

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ С КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ТРАНСПОРТИРУЮЩИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности», заслуженный изобретатель РФ

Павлушин Андрей Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

Карпенко Галина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина»

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1; тел.: 89050359200;

e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

Ключевые слова: критическая температура нагрева зерна, энергоэффективность, контактный нагрев

Современные тенденции развития сельскохозяйственных организаций в Российской Федерации обозначили перспективы для создания малогабаритной техники. Так, использование мини-зерносушилок в существующих фермерских хозяйствах позволяет повысить эффективность послеуборочной обработки зерна. Авторами предложена запатентованная конструкция контактной зерносушилки. На основе экспериментальных исследований выявлено, что перспективным направлением повышения качества сушки в контактных зерносушилках является использование соответствующего рабочего органа. Именно от его вида зависит выполнение требований, предъявляемых к процессу сушки при контактном теплоотводе. Созданная и апробированная установка для сушки зерна включает кожух прямоугольного сечения, поверхность которого покрыта слоем теплоизолирующего материала, загрузочный бункер, выгрузное окно и установленный внутри кожуха транспортирующий рабочий орган. Под транспортирующим рабочим органом расположены нагревательные элементы. Транспортирующий рабочий орган выполнен в виде короба и установлен с возможностью сообщения ему колебаний. Верхняя поверхность короба выполнена ступенчатой из теплопроводного материала. Колебательные движения транспортирующему рабочему органу сообщает привод. В результате теоретических исследований сформулированы основные уравнения, раскрывающие характер теплового режима при контактной сушке зерна тритикале. В результате анализа полученных математических моделей процесса сушки зерна выявлены оптимальные значения основных независимых факторов, при которых удельные затраты теплоты на испарение влаги из зерна тритикале $q_{\text{уд}^{\text{опт}}}$ составляют 4,68 кДж/кг_{влаги}; средняя температура греющей поверхности $t_{\text{гр.ср.опт}} = 132$ °С, время сушки зерна $\tau_{\text{опт}} = 8$ с, скорость движения зерна $v_z = 0,22$ м/с. Пропускная способность устройства при этом составляет 132 кг/ч. При использовании разработанного устройства для сушки зерна на 1 тонну высушенного зерна экономический эффект составил 798,9 руб., годовой экономический эффект – 79896,6 руб.

Введение

Своевременная и технологически правильно организованная сушка зерна является основой для обеспечения его качественной сохранности [1]. Удаление избыточной влаги при доведении влажности обрабатываемого материала до кондиционных значений позволяет обеспечить лучшие условия для хранения зерна. Кроме того, сушка зерна позволяет улучшить качественные показатели обрабатываемого продукта (семенного и продовольственного). При выборе режима сушки необходимо руководствоваться такими параметрами процесса, которые помимо снижения влажности зерна позволят ускорить его послеуборочное дозревание, улучшить цвет, внешний вид и другие органолептические и технологические свойства продукта. В конечном итоге технически грамотно организованная сушка проявляет позитивное

воздействие на дальнейшую технологическую обработку высушенного зерна.

Проблемам влияния режимных параметров теплового обезвоживания зерна на качество конечного продукта посвящены многочисленные научные изыскания исследователей всего мира.

Однако научные изыскания, направленные на сохранение качества обрабатываемого продукта при сушке и обоснование оптимальных режимных параметров процесса тепловой обработки зерна, до сих пор остаются актуальными [2].

Предлагаемые для сельхозтоваропроизводителей различными отечественными и зарубежными компаниями зерносушилки, как правило, рассчитаны на высокую производительность, которая зачастую превышает 100 т/ч. Использование таких зерносушилок при тепло-



Рис. 1 – Классификация зерносушилок контактного типа

вой обработке небольших объемов зерна в отечественных фермерских хозяйствах экономически не оправдано. В сложившейся ситуации более перспективны мини-установки, имеющие относительно небольшую потребляемую мощность, экономичные, не сложные в эксплуатации, которые могут выполнять несколько технологических операций, а главное – не требующих значительных капиталовложений.

Цель проводимых исследований – обоснование влияния режимов процесса сушки зерна на качество обрабатываемого продукта. При этом нами предлагается использовать контактный нагрев зерна взамен наиболее распространенного конвективного. Однако конвективный способ сушки связан с большими потерями теплоты, которые обычно увеличиваются при увеличении пропускной способности установок [3]. В мини-зерносушилках, напротив, возможно обеспечить требуемую степень энергоэффективности и лучшие качественные показатели процесса.

Объекты и методы исследований

Для того, чтобы достичь поставленной цели, необходимо реализовать процесс контактной сушки зерна, при котором будут выполняться следующие условия:

1. Обрабатываемое зерно находится в постоянном непосредственном контакте с греющей поверхностью.

2. Температура греющей поверхности постоянна и изменяется только в зависимости от устанавливаемого оператором зерносушилки

режима теплового воздействия

3. Зерно, подвергаемое сушке, постоянно движется по греющей поверхности. При этом важно обеспечить наиболее полное взаимодействие греющей поверхности и поверхности каждой отдельно взятой зерновки, обрабатываемого зернового слоя (оборачиваемость).

4. Толщина обрабатываемого зернового слоя сопоставима с габаритами отдельных зерновок.

Для выявления перспективных путей создания эффективных конструкций контактных зерносушилок

на основе имеющегося значительного положительного опыта в создании, исследовании и внедрении подобных средств механизации, нами предлагается классификация, структурированная по основным признакам (рис. 1).

Основой конструкций контактных зерносушилок являются транспортирующие рабочие органы (ТРО), благодаря которым возможно выполнение основных условий для качественной реализации процесса сушки.

Многочисленные исследования, проведенные в ФГБОУ ВО Ульяновском ГАУ, подтверждают высокую эффективность таких ТРО, как винтовой и скребковый [4]. При этом установлено, что винтовой транспортёр более эффективен при сушке зерна семенного назначения, а для сушки зерна с целью его дальнейшего использования в кормовых целях сельскохозяйственным животным, или для дальнейшей переработки в зерновые продукты, целесообразно эксплуатировать контактные зерносушилки со скребковым ТРО [5].

При этом дальнейшие исследования следует проводить в направлении обоснования эффективности применения иных ТРО, что позволит вывести контактную сушку на более высокую качественную ступень. Одним из перспективных видов ТРО, которые обеспечивают реализацию приведённых выше требований к процессу контактной сушки зерна, является вибрационный, или колеблющийся короб (грохот) (рис. 2).

Продолжительность нахождения зерна в устройстве с подобным ТРО регулируют по-

средством изменения частоты и амплитуды колебаний транспортёра. Выполнение же верхней поверхности колебательного ТРО ступенчатой дает возможность равномерно распределять зерно по рабочей зоне, которая одновременно является и греющей поверхностью. В этом случае подвергаемый тепловой обработке слой зерна, перемещаемый ТРО к выгрузному окну, постоянно перемешивается. Это обеспечивает более равномерный прогрев зерна за счет контактирующего со ступенями короба, что в итоге улучшает качество сушки [7, 8]. Предметом проводимых исследований в этом случае стали закономерности технологического процесса контактной сушки зерна, позволяющие оптимизировать основные режимные параметры средства механизации исследуемого процесса.

Методология проводимых исследований заключалась в использовании классических (дифференциальных и интегральных) преобразований и исчислений теоретически и практически обоснованных моделей, характеризующих влияние основных действующих факторов на оптимизационный критерий.

Контактный подвод теплоты к зерну при его сушке необходимо рассматривать как интегрированный процесс, имеющий теплофизическую и технологическую природу. Определяющую роль в интерпретации сущности контактной теплопередачи играет форма связи влаги с высушиваемым зерном. При контактной сушке теоретическую основу составляют условия теплопередачи энергии от поверхности нагрева (ТРО) к зерну, подвергаемому тепловой сушке, раскрытие особенностей тепло-, массообменных процессов в высушиваемом зерне, а также параметры удаления испарившейся влаги из зерна.

Под влиянием тепловой энергии в обрабатываемом зерне происходят изменения его изначальных характеристик на структурно-механическом, биохимическом, технологическом уровнях.

Эти трансформации являются следствием модификации форм связи влаги с зерном, подвергаемому сушке и удалению испарившейся влаги.

Физическую природу механизма контактного влияния теплоты на высушиваемое зерно при создании одинаковых условий внешнего воздействия для каждого зерна можно

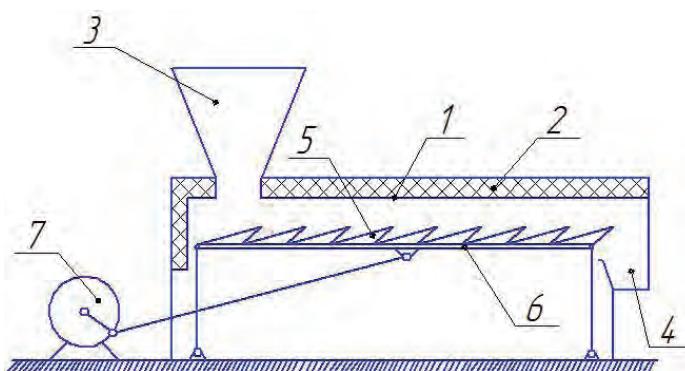


Рис. 2 – Схема контактной зерносушилки с вибрационным (колеблющимся) ТРО [6]:

1 - кожух зерносушилки; 2 – теплоизоляционный материал; 3 - загрузочный бункер; 4 – выгрузное окно; 5 – колеблющийся ТРО; 6 – нагревательные элементы; 7 – привод

представить следующей зависимостью [9]:

$$\frac{t_{m2} - t_{32}}{t_{m1} - t_{31}} = \exp\left(-\frac{a_T f_G}{c\rho}\tau\right) + \frac{k_c r (\omega_n - \omega_k)}{\left(\frac{a_T f_G}{c\rho} - k_c\right)(t_{m1} - t_{31})} \exp\left(-\frac{a_T f_G}{c\rho} - k_c\right)\tau,$$

где t_{m1} , t_{32} и t_{31} – температуры: греющей поверхности высушиваемого зерна после прохождения сушильной камеры и высушиваемого зерна до воздействия на него тепловой энергии соответственно, °С; a_T – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·°С); f_G – удельная поверхность высушиваемого зерна, м²/кг; c – удельная теплоёмкость высушиваемого зерна, Дж/(кг·°С); ρ – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг; τ – период нахождения зерна на транспортирующем рабочем органе колебательного типа с одновременным воздействием на зерно теплового потока, с; k_c – коэффициент сушки; r – теплота парообразования, Дж/кг; ω_n , ω_k – исходная (до воздействия тепловой энергии) и конечная (после выхода зерна из контактной зерносушилки) влажности зерна соответственно, %.

Затраты теплоты можно определить из приведенных ниже зависимостей [10].

Выявим количество тепловой энергии, затрачиваемое на нагрев элементарной поверхности высушиваемого зерна dS , м², за период нахождения зерна в тепловой установке $d\tau$, с;

$$\Delta q = -\lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right) dS d\tau, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности,

$\frac{\partial t}{\partial n}$ – градиент температуры, °С/м.

С целью интерпретации количественной характеристики подводимой тепловой энергии Δq , которая затрачивается на нагрев зерна за период времени $\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$, проинтегрируем выражение (1) по поверхности S и интервалу времени $\Delta \tau$:

$$\Delta q = - \int_{\tau_1}^{\tau_2} \int_S \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) dS d\tau \quad (2)$$

Следует отметить, что обычно при контактом подводе теплоты температура и ее градиент идентичны вдоль греющей поверхности. Исходя из этого, зависимость (2) можно записать в виде:

$$\Delta q = - \lambda S \int_{\tau_1}^{\tau_2} \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) dS d\tau \quad (3)$$

Повышение температуры элементарного объема обрабатываемого зерна $dV = dx dy dz$ за период $\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$ в диапазоне от t_1 до t_2 приводит к затратам теплоты

$$\Delta q = c \rho (t_2 - t_1) dV \quad (4)$$

Общие энергозатраты Δq на тепловое воздействие в рассматриваемый период тепловой сушки определим, используя интегральное исчисление:

$$\Delta q = c \rho \iiint_V (t_2 - t_1) dV = c \gamma V \frac{1}{V_0} (t_2 - t_1) dV \quad (5)$$

Возьмём за основу среднюю (интегральную) температуру по рассматриваемому объёму высушиваемого материала t_{cp} , определяемую из выражения:

$$t_{cp} = \frac{1}{V} \iiint_V (t_{cp} - t_1) dV$$

Тогда

$$\Delta q = c \gamma V (t_{2cp} - t_{1cp}) \quad (6)$$

Тепловые энергозатраты на весь период теплового воздействия

$$\Delta q = c \gamma V (t_{cp} - t_{cp0}) \quad (7)$$

где t_{cp0} – средняя (интегральная) начальная температура зерна, °С.

Пусть исходная температура высушиваемого

зерна постоянна и равномерно распределена по всему объёму, т. е. $t_{cp0} = t_0 = \text{const}$, тогда в удельных единицах расход тепловой энергии примет вид:

$$\Delta q_V = c \gamma V (t_{cp} - t_{cp0}) \quad (8)$$

Таким образом, основным необходимым условием является выявление t_{cp0} . В указанных выше условиях к зерновому слою за период теплового воздействия осуществляется подвод теплоты, характеризующийся зависимостью [11]

$$a_T (t_2 - t_1) dS \quad (9)$$

где a_T – коэффициент теплообмена (теплоотдачи), Вт/(м²·°С).

С целью выявления общей тепловой энергии Δq , затрачиваемой на нагрев всего обрабатываемого зерна, проведём интегральное преобразование формулы (9) по всей поверхности и периоду сушки $\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1$.

Постоянство температуры контактирующей поверхности зерна не оказывает влияния на коэффициент a_T , тогда [12]

$$\Delta q = a_T S \int_{\tau_1}^{\tau_2} [t_m - t_s(\tau)] d\tau \quad (10)$$

Учитывая вышеизложенное,

$$t_{cp} = \frac{1}{V} \int_0^V t(x, \tau) dV = \frac{1}{b \cdot l \cdot a} \int_0^b \int_0^l \int_0^a t(b, \tau) dx dy dz = \frac{1}{b} \int_0^b t(b, \tau) db \quad (11)$$

где b, l, a – толщина, длина и ширина греющей пластины соответственно, м.

Следовательно, при известной t_{cp} можно найти расход теплоты на нагревание зерна Δq . В случаях, когда определение t_{cp} затруднено, для вычисления расхода теплоты можно использовать формулу (10).

Также при разработке контактной зерносушилки важно тепловые процессы моделировать во взаимосвязи с обоснованием конструктивно-режимных параметров ТРО установки. От правильно подобранных конструктивных параметров ТРО и режимных параметров теплового процесса будет зависеть качество обрабатываемого продукта.

Результаты исследований

Экспериментальная зерносушилка контактного типа с колебательным ТРО (рис.3) содержит прямоугольный кожух, снаружи покрытый теплоизоляционным материалом. Внутри кожуха установлен ТРО, который имеет форму короба и возможность выполнения колебатель-

ных движений. Верхняя поверхность ТРО – ступенчатая и выполнена из теплопроводного материала.

Основной задачей планирования и проведения эксперимента стало получение математической модели объекта исследования в виде уравнения регрессии.

Созданный опытный образец установки дает возможность проводить исследования контактной сушки влажного зерна при различных значениях основных режимных параметров, изменяемых в широких пределах. К таким параметрам отнесем среднюю температуру греющей поверхности (50...155 °С) и время нахождения зерна в установке (4...40 с).

При выборе критерия оптимизации необходимо учитывать, что данный параметр должен всесторонне оценивать объект исследования, связывать все действующие факторы в единую математическую модель [13]. В качестве такого показателя при сушке зерна примем критерий, характеризующий суммарное количество энергии, которое затрачивается при работе контактной зерносушилки с ТРО колебательного типа, чтобы удалить из зерна путём испарения 1 кг влаги $q_{удр}$, кДж/кг_{влаги}.

При анализе процесса сушки зерна в рассматриваемой установке было выявлено, что на данный процесс оказывает влияние множество различных факторов. Если рассматривать эти факторы, суммируя их влияние в произвольных сочетаниях, то в итоге можно получить неясные закономерности и ошибочные выводы [14].

Чтобы не допустить указанных выше недостатков, все факторы, оказывающие влияние на процесс тепловой сушки зерна в контактной зерносушилке с ТРО колебательного типа, были рассортированы на основные (максимально интерпретируют процесс сушки и проявляют существенное действие на изучаемый процесс) и дополнительные (имеющие второстепенное значение).

К контролируемым и управляемым факторам тепловой обработки в рассматриваемой установке можно отнести: x_1 - среднюю температуру греющей поверхности; x_2 - время нахождения зерна в установке; x_3 - число ступеней ТРО; x_4 - угол наклона ступеней; x_5 - подачу зерна в установку; x_6 - форму загрузочного бункера; x_7 - размеры загрузочного бункера; x_8 - мощность

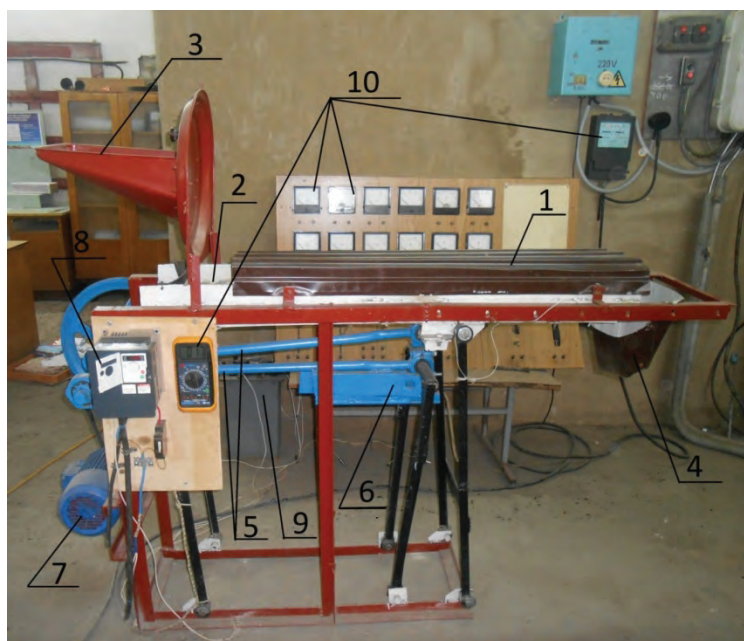


Рис. 3 – Экспериментальная контактная зерносушилка с колебательным ТРО:

1 - кожух; 2 - ТРО; 3 – бункер для загрузки влажного зерна; 4 - выгрузное окно; 5, 6, 7 – элементы привода ТРО; 8, 9, 10 - контрольно-измерительная и управляющая аппаратура

нагревательных элементов; x_9 - мощность электродвигателя ТРО.

На основе метода формализации априорной информации [15], а также с учетом основных требований к факторам были определены те, которые больше всего влияют на процесс. Таким образом, из всех выше перечисленных факторов были выделены: x_1 ($t_{гр.ср.}$) - средняя температура греющей поверхности; x_2 (t) - время пребывания зерна в установке.

Проанализировав результаты поисковых опытов, изучив результаты ранее выполненных исследований по тепловой обработке зернового материала, а также с учетом конструктивных особенностей самой установки были выявлены диапазоны варьирования факторов.

Интервалы изменения основных независимых факторов, характеризующих тепловую сушку зерна в зерносушилке с ТРО колебательного типа выявляли посредством применения данных, полученных по итогам поисковых экспериментов. При этом согласовывали режимные показатели с особенностями конструкции экспериментальной зерносушилки. Диапазон изменения средней температуры нагрева поверхности ТРО составлял 50...155 °С, а время пребывания зерна в установке – от 4 с до 15 с.

Лабораторные исследования сушки зер-

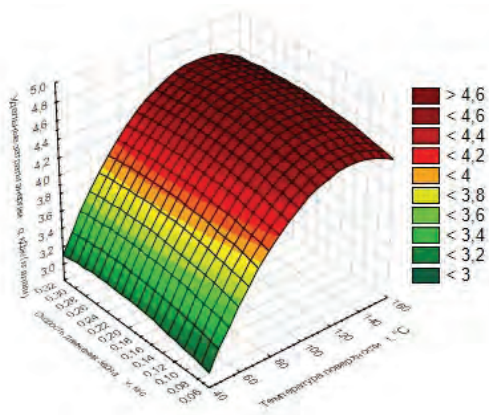


Рис. 4 – Графическая интерпретация влияния режимов работы контактной зерносушилки на суммарные удельные энергозатраты

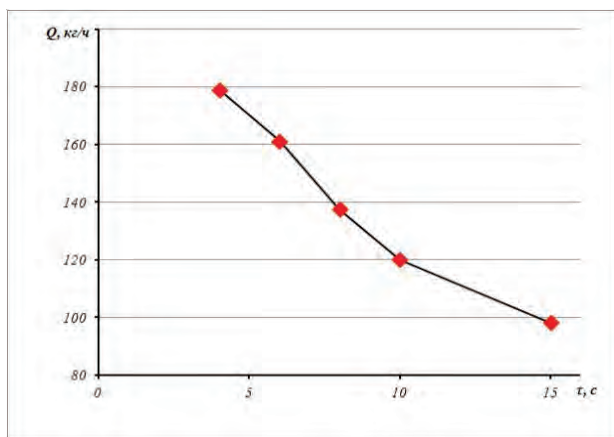


Рис. 5 - Зависимость пропускной способности установки Q от времени нахождения в ней зерна t

на в разработанной установке выполняли в следующем порядке. Предварительно подготавливали зерно тритикале массой 1,5 кг, достаточной для проведения опыта. Массу зерна определяли на электронных весах ПВ-6 с погрешностью измерения массы до 3 кг – 1 г, от 3 кг до 6 кг – 2 г.

Определяли влажность зерна, затем включали установку и настраивали ее параметры в соответствии с требуемым режимом работы. Затем определяли среднюю температуру греющей поверхности и время нахождения зерна в установке. Исследование установки проводили при сушке зерна тритикале.

Ниже приведено графоаналитическое обоснование влияния основных действующих факторов на принятый нами критерий оптимизации (рис.4).

Уравнение, соответствующее поверхности, изображенной на рисунке 4, имеет вид:

$$q = 1,1777 + 0,0489t_n - 2,5945v_3 - 0,0002t_n^2 + 0,0002t_n v_3 + 5,4874v_3^2 \quad (12)$$

где q – суммарные удельные затраты

энергии, затрачиваемые на испарение влаги из зерна, кДж/кг; v_3 – скоростная характеристика обрабатываемого зерна, м/с; t_n – средняя температура поверхности ТРО, °C.

Для оценки степени влияния параметров, характеризующих режим работы контактной зерносушилки на суммарные энергозатраты представим уравнение (12) в кодированных значениях факторов:

$$Y = 4,502 + 0,564x - 0,0575y - 0,492x^2 + 0,0001xy + 0,0628y^2 \quad (13)$$

где Y – удельные затраты энергии на испарение влаги, кДж/(кг влаги); x – средняя температура поверхности ТРО; y – скоростная характеристика обрабатываемого зерна.

Регрессионная зависимость (13) наглядно демонстрирует, что существенное воздействие на сушку зерна в контактной зерносушилке с колебательным ТРО из линейных членов уравнения проявляет температурный показатель x , а минимальное – скоростная характеристика y . Причем с увеличением температурного показателя x происходит увеличение удельных энергозатрат.

После получения математических моделей процесса сушки был выполнен их анализ методом двухмерных сечений. При этом использовали уравнение (13), в котором факторы представлены в закодированном виде. Двухмерные сечения дают возможность наглядно представить влияние на критерий оптимизации варьирования уровней независимых факторов.

В результате проведенного канонического анализа определены оптимальные значения независимых факторов процесса сушки, оказывающих максимальное влияние на критерий оптимизации: $t = 8$ с и $t_n = 132$ °C при средней скорости зерна в установке $v_3 = 0,22$ м/с. При этих значениях независимых факторов достигается значение суммарных удельных затрат энергии на процесс сушки зерна $Y_s = 4,67$ кДж/кг_{влаги}, что соответствует минимальному значению данного показателя.

Пропускная способность разработанной установки на выявленных выше режимах работы, при оптимальном времени нахождения в ней зерна составляет 132 кг/ч (рис. 5).

Отклонение значений основных параметров процесса контактной сушки зерна, полученных по итогам экспериментальных и теоретических обоснований, не превышает 4,29 %, что является свидетельством хорошей сходимости полученных результатов.

Выводы

При обеспечении контактного способа подвода теплоты важно постоянно перемещать и перемешивать обрабатываемое зерно в слое минимальной толщины. Данные действия предотвращают появление локального перегрева высушиваемого зерна. Высокая энергоэффективность применения контактного способа подвода тепловой энергии при сушке зерна в единичном слое является следствием значительного преобладания коэффициента теплопередачи аналогичного показателя при подводе теплоты конвективным способом.

По итогам проведённых исследований и обоснований полученных моделей, характеризующих параметры процесса контактной сушки зерна тритикале в зерносушилке с ТРО колебательного типа, нами были определены значения действующих факторов. Так, температурная характеристика исследуемого процесса составляет 132 °С, скоростная характеристика - 0,22 м/с. При данных режимных показателях достигается оптимум исследуемого энергетического показателя процесса теплового воздействия - 4,68 кДж/кг_{влаги}. Пропускная способность на указанных режимах составляет 0,04 кг/с, что вполне удовлетворяет требованиям при сушке семян.

Библиографический список

1. Трисвятский, Л.А. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки / Л.А. Трисвятский, Б.Е. Мельник. - М.: Колос, 1983. – 351 с.
2. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы. – М.: МСХ РФ, 2012. – 204 с.
3. Vargas, W.L. Heat conduction in granular materials / W.L.Vargas, J.J. McCarthy // AIChE Journal. – 2001. – № 47. - Pp. 1052-1059.
4. Курдюмов, В.И. Теоретическое обоснование динамики сушки зерна при контактном способе теплоподвода / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. – № 3 (31). - С.125-130.
5. Влияние параметров зерносушильной установки на качество сушки / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 2012. – № 6. - С.74-76.
6. Пат. 171703 Российская Федерация, МПК F26В 15/04. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сутягин, В.И. Долгов, П.С. Агеев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. – Заявка № 2016131812 от 02.08.2016; опублик. 13.06.17, Бюл. № 17.
7. Пат. 96639 Российская Федерация, МПК F26В 3/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, И.А. Постников; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. – Заявка № 2010106454/22 от 24.02.2010; опублик. 10.08.10, Бюл. № 22.
8. Пат. 2453123 Российская Федерация, МПК А23В 9/08. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. – Заявка № 2010145902/13 от 10.11.2010; опублик. 20.06.12, Бюл. № 17.
9. Беляев, Н.М. Основы теплопередачи / Н.М. Беляев. – Киев: Высш. школа, 1989. – 342 с.
10. Wang, L.J. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology / L.J. Wang, D.W. Sun // Trends in Food Science Technology. – 2001. – № 12. - Pp. 174-184.
11. Yadollahinia, A.R. Design and fabrication of experimental dryer for studying agricultural products / A.R. Yadollahinia, M. Omid, S. Rafie // Int. J. Agri. Biol. - 2008. - № 10. - Pp. 61-65.
12. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. - М.-Л.: Гостэнергоиздат, 1963. – 536 с.
13. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. - М.: Высш. школа, 1967. – 599 с.
14. Баум, А.Е. Сушка зерна / А.Е. Баум, В.А. Резчиков. - М.: Колос, 1983. – 223 с.
15. Савченко, Светлана Вениаминовна. Развитие научных основ и практических методов повышения эффективности технологии зерносушения: дис. ... д-ра технических наук: 05.18.01 / С.В. Савченко. - Москва, 2009. – 387 с.

RESEARCH OF CONTACT GRAIN DRYER WITH VIBRATING TRANSPORTING WORKING BODY

Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Karpenko G.V.
FSBEI HE Ulyanovsk SAU

432017, Ulyanovsk, Novyi venets Boulevard, 1; Tel: 89050359200; e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

Keywords: critical temperature of grain heating, energy efficiency, contact heating

Modern trends in development of agricultural organizations in the Russian Federation have identified prospects for design of small-sized equipment. Thus, the use of mini-dryers in existing farms can improve the efficiency of post-harvest grain handling. The authors proposed a patented design of a contact grain dryer. On the basis of experimental studies, it was revealed that a prospective direction for improving the quality of drying in contact grain dryers is the use of an appropriate working body. Its type enables to meet the requirements for the drying process in contact heat supply. Devised and tested device for drying grain includes a casing of rectangular cross section, the surface of which is covered with a layer of insulating material, a loading hopper, a discharge window and a transporting body installed inside the casing. There are heating elements under the transporting working body. Transporting working body is made in the form of a box and is installed with the possibility of transmitting vibrations to this body. The upper surface of the box is stepped, made of heat-conducting material. Oscillatory vibration to the transporting working body is transmitted by a drive. As a result of theoretical studies, the basic equations have been formulated that reveal the nature of the thermal regime during contact drying of triticale grains. As a result of the analysis of the obtained mathematical models of grain drying process, the appropriate values of the main independent factors have been revealed, specific heat consumption for evaporation of moisture from triticale grains is $q_{\text{уд. опт}} = 4.68 \text{ kJ} / \text{k}_{\text{moist}}$; average temperature of the heating surface $t_{\text{гр. ср. опт}} = 132 \text{ }^\circ\text{C}$, grain drying time $\tau_{\text{opt}} = 8 \text{ s}$, grain speed $v_s = 0.22 \text{ m} / \text{s}$. The capacity of the device is $132 \text{ kg} / \text{h}$. When using the devised device for drying grain per 1 ton of dried grain, the economic effect was 798.9 rubles, the annual economic effect was 79896.6 rubles.

Bibliography

1. Trisvyatsky, L.A. Technology of receiving, processing, storing of grain and products of its processing / L.A. Trisvyatsky, B.E. Melnik. - M.: Kolos, 1983. - 351 p.
2. State program for development of agriculture and regulation of agricultural products, raw materials and food for 2013-2020. - M.: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2012. - 204 p.
3. Vargas, W.L. Heat conduction in granular materials / W.L. Vargas, J.J. McCarthy // AIChE Journal. - 2001. - № 47. - Pp. 1052-1059.
4. Kurdyumov, V.I. Theoretical substantiation of the dynamics of grain drying using contact method of heat supply / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, G.V. Karpenko // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2015. - № 3 (31). - P.125-130.
5. Influence of parameters of a grain drying installation on the quality of drying / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, G.V. Karpenko, S.A. Sutyagin // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2012. - № 6. - P.74-76.
6. Pat. 171703 Russian Federation, IPC F26B 15/04. A device for drying grain / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, G.V. Karpenko, S.A. Sutyagin, V.I. Dolgov, P.S. Ageev; Applicant and patent holder Ulyanovsk State Agricultural Academy, Federal State Educational Institution of Higher Education. - Application No. 2016131812 dated 02.08.2016; publ. 13.06.17, Bul. No. 17.
7. Pat. 96639 Russian Federation, IPC F26B 3/00. A device for drying grain / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, I.A. Postnikov; Applicant and patent holder Ulyanovsk State Agricultural Academy, Federal State Educational Institution of Higher Education. - Application No. 2010106454/22 dated 24.02.2010; publ. 10.08.10, Bul. No. 22.
8. Pat. 2453123 Russian Federation, IPC A23B 9/08. A device for drying grain / V.I. Kurdyumov, A.A. Pavlushin, S.A. Sutyagin; Applicant and patent holder Ulyanovsk State Agricultural Academy, Federal State Educational Institution of Higher Education. - Application No. 2010145902/13 dated 10.11.2010; publ. 20.06.12, Bul. No. 17.
9. Belyaev, N.M. Basics of heat transfer / N.M. Belyaev. - Kiev: Higher school, 1989. - 342 p.
10. Wang, L.J. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology / L.J. Wang, D.W. Sun // Trends in Food Science Technology. - 2001. - № 12. - P. 174-184.
11. Yadollahinia, A.R. Design and fabrication of experimental dryer for studying agricultural products / A.R. Yadollahinia, M. Omid, S. Rafie // Int. J. Agri. Biol. - 2008. - № 10. - Pp. 61-65.
12. Lykov, A.V. Theory of heat and mass transfer / A.V. Lykov, Yu. A. Mikhailov. - M.-L.: Gosenergoizdat, 1963. - 536 p.
13. Lykov, A.V. Theory of heat conduction / A.V. Lykov. - M.: Higher School, 1967. - 599 p.
14. Baum, A.E. Drying grain / A.E. Baum, V.A. Rezchikov. - M.: Kolos, 1983. - 223 p.
15. Savchenko, Svetlana Veniaminovna. The development of scientific principles and practical methods to improve the efficiency of the technology of grain drying: dissertation of doctor of technical sciences: 05.18.01 / S.V. Savchevko. - Moscow, 2009. - 387 p.