

деления данной примеси (93-95%) при незначительных потерях семян в отходы (0,8-0,9%) обеспечивается при значениях угла наклона рабочей поверхности сепаратора к горизонту  $\alpha=47-48^\circ$  и ее скорости движения  $v=0,22-0,24$  м/с (см. рис. 5). Принимаем  $\alpha=47^\circ$  и  $v=0,23$  м/с.

**Выводы.** 1. Выявлен новый признак делимости семян, имеющих многогранную форму, – фактор контура поверхности – и для его реализации разработан ленточный сепаратор с новой рабочей поверхностью.

2. Обоснованы рациональные параметры сепаратора для окончательной очистки семян высоких категорий от татарской гречихи. Диаметр тонких стержней 1 мм, шаг их установки 25 мм, угол наклона рабочей поверхности к горизонту  $47^\circ$ , ее скорость 0,23 м/с и нагрузка 1000 кг/ч\*м.

#### Библиографический список

1. Абидуев А.А. Обоснование технологий очистки семян пшеницы / А.А. Абидуев, А.А. Абидуев // Вестник ГБОУ ВПО ВСГУТУ. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ. – 2011. – Вып. 4.

– С. 86-90.

2. Абидуев А.А. Обоснование условий разделения семян пшеницы и татарской гречихи на ленточном сепараторе / А.А. Абидуев, Ал.А. Абидуев // Сб. научных трудов ГОУ ВПО ВСГУТУ. Серия: Технологии и средства механизации в АПК. – Вып. 7. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ. – 2011. – С. 48- 54.

3. Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки / В.М. Дринча. – Воронеж: Изд-во НПО «Модэк». – 2006. – 384 с.

4. Ленточный сепаратор: пат. 109026 РФ: МПК В07В 13/00 (2006.01); заявл. 08.06.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №28.

5. Маркова Е.В. Планирование эксперимента в условиях неоднородности / Е.В. Маркова, А.Н. Лысенков. – М.: Наука, 1973. – 220 с.

6. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Изд. 2-е, перераб. – Л.: Колос, Ленигр. отд-ние. – 1980. – 168 с.

7. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 380 с.

УДК 631:362.7

**В. И. Курдюмов, М. А. Карпенко, Г. В. Карпенко,  
А. А. Павлушин, С. А. Сутягин**

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия  
им. П.А. Столыпина», Ульяновск  
E-mail: SergeySut@mail.ru

### **СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА СУШКУ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ КОНТАКТНОГО ТИПА**

**Ключевые слова:** сушка зерна, энергосбережение, математическая модель.

*Обоснован выбор контактного способа сушки зерна. Предложена схема установки контактного типа для сушки зерна. Приведены основные теоретические зависимости по обоснованию потерь теплоты через последовательно расположенные теплоизоляционные слои. Получена теоретическая зависимость затрат энергии на процесс сушки зерна от конструктивно-режимных параметров установки и свойств обрабатываемого зерна. Представлены результаты исследований установки в лабораторных условиях.*

V. Kurdyumov, M. Karpenko, G. Karpenko, A. Pavluschin, S. Sutyagin  
FSBEI HPE «Ulyanovsk State Academy of Agriculture named after P.A. Stolypin»,  
Ulyanovsk  
E-mail: SergeySut@mail.ru

## REDUCTION OF ENERGY COSTS FOR GRAIN DRYING IN A DRYING FACILITY OF THE CONTACT TYPE

**Key words:** grain drying, energy saving, mathematical model.

*The choice of the contact way of grain drying is substantiated. A scheme of the apparatus for the contact type of grain drying is proposed. The main theoretical dependency of heat loss through sequentially located heat insulation layers is presented. The theoretical dependency of energy consumption for grain drying process on the design and operating parameters of the apparatus and properties of the processed grain is obtained. Results of research of the grain drying machine are presented.*

**Введение.** Производство зерна является основным звеном сельскохозяйственного производства, от которого зависит обеспеченность промышленности страны сырьем, населения - хлебом и продуктами его переработки, животноводства - кормами.

В структуре кормового баланса зерно занимает 50...80 %. Сушка зерна повышает его питательную ценность за счет перевода сложных высокомолекулярных веществ в простые.

С ростом объемов производства зерна в сельском хозяйстве издержки на его производство возрастают, причем темп их роста постоянно увеличивается. Причиной этого стали недопустимые потери зерна, большая часть которых приходится на период его послеуборочной обработки и хранения. Решить задачу снижения затрат можно только при помощи модернизации существующей техники, а также внедрения новых энергосберегающих технологий в процесс производства и переработки продукции сельского хозяйства.

Сушка зерна в сельскохозяйственном производстве - одна из наиболее необходимых и энергоемких операций. Она обеспечивает возможность длительного хранения готовой продукции, а также эффективную предварительную обработку зернового сырья для большинства технологических операций процесса производства и переработки сельско-

хозяйственной продукции.

В настоящее время примерно 10 % от всего потребления энергии в агропромышленном комплексе развитых стран приходится на сушку зерна.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили конвективные установки, в которых сушке подвергают более 80 % обрабатываемого зерна. В качестве топлива в них используют природный газ и светлые виды жидкого нефтяного топлива. Однако конвективные установки являются относительно энергозатратными и не всегда обеспечивают требуемое качество готового продукта. Поэтому разработка энергосберегающих установок для сушки зерна, обеспечивающих требуемое его качество при низких эксплуатационных затратах, является актуальной и важной научно-технической задачей.

Целью данной работы является интенсификация процесса сушки зерна путем разработки установки контактного типа с определением ее оптимальных конструктивных параметров и режимов работы, обеспечивающих снижение затрат энергии и требуемое качество готового продукта при заданной пропускной способности.

**Методика исследования.** На основе анализа способов тепловой обработки зерна и средств механизации данного процесса выявлено, что существующие установки конвективного типа име-

ют низкий тепловой коэффициент полезного действия, затрачивают значительное количество электрической энергии на единицу продукции и не всегда обеспечивают требуемое качество высушенного материала [1]. Для снижения затрат энергии и обеспечения требуемого качества готового продукта в устройствах относительно небольшой пропускной способности рационально применять контак-

тный способ подвода теплоты при одновременном перемешивании и перемещении зерна в единичном слое [4].

Для достижения поставленной цели нами предложена установка контактного типа для сушки зерна (рис. 1). Конструктивные особенности предложенной установки обеспечивают перемещение зерна в единичном слое.

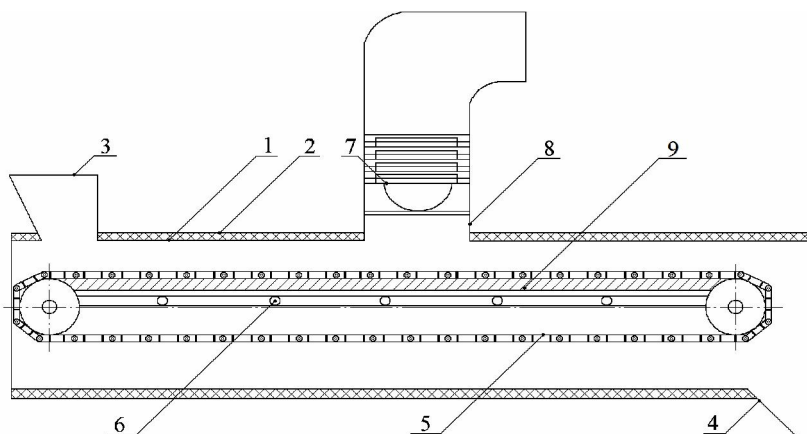


Рисунок 1 – Установка для сушки зерна:

- 1 - кожух; 2 - теплоизолирующий материал; 3 - загрузочный бункер; 4 - выгрузное окно;  
5 - транспортирующий рабочий орган; 6 - нагревательные элементы; 7 - вентилятор;  
8 - воздухопровод; 9 - греющая пластина

Предложенная установка работает следующим образом. Включают нагревательные элементы. После достижения заданной температуры греющей пластины подают зерно в загрузочный бункер, откуда оно поступает на греющую пластину, по которой перемещается скребковым транспортирующим рабочим органом к выгрузному окну.

За счет конструктивных особенностей скребкового рабочего органа каждая частица зерна при перемещении по греющей пластине вращается вокруг своей оси, контактируя с нагретой поверхностью греющей пластины, зерно равномерно нагревается, теряет излишки влаги, которые вместе с воздухом выдуваются вентилятором наружу. Сухое зерно удаляется из установки через выгрузное окно.

Выполнение кожуха прямоугольного сечения теплоизолированным, использование скребкового транспортирующего органа, а также возможность регули-

рования температуры нагрева греющей пластины за счет применения отдельных нагревательных элементов - все это обеспечивает требуемую равномерность нагрева зерна, снижает потери теплоты в установке и затраты электрической энергии.

Разработанная установка универсальна, так как использование скребкового транспортирующего рабочего позволяет сушить зерно различных сельскохозяйственных культур.

Перемещение зерна скребковым транспортирующим органом и соединение воздухопровода охлаждающего устройства с кожухом на равном расстоянии от загрузочного бункера и выгрузного окна позволяет достичь равномерного обдува движущегося материала воздухом, обеспечивая требуемое качество сушки.

С целью снижения затрат электрической энергии при сушке зерна в предложенной установке необходимо, чтобы потери теплоты были минимальны. Для

этого в установке необходимо применять теплоизоляционные материалы, которые обеспечивают сохранение теплоты и, как следствие, улучшают показатели

энергосбережения.

На рисунке (2) представлена схема распределения теплоты в разработанной установке.

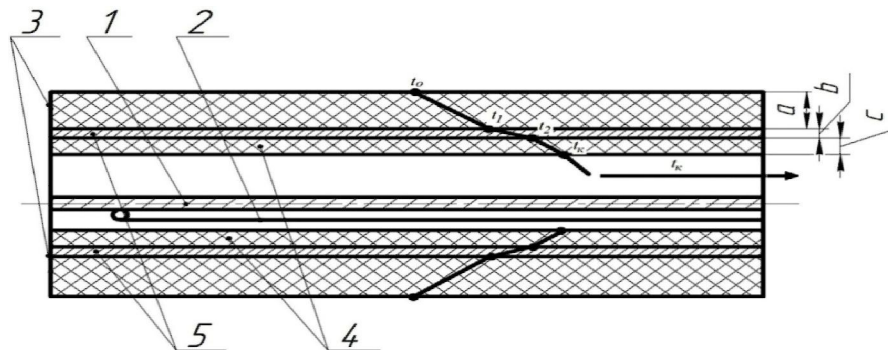


Рисунок 2 – Схема распределения теплоты в установке контактного типа:

- 1 - греющая пластина; 2 - нагревательный элемент; 3 - внешний слой теплоизоляции;
- 4 - внутренний слой теплоизоляции; 5 - кожух; a - толщина внешнего слоя теплоизоляции;
- b - толщина кожуха; c - толщина внутреннего слоя теплоизоляции

Для обоснования толщины теплоизоляционного слоя рассмотрим механизм передачи теплоты при установившейся теплопроводности.

Тепловой поток проходит через несколько последовательно расположенных слоев a, b и c. Передача теплоты через последовательно расположенные теплоизолирующие слои, в общем случае, происходит по закону (1) [2, 3]:

$$Q = \frac{kA(t_B - t_H)}{x_B - x_H}, \quad (1)$$

где Q - тепловой поток, Вт; k - коэффициент теплопроводности материала теплоизолирующего слоя, Вт/(м °С); A - площадь поперечного сечения, через которое проходит теплота, м<sup>2</sup>; t<sub>B</sub>, t<sub>H</sub> - температура, соответственно, внутреннего и наружного слоя, °С; x<sub>B</sub>, x<sub>H</sub> - толщина, соответственно, внутреннего и наружного слоя, м

При установившемся режиме тепловой поток находят как отношение величины общего падения температуры к общему тепловому сопротивлению R, которое является суммой отдельных сопротивлений.

Для стационарной теплопроводности через единичное тело уравнение (1) запишем в следующем виде:

$$Q = \Delta t / (x/kA) = \Delta t / R, \quad (2)$$

где R = (x/kA) - термическое сопро-

тивление, °С/Вт.

Применяя уравнение (2) к каждому слою, получим:

$$Q = \frac{t_0 - t_1}{R_a} = \frac{t_1 - t_2}{R_b} = \frac{t_2 - t_k}{R_c}, \quad (3)$$

где t<sub>0</sub> - температура внешнего слоя, °С; t<sub>1</sub> - температура кожуха, °С; t<sub>2</sub> - температура внутреннего слоя, °С; t<sub>k</sub> - конечная температура, °С; R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub>, R<sub>c</sub> - соответственно термические сопротивления отдельных слоев.

Сложив выражения QR<sub>a</sub> = (t<sub>0</sub> - t<sub>1</sub>), QR<sub>b</sub> = (t<sub>1</sub> - t<sub>2</sub>) и QR<sub>c</sub> = (t<sub>2</sub> - t<sub>k</sub>), после преобразования получим:

$$Q = \frac{\sum \Delta t}{R} = \frac{(\Delta t)a + (\Delta t)b + (\Delta t)c}{R_a + R_b + R_c} \quad (4)$$

Заменив в уравнении (5) термическое сопротивление каждого слоя, получим:

$$Q = \frac{\sum \Delta t}{\frac{x_a}{k_a A_a} + \frac{x_b}{k_b A_b} + \frac{x_c}{k_c A_c}} \quad (5)$$

Таким образом, применяя уравнение (6), можно выбирать тип и толщину теплоизолирующего материала, который с учетом конструктивных особенностей установки обеспечивает минимальные потери теплоты.

В процессе работы разработанной

установки для сушки зерна мощность затрачивается на привод скребкового транспортирующего рабочего органа, нагрев греющей пластины, привод вентилятора, установленного в воздуховоде установки, и на нагрев воздуха, подаваемого вентилятором

$$N = N_{II} + N_{HЭ} + N_B + N_Э, \quad (6)$$

где  $N_{II}$  - мощность, требуемая на привод транспортирующего рабочего органа, Вт;  $N_{HЭ}$  - мощность, необходимая для нагрева греющей пластины в установке, Вт;  $N_B$  - мощность, потребляемая вентилятором, установленным в воздуховоде установки, Вт;  $N_Э$  - мощность, потребляемая электрокалорифером, Вт.

Подставим в уравнение (6) выражения каждой составляющей мощности, получим:

$$N = (F_T + F_{II}) \left( k_{N_3} + 1 \right) (A + 1) \frac{v L_{Г}}{a_C} + \frac{U_{\phi}^2 S}{\rho_T l} + \frac{k_3 L H_{II}}{3,6 \cdot 10^6 \eta_B \eta_{II}} + c \gamma_B V_B (t_K + t_H) + \frac{(t_{BH} - t_{HAP}) F}{\frac{1}{\alpha_{BH}} + \frac{s_C}{k} + \frac{1}{\alpha_{HAP}}}, \quad (7)$$

где  $F_T$  - сила, необходимая для перемещения подаваемого в установку зернового материала транспортирующим рабочим органом, Н;  $F_{II}$  - сила инерции перемещаемого волочением зерна, Н;  $k_{N_3}$  - коэффициент пропорциональности;  $A$  - коэффициент влияния конструкции выгрузного устройства;  $v$  - скорость движения транспортирующего рабочего органа;  $L_{Г}$  - длина греющей пластины, м;  $a_C$  - расстояние между скребками транспортирующего рабочего органа, м;  $U_{\phi}$  - фазное напряжение, В;  $S$  - площадь сечения нагревателя, м<sup>2</sup>;  $\rho_T$  - удельное электрическое сопротивление материала электронагревателя, Ом·м;  $l$  - длина нагревателя, м;  $k_3$  - коэффициент запаса;  $L$  - количество воздуха, подаваемого вентилятором в установку, м<sup>3</sup>/ч;  $H_{II}$  - потери давления в воздуховоде, Па;  $\eta_B$  - коэффициент полезного действия вентилятора;  $\eta_{II}$  - коэффициент полезного действия передачи;  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С);  $\gamma_B$  - плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V_B$  - расход нагреваемого воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $t_H$  и  $t_K$  - начальная и конечная температуры воздуха соответственно, °С;  $t_{BH} = 0,5(t_H + t_K)$  - средняя темпе-

ратура внутри нагревательной камеры, °С;  $t_{нар}$  - температура наружного воздуха, °С;  $F$  - площадь стенок воздуховода, через которую теряется теплота, м<sup>2</sup>;  $s_C$  - толщина стенки, м;  $\alpha_{вн}$  и  $\alpha_{нар}$  - коэффициенты теплоотдачи от нагретого воздуха к внутренней поверхности стенки и от внешней поверхности стенки к наружному воздуху соответственно, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $k$  - теплопроводность материала стенки, Вт/(м·°С).

Анализ уравнений (7) показал, что при оптимизации режимов работы установки, напряжения, подаваемого на нагревательные элементы, можно снизить затраты электрической энергии на процесс сушки зернового материала в установке при обеспечении требуемого качества готового продукта.

**Результаты исследования.** Для исследования процесса сушки зерна была разработана и изготовлена лабораторная установка (рис. 3).

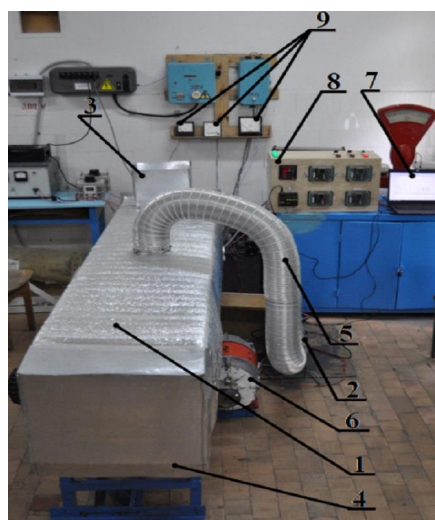


Рисунок 3 – Лабораторная установка для сушки зерна: 1 - кожух; 2 - электрокалорифер; 3 - загрузочный бункер; 4 - выгрузное окно; 5 - воздуховод; 6 - электродвигатель; 7 - персональный компьютер; 8 - блок автоматического управления температурным режимом; 9 - контрольно-измерительная аппаратура

Разработанную установку исследовали в режиме сушки зерна овса сорта «Конкур». По результатам проведенных лабораторных исследований нами получено уравнение регрессии, которое характеризует влияние выбранных независимых факторов на критерий оптимиза-

ции процесса сушки зерна в разработанной установке:

$$q_{\text{уд}} = 3726,127 + 18,25t_{\text{ср.ср.}} + 0,24\tau - 442,28v_{\text{в}} - 31t_{\text{в}} - 0,27t_{\text{ср.ср.}}t_{\text{в}} + 3,86\tau v_{\text{в}} + 0,64\tau t_{\text{в}} + 10,29v_{\text{в}}t_{\text{в}} + 2v_{\text{в}}^2 + 0,22t_{\text{в}}^2. \quad (8)$$

где  $q_{\text{уд}}$  - удельные затраты энергии, кДж/кг<sub>влаги</sub>;  $t_{\text{ср.ср.}}$  - средняя температура греющей поверхности, °С;  $\tau$  - время нахождения зерна в установке с;  $v_{\text{в}}$  - скорость воздуха, м/с;  $t_{\text{в}}$  - температура воздуха, °С.

В результате анализа полученного уравнения определены оптимальные значения независимых факторов, при которых удельные затраты энергии на испарение влаги из зерна овса минимальны и составляют 3873,3 кДж/кг<sub>влаги</sub>; средняя температура греющей поверхности  $t_{\text{ср.ср.опт}} = 69$  °С, время нахождения зерна в установке  $\tau = 40$  с, скорость движения воздуха  $v_{\text{в}} = 1,33$  м/с, температура воздуха  $t_{\text{в}} = 23,8$  °С. Пропускная способность установки при этом составляет 400 кг/ч.

**Заключение.** Таким образом, применение предложенной установки контактного типа для сушки зерна позволяет снизить затраты энергии как минимум на 20 % по сравнению известными установками конвективного типа, а также обеспечивает требуемое качество готового продукта.

#### Библиографический список

1. Атаназевич В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич – М.: Агропромиздат, 1989. – 240 с.
2. Кавецкий Г. Д. Технологические процессы и производства / Г. Д. Кавецкий – М.: КолосС, 2006. – 368 с.
3. Курдюмов В.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности / В.И. Курдюмов – М.: Колос. – 1979. – 256 с.
4. Устройство для сушки зерна: пат. 2446886. РФ опубл. 10.04.2012 г., Бюл № 10.

*Работа выполняется в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых ученых МК-2516.2012.8.*

УДК 631.372:629.114.2.02

**С. В. Щитов, В. И. Худовец**

ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет», Благовещенск  
E-mail: magistr\_dalgau@mail.ru

### ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МОСТА НА ТЯГОВО-СЦЕПНЫЕ СВОЙСТВА КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА КЛАССА 1,4

**Ключевые слова:** колесные энергетические средства; тягово-сцепные свойства; трактор; силовой поток; дополнительный ведущий мост.

*В данной статье рассмотрены перспективы направлений повышения эффективности использования колесных энергетических средств за счет увеличения сцепного веса путем корректирования вертикальных нагрузок на ведущие колеса и использование дополнительного ведущего моста.*