2. Рябченко, В.Н. Пути совершенствования проходимости гусеничных ходовых систем уборочно-транспортных машин /В.Н.Рябченко// Дальневосточный аграрный вестник. Научно-практический журнал. -2011. - № 2(18).- С.23-27.

3. Спириданчук, Н.В. Повышение эффективности использования колёсных тракторов класса 1,4 на транспортных работах/Н.В. Спириданчук//Дальневосточный аграрный вестник. Научно-практический журнал. -2011. - № 1(17).-С.39-45.

4. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колёсных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока: дис. докт. техн. наук: 05.20.01: защищена 20.05.09/Щитов Сергей Васильевич; ДальГАУ/ –Благовещенск, 2009. - 325 с.

5.Устройство-цилиндро-прижимной механизм для распределения собственной нагрузки с передней оси колесного трактора на дополнительно установленный движитель /С.В.Щитов, Е.Е.Кузнецов//Патент на изобретение № 2480343, заявитель и патентообладатель Дальневосточный гос. агр. университет. заявка № 2011144332 от 01.11.2011, зарегистрирована 27.04.2013, опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. - 8 с.

References

1. Kuznetsov, E.E. Ispol'zovanie mnogoosnykh energeticheskikh sredstv klassa 1,4: monografiya (Application of Multiaxle Machinery, Class 1,4: monograph),

E.E. Kuznetsov [i dr.], Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2013, 153 p.

2. Ryabchenko, V.N. Puti sovershenstvovaniya prokhodimosti gusenichnykh khodovykh sistem uborochno-transportnykh mashin (Ways of Improvement of Flotation Ability of Harvesters' Track-Type Running Gears), *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. Nauchno-prakticheskii zhurnal*, 2011, No 2(18), PP. 23-27.

3. Spiridanchuk, N.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya kolesnykh traktorov klassa 1,4 na transportnykh rabotakh (Efficiency Enhancement of Wheel Tractors of Class 1,4 during Transportation), *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. Nauchno-prakticheskii zhurnal*, 2011, No 1(17), PP. 39-45.

4. Shchitov, S.V. Puti povysheniya agrotekhnicheskoi prokhodimosti kolesnykh traktorov v tekhnologii vozdelyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur Dal'nego Vostoka: dis. dokt. tekhn. nauk: 05.20.01: zashchishchena 20.05.09 (Ways of Improvement of Wheel Tractors' Agrotechnical Flotation Ability in the Process of Cultivation of the Far Eastern Crops: dissertation of the Doctor of Technical Sciences: 05/20/01: presented 20/05/09), Shchitov Sergei Vasil'evich, Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2009, 325 p.

5.Ustroistvo-tsilindro-prizhimnoi mekhanizm dlya raspredeleniya sobstvennoi nagruzki s perednei osi kolesnogo traktora na dopolnitel'no ustanovlennyi dvizhitel'(Device - Clamping Cylinder Unit for Allocation of its Own Load from the Front Axle of the Wheel Tractor to the Additionally Installed Propelling Agent), Shchitov S.V., Kuznetsov E.E., Patent na izobretenie № 2480343, zayavitel' i patentoobladatel' Dal'nevostochnyi gos. agr. universitet. zayavka № 2011144332 ot 01.11.2011, zaregistrirovana 27.04.2013, opubl. 27.04.2013, Byul. No 12, 8 p.

УДК 631.365+633.1
ГРНТИ 68.85; 68.35.29
Щитов С.В., д-р техн. наук, профессор; Тихончук П.В., д-р с.-х. наук,профессор;
Кривуца З.Ф., д-р техн. наук, доцент; Козлов А.В., ст. преподаватель;
Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск,
E-mail: uoup_dalgau@mail.ru;tikhonchukp@rambler.ru;
zfk20091@rambler.ru; kozlovv_av@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА

Первоочередной задачей при совершенствовании существующих технологий сушки и конструкций зерносушилок является снижение энергетических затрат на сушку зерна, и прежде всего топлива. В связи с этим актуальным является проведение исследований, направленных на повышение эффективности использования действующих камерных сушилок напольного типа на основе совершенствования конструкции, режимов работы отдельных узлов, а также технологии сушки, направленных на даль-

нейшее снижение удельных энергетических затрат. Анализ экспериментальных исследований показал, что одним из способов совершенствования технологического процесса двухэтапной сушки является использование дополнительного тепла, аккумулированного зерном на первом этапе сушки для предварительного нагрева зерна на втором этапе, что позволит уменьшить расход топлива на сушку. В статье рассматривается вопрос о выявлении закономерности влияния кинематических параметров агента на прирост температуры воздуха за счет отдачи тепла зерном. Приведенные исследования показывают, что с увеличением времени продувки приращение температуры воздуха снижается по гиперболической зависимости. При уменьшении скорости обтекания зерен значительный прирост температуры воздуха наблюдается в интервале времени от 1 до 5 с, за счет аккумулирования теплоты от зерна в большей степени, чем при относительно быстром охлаждении. Дальнейшее увеличение времени продувки более 8 с с учетом изменения скорости воздушных потоков приводит к незначительному приросту температуры воздуха. Таким образом, эффективность этого процесса существенно зависит от режимных параметров. Полученные результаты подтверждают вывод о необходимости в процессе сушки установления оптимального значения скорости продувки зерна воздушным потоком для максимального увеличения температуры воздуха за счет теплоты, ранее затраченной на нагрев зерна, что послужит основанием для разработки режимов охлаждения зерна в технологии двухэтапной сушки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕХНОЛОГИЯ СУШКИ,РАСХОД ТОПЛИВА,ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ,ТЕМПЕРАТУРА,СКОРОСТЬ ОБТЕКАНИЯ ЗЕРЕН,ВРЕМЯ ПРОДУВКИ

UDC 631.365+633.1
Shchitov S.V., Dr Tech. Sci., Professor; Tikhonchuk P.V., Dr Agr. Sci., Professor;
Krivutsa Z.F., Dr Tech. Sci., Associate Professor; Kozlov A.V., Senior Teacher
Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk,
E-mail: uoup_dalgau@mail.ru; tikhonchukp@rambler.ru;
zfk20091@rambler.ru; kozlovv_av@mail.ru

RESEARCH INTO INFLUENCE OF KINEMATIC PARAMETERS ON OPTIMIZATION OF GRAIN DRYING PROCESS

The first priority concerning improvement of the existing technologies of drying and designs the grain-dryers is the decrease in power costs of grain drying, and first of all fuel consumption. In this connection the most important thing is the researches carried out into the enhancing of effectiveness of existing floor chamber grain-dryers on the basis of improvement of a design, operating modes of separate assembly units and also technology of drying in order to further decrease specific power expenses. The analysis of experimental studies has shown that one of the ways of improvement of technological process of two-stage drying is the use of the additional heat accumulated by grain at the first stage of drying which can used for preliminary heating of grain at the second stage that allows to reduce fuel consumption for drying. The article considers the question of detecting of regularity of influence of kinematic parameters of the agent on the rise of air temperature due to return of the grains' heat. The given researches show that with the increase of blowing (purge) time the increment of air temperature decreases in accordance with the hyperbolic relation. At the reduction of the ambient velocity the considerable rise of air temperature is observed in the time slot from 1 s to 5 s rather due to accumulation of heat from the grain than at relatively fast cooling. Further increase of blowing

time to more than 8 s, taking into account the change of speed of air streams, leads to an insignificant rise of air temperature. Thus, the efficiency of this process significantly depends on the operation (regime) parameters. The received results confirm the conclusion as to the need for selection of an optimal speed of grain blowing by air stream during drying process in order to get maximal rise of the air temperature due to the heat spent earlier for grain heating and that will form the basis for development of the modes of cooling grain in the technology of two-stage drying.

KEYWORDS: TECHNOLOGY OF DRYING, FUEL CONSUMPTION, POWER EXPENSES, TEMPERATURE, AMBIENT VELOSITY, BLOWING TIME.

В технологии послеуборочной обработки зерна все больший интерес и развитие получают комбинированные способы сушки, в частности, сочетающие высокотемпературную сушку, отлежку и охлаждение зерна наружным воздухом – так называемую двухэтапную (двухстадийную) сушку [1-3].

Методика исследований

Для реализации двухэтапной технологии в сушилках камерного типа предлагается применить функционально-параметрическую схему, показанную на рисунке 1.

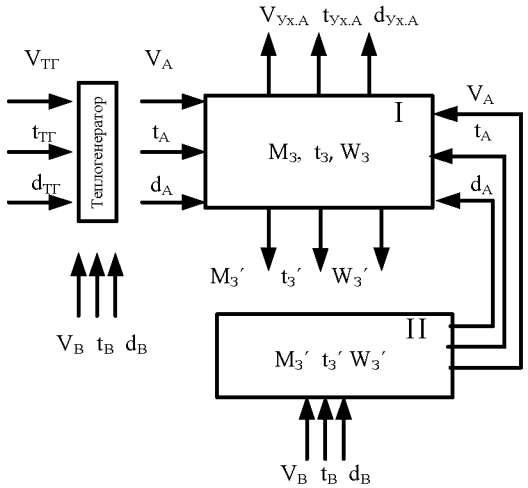

Рис. 1. Функционально-технологическая схема работы сушильного отделения

В камеру I засыпается зерно с первоначальными параметрами: массой $M_З$, температуройt$_З$ и влажностью $W_З$. При сжигании топлива топочные газы объёмом $V_{ТГ}$, температурой $t_{ТГ}$ и влагосодержанием $d_{ТГ}$ смешиваются с воздухом объёмом $V_В$, температурой $t_В$ и влагосодержанием $d_В$. После прохода через слой зерна сушильного агента он удаляется объёмом $V_{ух.А}$, температурой $t_{ух.А}$ и влагосодержанием $d_{ух.А}$. После определённого времени сушки зерно из камеры I массой $M_З'$, температурой $t_З'$ и влажностью $W_З'$ стекает в камеру II и находится на отлёжке. В этот период происходит загрузка камеры I. После этого происходит продувка камеры II с целью отбора от него аккумулированного тепла. Нагретый воздух поступает в камеру I и отдаёт аккумулированное им тепло зерну, предварительно его нагревая. После этого процесс сушки с участием теплогенератора продолжается.

В данном случае, предлагаемая технология позволяет снизить расход топлива на сушку так как зерно предварительно нагрето.

Результаты исследований

В общем случае запас тепла, аккумулированного зерном в первой камере, можно определить согласно первого закона термодинамики

$$\delta Q_З = M_З \cdot c_З \cdot dt_З \qquad (1)$$

где $\delta Q_З$ - теплота, Дж; $c_З$ - теплоемкость зерна, Дж/(кг·°С); $M_З$ - масса зерна, кг; $dt_З$ - прирост температуры в результате нагрева зерна, °С.

Следовательно, выяснив, при помощи проведенных исследований, что потери тепла в окружающую среду в среднем составляют 5%, уравнение (1) можно представить следующим образом:

$$\delta Q_З = 0{,}95 M_З \cdot c_З \cdot dt_З \qquad (2)$$

При проходе воздуха через слой зерна, находящегося в камере, имеющего

количество тепла $\delta Q_з$, с целью частичного отбора тепла можно описать уравнением Ньютона – Рихмана

$$\delta Q_в = \alpha_з \cdot F_з \cdot n \cdot \tau \cdot dt_в, \quad (3)$$

где $\alpha_з$ - коэффициент теплоотдачи зерна при охлаждении, Вт/(м^2·°С); τ– время, с;$F_з$ – площадь поверхности зерна, м^2;n – количество зерен в объеме камеры сушилки;$dt_в$ - прирост температуры воздуха,°С.

При определении удельной площади поверхности зерна, учитывая их разнообразие форм и размеров, целесообразно использовать понятие приведенного диаметра [4]

$$d_{пр} = \sqrt[3]{\frac{G \cdot V_ш}{\pi}} = 1{,}24\sqrt[3]{V_з}, \quad (4)$$

где $V_ш$–объем равномерного шара, м^3;$V_з$– объём одного зерна, м^3.

С учетом (4) удельная площадь поверхности зерна определится по формуле

$$\frac{F_з}{M_з} = \frac{6}{\rho_з \cdot d_{пр}}, \quad (5)$$

где$\rho_з$ – плотность зерна, кг/м^3.

Следовательно,

$$F_з = \frac{6 \cdot M_з}{\rho_з \cdot d_{пр}}, \quad (6)$$

$$\delta Q_в = \frac{\alpha_з \cdot n \cdot 6M_з \cdot \tau \cdot dT_в}{\rho_з \cdot d_{пр}}, \quad (7)$$

Согласно исследованиям, приведенным Мельниковым С.В. [5], значения$d_{пр}$ для расчета можно принять для ячменя равным 4,2 мм, овса – 3,7 мм, ржи – 3,3 мм, пшеницы – 3,8 мм.

Коэффициент теплоотдачи при охлаждении зерна в работе [6] предлагается определять по выражению

$$\alpha_з = \frac{0{,}244 \cdot \lambda \cdot V^{0,6}}{d^{0,4} \cdot \nu^{0,6}}, \quad (8)$$

где λ - теплопроводность воздуха, Вт/м·с;V – скорость обтекания зерна воздушным потоком, м/с;ν - кинематическая вязкость воздуха, м^2/с;$d_{пр}$– приведенный диаметр зерна, м.

С учетом выражения (8) формула (7) примет вид

$$\delta Q_в = \frac{1{,}464 \cdot \lambda \cdot V^{0,6} \cdot n \cdot M_з \cdot \tau \cdot dt_в}{d_{пр}^{1,4} \cdot \nu^{0,6} \cdot \rho_з}. \quad (9)$$

Выразим из формулы (9) прирост температуры воздух

$$dt_в = \frac{d_{пр}^{1,4} \cdot \nu^{0,6} \cdot \rho_з}{1{,}464 \cdot \lambda \cdot V^{0,6} \cdot n \cdot M_з \cdot \tau} \delta Q_в. \quad (10)$$

Количество тепла, которое может аккумулировать воздух от зерна, можно определить из условия

$$\delta Q_в = \delta Q_з = M_з \cdot c_з \cdot dt_з. \quad (11)$$

Исходя из этого выражения формула (10) примет вид

$$dt_в = \frac{M_з \cdot c_з \cdot dt_з \cdot d_{пр}^{1,4} \cdot \nu^{0,6} \cdot \rho_з}{1{,}464 \cdot \lambda \cdot V^{0,6} \cdot n \cdot M_з \cdot \tau}, \quad (12)$$

таким образом, прирост температуры воздуха за счет отдачи тепла зерном определяется следующим выражением

$$\Delta t_в = \int_{t_1}^{t_2} \frac{c_з \cdot d_{пр}^{1,4} \cdot \nu^{0,6} \cdot \rho_з}{1{,}464 \cdot \lambda \cdot V^{0,6} \cdot n \cdot \tau} \cdot dt_з. \quad (13)$$

В рамках данного исследования получена экспериментальная зависимость изменения температуры воздуха в камере II от времени при различной скорости продувки зерна воздушным потоком (рис.2).

Сходимость экспериментальных и теоретических распределений проверялась по критерию Фишера – Снедекора. Взаимозависимость факторов устанавливалась корреляционным анализом с определением параметров по методу наименьших квадратов. Коэффициент детерминации составил $R_{xy}^2 = 0{,}9883$.

Анализируя значения изменения температуры воздуха в камере II при различных скоростных режимах воздушных потоков (рис. 2), необходимо отметить, что с увеличением времени продувки приращение температуры воздуха снижается по гиперболической зависимости.

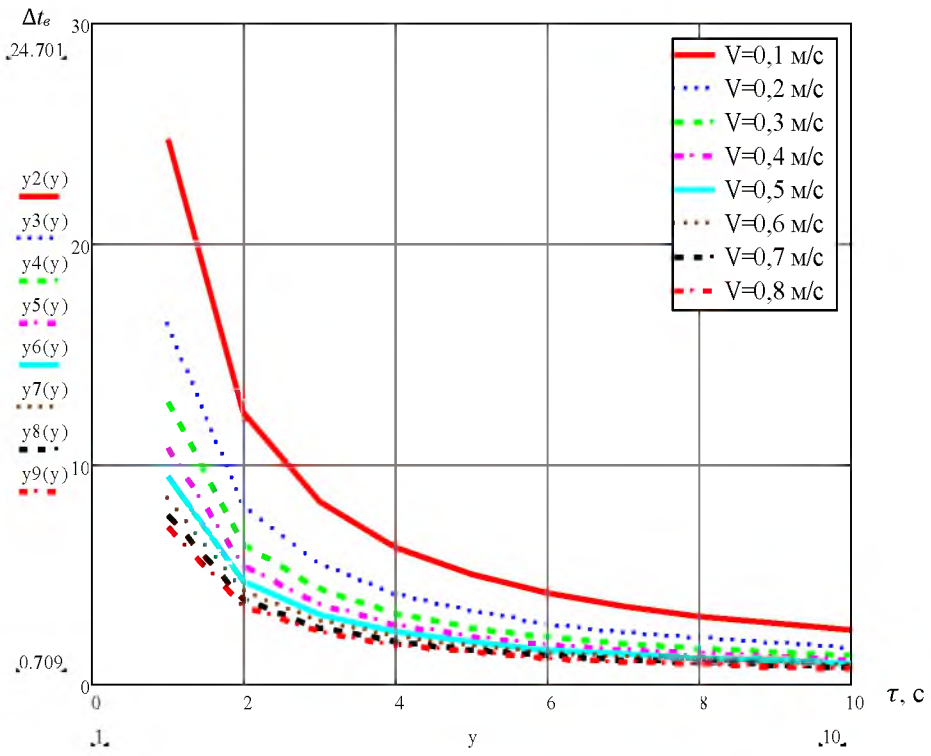

Рис. 2. Зависимость изменения температуры воздуха от времени при различных скоростях обтекания зерна воздушным потоком

При уменьшении скорости обтекания зерен значительный прирост температуры воздуха наблюдается в интервале времени от 1 до 5 с, за счет аккумулирования теплоты от зерна в большей степени, чем при относительно быстром охлаждении. Дальнейшее увеличение времени продувки более 8 с с учетом изменения скорости воздушных потоков приводит к незначительному приросту температуры воздуха.

Выводы

Приведенные исследования показывают, что одним из способов совершенствования технологического процесса двухэтапной сушки является использование дополнительного тепла, аккумулированного зерном на первом этапе сушки для предварительного нагрева зерна на втором этапе, что позволит уменьшить расход топлива на сушку. Вместе с тем, эффективность этого процесса существенно зависит от режимных параметров. Полученные данные подтверждают вывод о необходимости в процессе сушки установления оптимального значения скорости продувки зерна воздушным потоком для максимального увеличения температуры воздуха за счет теплоты, ранее затраченной на нагрев зерна. Результаты экспериментальных исследований послужат основанием для разработки режимов охлаждения зерна в технологии двухэтапной сушки.

Список литературы

1. Козлов, А.В. Основные направления совершенствования технолого-технической системы послеуборочной обработки зерна и подготовки семян / А.В. Козлов, В.И. Хилько, Ю.Н. Смолянинов // Инновационная деятельность аграрной науки в Дальневосточном регионе, Дальнаука. – Владивосток, 2011. – С. 325-330.

2. Козлов, А.В. Технология сушки семенного зерна повышенной влажности в условиях Дальневосточного региона / А.В. Козлов, В.И. Хилько, Ю.Н. Смолянинов // Дальневосточный аграрный вестник. – 2012. – №3(23).– С. 41-44.

3. Козлов, А.В. Энергосберегающая технология сушки семян в камерной зерносушилке напольного типа / А.В. Козлов, В.И. Хилько //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – № 11. – С. 85-89.

4. Шагдыров, И. Б. Обоснование технологического процесса измельчения фуражного зерна в трехступенчатом измельчителе: монография /И. Б. Шагдыров // ФГОУ ВПО «БГСХА им. В. Р. Филиппова» – Улан-Удэ, 2006. – 111 с.

5. Мельников, С.В. Экспериментальные основы теории процесса измельчения кормов на фермах молотковыми дробилками: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 410 / С. В. Мельников. – Л., 1969. – 59 с.

Reference

1. Kozlov, A.V., Khil'ko, V.I., Smolyaninov, Yu.N. Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya tekhnologo-tekhnicheskoi sistemy posleuborochnoi obrabotki zerna i podgotovki semyan (Main Directions of Improvement of Technology and Technical System of after Harvest Grain and Seeds Processing), Innovatsionnaya deyatel'nost' agrarnoi nauki v Dal'nevostochnom regione, Dal'nauka, Vladivostok, 2011, PP. 325-330.

2. Kozlov, A.V., Khil'ko, V.I., Smolyaninov, Yu.N. Tekhnologiya sushki semennogo zerna povyshennoi vlazhnosti v usloviyakh Dal'nevostochnogo regiona (Technology of Drying Seed Grain of High Humidity in the Climates of the Far East Region), *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik,* 2012, No 3(23), PP. 41-44.

3. Kozlov, A.V., Khil'ko, V.I. Energosberegayushchaya tekhnologiya sushki semyan v kamernoi zernosushilke napol'nogo tipa (Energy-Saving Technology of Seeds Drying in the Floor Chamber Grain-Dryer), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2015, No 11, PP. 85-89.

4. Shagdyrov, I. B. Obosnovanie tekhnologicheskogo protsessa izmel'cheniya furazhnogo zerna v trekhstupenchatom izmel'chitele: monografiya (Substantiation of Technological Process of Feed Grain Size Refinement in Three-Stage Shredder: Monograph), FGOU VPO «BGSKhA im. V. R. Filippova», Ulan-Ude, 2006, 111 p.

5. Mel'nikov, S.V. Eksperimental'nye osnovy teorii protsessa izmel'cheniya kormov na fermakh molotkovymi drobilkami (Experimental Bases of the Theory of Fodder Refinement Process at the Farms with Hammer Grinders), avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: 410 / S. V. Mel'nikov, L., 1969, 59 p.