно подогретый сушильный агент, поступающий из теплообменного аппарата 17 по воздуховоду 27, и подает его в каналы рециркуляции 15 и воздуховод 24. Количество сушильного агента, подаваемого в каналы рециркуляции 15, обеспечивающие наличие замкнутого контура циркуляции воздушного потока - необходимого условия работы сушильных установок по типу печей аэродинамического подогрева, регулируется заслонками 16. Нагретый сушильный агент, циркулирующий в каналах рециркуляции 15, смешивается с предварительно подогретым сушильным агентом, поступающим к нагревательному ротору 18 из теплообменного аппарата 17 по воздуховоду 27, и нагревается по воздуховоду 24 в подающие короба 3 сушильной шахты 2. Поступающий из подающих коробов 3 сушильный агент нагревает зерно, насыщается испаряемой из зерна влагой и удаляется через отводящие короба 4, воздуховод 25, дополнительный нагревательный ротор 18 и воздуховод 26 в теплообменный аппарат 17, где отдает свою теплоту поступающему туда атмосферному воздуху, используемому в качестве сушильного агента. При сушке семенного зерна с невысокой температурой сушильного агента дополнительный нагревательный ротор 18 может не включаться в работу, при этом он не препятствует прохождению через него отработанного сушильного агента. При необходимости более интенсивного подогрева сушильного агента включается приводной двигатель 29 дополнительного нагревательного ротора 18. Количество отработанного сушильного агента, подаваемого в канал рециркуляции 19, регулируется заслонкой 20. Высушенное зерно через шлюзового затвор 5 поступает в воздуховод пневмотранспортера 6 и направляется заслонкой 12 в разгрузочный циклон 10. Если датчик влажности 23 показывает, что значение влажности зерна не достигло нормативных значений, то посредством заслонки 12 влажное зерно направляется в загрузочный циклон 8 и цикл сушки повторяется в том же порядке [3].

Для теоретической оценки изменения влажности зерна в сушилке составим математическую модель, используя теорию подобия. На рисунке 2 представлена функционально-параметрическая схема сушилки.

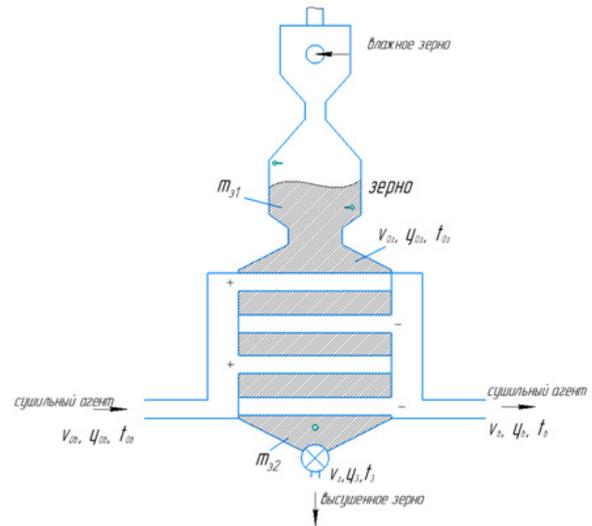


Рис. 2. Функционально-параметрическая схема сушилки

Используя теорию подобия мы получим критериальное уравнение, которое связывает ранее выделенные параметры: скорости воздуха, влажность воздуха и зерна, температуру воздуха и зерна, а также массу зерна до просушки и после. По результатам экспериментов в заданных условиях при изменении какого-либо из перечисленных параметров вычисляем значения безразмерных комплексов и находим зависимость определяемого критерия подобия, в который входит искомая физическая величина от других (определяющих) критериев подобия. Эта зависимость и есть критериальное уравнение. Обязательно устанавливаем пределы изменения определяющих критериев подобия, при которых справедливо полученное критериальное уравнение. Полученное уравнение позволяет вычислить значение искомой величины без постановки эксперимента во множестве других, но подобных процессах, отличающихся численными значениями физических параметров [4].

На данной схеме отображены, параметры, влияющие на процесс изменения влажности зерна, в частности: $v_{ов}$ – скорость входящего сушильного агента, м/с; $v_в$ – скорость выходящего сушильного агента, м/с; $\phi_{ов}$ – влажность входящего сушильного агента, %; $\phi_в$ – влажность выходящего сушильного агента, %; $\phi_{о3}$ – влажность входящего зерна, %; $\phi_з$ – влажность выходящего зерна, %; $v_{о3}$ – скорость входящего зерна, кПа; $v_з$ – скорость выходящего зерна, кПа; $t_{о3}$ – температура входящего зерна, °С; $t_з$ – температура выходящего зерна, °С; $t_{ов}$ – температура входящего сушильного агента, °С; $t_в$ – температура выходящего сушильного агента, °С; $m_{о3}$ – масса зерновой массы, поступившей на сушку, кг; $m_з$ – масса зерновой массы, вышедшей из сушилки, кг.

Рассмотрим два варианта движения зерна в сушилке.

Первый вариант заключается в том, что высушенное до нормативных значений зерно отправляется на выгрузку, а второй вариант заключается в рециркуляции зерна, то есть

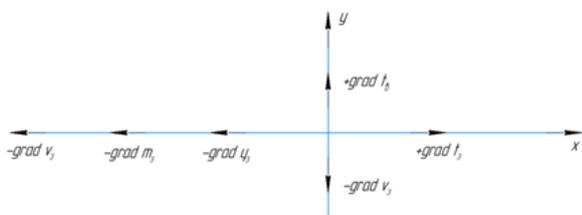


Рис. 3. Градиенты параметров

недосушенное зерно отправляют на досушивание по пневмопроводу.

Составим систему уравнений со следующими параметрами:

Изменение скорости сушильного агента:

$$\Delta v_B = v_{0B} - v_B \quad (1)$$

Изменение скорости зерна в потоке:

$$\Delta v_3 = v_{03} - v_3 \quad (2)$$

Изменение температуры сушильного агента:

$$\Delta t_B = t_B - t_{0B} \quad (3)$$

Изменение температуры зерна:

$$\Delta t_3 = t_3 - t_{03} \quad (4)$$

Изменение влажности зерна:

$$\Delta \varphi_3 = \varphi_{03} - \varphi_3 \quad (5)$$

Изменение массы зерна:

$$\Delta m_3 = m_{03} - m_3 \quad (6)$$

Градиенты указанных параметров представлены на рисунке 3.

Число комплексов определим по теореме Букингема, число критериев подобия (симплексов) равно:

$n_{кр.п.}$ – число критериев подобия равно 4, так как $n_{ф.}$ – число факторов ($n_{ф.} = 8$), $n_{ос.}$ – число основных единиц ($n_{ос.} = 4$).

Критерии подобия имеют следующий вид:

$$\pi_1 = \frac{\varphi_3}{\Delta \varphi_3} - \text{критерий, учитывающий изменение}$$

влажности зерна,

$$\pi_2 = \frac{m_3}{\Delta m_3} - \text{критерий, учитывающий}$$

изменение массы зерна,

$$\pi_3 = \frac{\Delta t_3}{\Delta t_B} - \text{критерий, учитывающий изменение}$$

температуры зерна и изменение температуры сушильного агента,

$$\pi_4 = \frac{\Delta v_B}{\Delta v_3} - \text{критерий, учитывающий изменение}$$

скорости движения сушильного агента и изменение скорости зерна.

Так как фактор $\Delta \varphi_3$ входит в критерий π_1 то

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4) \quad (7)$$

$$\pi_1 = C_f \pi_2^{\alpha_2} \pi_3^{\alpha_3} \pi_4^{\alpha_4} \quad (8)$$

где C_f – поправочный коэффициент, зависящий от выбора единиц измерения.

Таблица 1 - Экспериментальные данные по первому варианту

№ п/п	$\varphi_3, \%$	$\Delta \varphi_3, \%$	$m_{32}, \text{кг}$	$\Delta m_3, \text{кг}$	$\Delta t_3, \text{°C}$	$\Delta t_B, \text{°C}$	$\Delta v_B, \text{м/с}$	$\Delta v_3, \text{м/с}$
1	14	4	1000	120	60	120	100	98,5
	$\pi_{11} = 3,5$		$\pi_{21} = 8,33$		$\pi_{31} = 0,5$		$\pi_{41} = 1,02$	
2	14,5	3,8	1100	130	50	110	80	97,5
	$\pi_{12} = 3,82$		$\pi_{22} = 8,46$		$\pi_{32} = 0,45$		$\pi_{42} = 0,82$	
3	14,7	3,2	1200	140	40	100	60	9,5
	$\pi_{13} = 4,6$		$\pi_{23} = 8,57$		$\pi_{33} = 0,4$		$\pi_{43} = 0,63$	

Таблица 2 - Экспериментальные данные по второму варианту

№ п/п	$\varphi_3, \%$	$\Delta \varphi_3, \%$	$m_3, \text{кг}$	$\Delta m_3, \text{кг}$	$\Delta t_3, \text{°C}$	$\Delta t_B, \text{°C}$	$\Delta v_B, \text{м/с}$	$\Delta v_3, \text{м/с}$	$\beta, \%$
1	14	4	1000	120	60	120	12	7	25
	$\pi_{11} = 3,5$		$\pi_{21} = 8,33$		$\pi_{31} = 0,5$		$\pi_{41} = 1,71$		$\pi_{51} = 0,25$
2	14,5	3,8	1100	130	50	110	10	5	30
	$\pi_{12} = 3,82$		$\pi_{22} = 8,46$		$\pi_{32} = 0,45$		$\pi_{42} = 2$		$\pi_{52} = 0,3$
3	14,7	3,2	1200	140	40	100	9	4,5	40
	$\pi_{13} = 4,6$		$\pi_{23} = 8,57$		$\pi_{33} = 0,4$		$\pi_{43} = 2$		$\pi_{53} = 0,4$
4	14,9	2,9	1250	148	30	95	8	4,2	50
	$\pi_{14} = 5,14$		$\pi_{24} = 8,45$		$\pi_{34} = 0,32$		$\pi_{44} = 1,91$		$\pi_{54} = 0,5$

Учитывая, что изменения по шкале Цельсия соответствуют изменениям по шкале Кельвина, то $\Delta t = \Delta T$, а остальные единицы переведены к системе СИ, то $C_f=1$, тогда

$$\pi_1 = \pi_2^{\alpha_2} \pi_3^{\alpha_3} \pi_4^{\alpha_4} \quad (9)$$

Для определения коэффициентов математической модели ($\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$) составим следующую систему из трёх уравнений, прологарифмировав выражение (9)

$$\begin{cases} \lg \pi_{11} = \alpha_2 \lg \pi_{21} + \alpha_3 \lg \pi_{31} + \alpha_4 \lg \pi_{41} \\ \lg \pi_{12} = \alpha_2 \lg \pi_{22} + \alpha_3 \lg \pi_{32} + \alpha_4 \lg \pi_{42} \\ \lg \pi_{13} = \alpha_2 \lg \pi_{23} + \alpha_3 \lg \pi_{33} + \alpha_4 \lg \pi_{43} \end{cases} \quad (10)$$

Из экспериментальных данных, представленных в таблице 1 составим систему уравнений для нахождения коэффициентов $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$.

Подставив соответствующие значения критериев в данное уравнение и произведя расчёты, получили:

$$\begin{cases} 0,922\alpha_2 - 0,301\alpha_3 + 0,233\alpha_4 = 0,544 \\ 0,927\alpha_2 - 0,347\alpha_3 + 0,301\alpha_4 = 0,582 \\ 0,933\alpha_2 - 0,398\alpha_3 + 0,301\alpha_4 = 0,663 \end{cases} \quad (11)$$

Решив полученную систему методом Крамера с помощью программы MathCAD, получили $\alpha_2=0,305$, $\alpha_3=-0,964$, $\alpha_4=-0,116$, а критериальное уравнение примет вид:

$$\varphi_3 = \Delta \varphi_3 \cdot \left(\frac{m_3}{\Delta m_3}\right)^{0,305} \cdot \left(\frac{\Delta t_3}{\Delta t_B}\right)^{-0,964} \cdot \left(\frac{\Delta v_B}{\Delta v_3}\right)^{-0,116} \quad (12)$$

Для расчёта по второму варианту, в имеющееся критериальное уравнение $\pi_1 = \pi_2^{\alpha_2} \pi_3^{\alpha_3} \pi_4^{\alpha_4}$

добавляем критерий π_5 , учитывающий процент зерна, отправляемого на досушивание, тогда

$$\pi_1 = \pi_2^{\alpha_2} \pi_3^{\alpha_3} \pi_4^{\alpha_4} \pi_5^{\alpha_5} \quad \pi_5 = \frac{\beta}{100} \quad (13)$$

Список литературы

- [1] Журавлев А.П., Журавлева Л.А. Послеуборочная обработка зерна с основами хранения зернопродуктов [Текст] : монография. - Самара : СГСХА, 2012. - 364 с
- [2] Поздняков Г.М. Хранение и оценка качества зерна. – Пермь.: Изд-во Пермская ГСХА, 2011. – 125 с.
- [3] Патент на полезную модель РФ. № 196966. Сушилка / А.И. Купреенко, Т.В. Панова, М.В. Панов. Оpubл.: 23.03.2020 Бюл. № 9.
- [4] Горяев А.Б., Сорочинский В.Ф., Горячева Е.М. Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского (8-9 сентября 2016 г.). – М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. – Т. 1. – С. 320-324.

где β – параметр, измеряемый в долях.

Тогда критериальное уравнение примет вид:

$$\varphi_3 = \Delta \varphi_3 \cdot \left(\frac{m_3}{\Delta m_3}\right)^{\alpha_2} \cdot \left(\frac{\Delta t_3}{\Delta t_B}\right)^{\alpha_3} \cdot \left(\frac{\Delta v_B}{\Delta v_3}\right)^{\alpha_4} \cdot \left(\frac{\beta}{100}\right)^{\alpha_5} \quad (14)$$

Для определения коэффициентов математической модели ($\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$) составим следующую систему из трёх уравнений, прологарифмировав выражение (14)

$$\begin{cases} \lg \pi_{11} = \alpha_2 \lg \pi_{21} + \alpha_3 \lg \pi_{31} + \alpha_4 \lg \pi_{41} + \alpha_5 \lg \pi_{51} \\ \lg \pi_{12} = \alpha_2 \lg \pi_{22} + \alpha_3 \lg \pi_{32} + \alpha_4 \lg \pi_{42} + \alpha_5 \lg \pi_{52} \\ \lg \pi_{13} = \alpha_2 \lg \pi_{23} + \alpha_3 \lg \pi_{33} + \alpha_4 \lg \pi_{43} + \alpha_5 \lg \pi_{53} \\ \lg \pi_{14} = \alpha_2 \lg \pi_{24} + \alpha_3 \lg \pi_{34} + \alpha_4 \lg \pi_{44} + \alpha_5 \lg \pi_{54} \end{cases} \quad (15)$$

Из экспериментальных данных, представленных в таблице 2 составим систему уравнений для нахождения коэффициентов $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$.

Подставив соответствующие значения критериев в данное уравнение и произведя расчёты, получили:

$$\begin{cases} 0,922\alpha_2 - 0,301\alpha_3 + 0,233\alpha_4 - 0,602\alpha_5 = 0,544 \\ 0,927\alpha_2 - 0,347\alpha_3 + 0,301\alpha_4 - 0,523\alpha_5 = 0,582 \\ 0,933\alpha_2 - 0,398\alpha_3 + 0,301\alpha_4 - 0,398\alpha_5 = 0,663 \\ 0,927\alpha_2 - 0,495\alpha_3 + 0,288\alpha_4 - 0,301\alpha_5 = 0,711 \end{cases} \quad (16)$$

Решив полученную систему методом Крамера с помощью программы MathCAD, получили $\alpha_2=1,09$, $\alpha_3=0,1$, $\alpha_4=0,19$, $\alpha_5=0,64$, а критериальное уравнение примет вид:

$$\varphi_3 = \Delta \varphi_3 \cdot \left(\frac{m_3}{\Delta m_3}\right)^{1,09} \cdot \left(\frac{\Delta t_3}{\Delta t_B}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{\Delta v_B}{\Delta v_3}\right)^{0,19} \cdot \left(\frac{\beta}{100}\right)^{0,64} \quad (17)$$

Выводы

Таким образом, зная массу зерна и воздуха, температуру зерна и воздуха, скорость движения зерна и воздуха можем теоретически оценить изменение влажности зерна.

References

- [1] VZhuravlev A.P., Zhuravleva L.A. Posleuborochnaya obrabotka zerna s osnovami khraneniya zernoproduktov [Tekst] : monografiya. - Samara : SGSKHA, 2012. - 364 p
- [2] Pozdnyakov G.M. Khraneniye i otsenka kachestva zerna. – Perm’: Izd-vo Permskaya GSKHA, 2011. – 125 p.
- [3] Patent na poleznuyu model’ RF. № 196966. Sushilka / A.I. Kupreyenko, T.V. Panova, M.V. Panov. Opubl.: 23.03.2020 Byul. № 9.
- [4] Garyayev A.B., Sorochinskiy V.F., Goryacheva Ye.M. Povysheniye effektivnosti protsessov i apparatov v khimicheskoy i smezhnykh otraslyakh promyshlennosti: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya A. N. Planovskogo (8-9 sentyabrya 2016 g.). – M.: FGBOU VO MGUDT, 2016. – T. 1. – pp. 320-324.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Купреенко Алексей Иванович доктор технических наук профессор кафедры «Технологическое оборудование животноводства и перерабатывающих производств» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: 8(48341) 24-7-59 E-mail: kupreenkoai@mail.ru</p>	<p>Kupreenko Alexey Ivanovich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Technological equipment for livestock breeding and processing industries» Bryansk State Agrarian University Phone: 8(48341) 24-7-59 E-mail: kupreenkoai@mail.ru</p>
<p>Панова Татьяна Васильевна кандидат технических наук доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: +7(953) 270-37-59 E-mail: panovatava@yandex.ru</p>	<p>Panova Tatiana Vasilievna PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Life safety and environmental engineering» Bryansk State Agrarian University Phone: +7(953) 270-37-59 E-mail: panovatava@yandex.ru</p>
<p>Панов Максим Владимирович кандидат технических наук доцент кафедры «Автоматика, физика и математика» ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет» 243365, Россия, Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а. Тел.: +7(920) 835-59-31 E-mail: pmv-1980@yandex.ru</p>	<p>Panov Maxim Vladimirovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Automation, physics and mathematics» Bryansk State Agrarian University Phone: +7(920) 835-59-31 E-mail: pmv-1980@yandex.ru</p>