

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗЕРНОСУШИЛКИ КОНТАКТНОГО ТИПА

Андрей Александрович Павлушин
Сергей Алексеевич Сутягин
Владимир Иванович Курдюмов
Петр Сергеевич Агеев

Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина

Представлены результаты исследования, проведённого с целью снижения энергозатрат на сушку зерна посредством обоснования оптимальных параметров инновационной зерносушилки, использующей контактный способ подвода теплоты к исходному продукту, а также определения оптимальных режимных параметров предлагаемой зерносушилки с колебательным транспортирующим рабочим органом. Выполнены исследования процесса сушки зерна с применением контактного способа подвода теплоты с целью определения таких оптимальных режимных параметров, как время нахождения зерна в установке, температура греющей поверхности, скорость движения зерна по нагретой поверхности транспортирующего рабочего органа, скорость движения воздуха. Выявлено отсутствие значимого влияния скорости движения воздуха в установке, не превышающей 3,5 м/с, на процесс испарения влаги из исследуемого зернового материала. Получены уравнения регрессии в натуральных и закодированных значениях, характеризующие влияние на удельные затраты энергии на испарение влаги из зерна температуры греющей поверхности транспортирующего рабочего органа (ТРО) и скорости движения зерна по нагретой поверхности. Выполнен анализ математических моделей процесса испарения влаги из зерна в установке с колебательным транспортирующим рабочим органом с контактным подводом теплоты к греющей поверхности с помощью двухмерных сечений, полученных в результате экспериментальных исследований поверхностей отклика. Выявлен оптимальный режим работы зерносушилки контактного типа: пропускная способность установки – 221 кг/ч при скорости движения зерна $v_s = 0,29$ м/с, время нахождения зерна в установке $t = 10$ с, температура первой секции ТРО – 150°C, температура второй секции ТРО – 108°C. В этом случае удельные затраты энергии на процесс сушки составляют 3,57 МДж/(кг влаги), что примерно на 15% ниже, чем у передвижной фермерской сушилки семян ПУФС-0,4 конструкции ВИМ, и на 34,5% меньше, чем у широко распространённой сушилки промышленного изготовления СЗПБ-2,5.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сушка, подвод теплоты, транспортирующий рабочий орган, математическая модель, удельные затраты энергии, режимы работы.

OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF CONTACT-TYPE GRAIN DRYER

Andrey A. Pavlushin
Sergey A. Sutyagin
Vladimir I. Kurdyumov
Petr S. Ageev

Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

The authors present the results of research conducted in order to reduce the energy consumption for grain drying by substantiating the optimal parameters of an innovative grain dryer that uses a contact method of supplying heat to the input product, as well as by determining the optimal operation parameters of the proposed grain dryer with an oscillating transporting working body. The process of grain drying was studied using the contact method of heat supply in order to determine such optimal operation parameters as the time spent by the grain in the machine, the temperature of heating surface, the speed of grain movement over the heated surface of the transporting working body, and the speed of air movement. It was found that there was no significant effect of the speed of air movement in the machine not exceeding 3.5 m/s on the process of moisture evaporation from the studied grain material. Regression equations are obtained in natural and encoded values that characterize the effect of temperature of heating surface of the transporting working body (TWB) and the speed of grain movement over the heated surface on specific energy consumption for moisture evaporation from the grain. The authors have analyzed the mathematical models of the process of moisture evaporation from the grain in the machine with an oscillating transporting working body with contact-type heat supply to the heating surface using two-dimensional sections obtained as a result of experimental studies of response surfaces. The optimal

operation mode of a contact-type grain dryer was revealed, i.e. the throughput capacity of the machine should be 221 kg/h at the speed of grain movement of $v_g = 0.29$ m/s, grain residence time in the machine is $\tau = 10$ s, the temperature of the first TWB section is 150°C, and the temperature of the second TWB section is 108°C. In this case the specific energy consumption for the drying process is 3.57 MJ/(kg of moisture), which is about 15% lower than that of PUF5-0,4 mobile farm seed dryer designed by VIM and 34.5% lower than that of the widespread SZPB-2,5 industrial dryer.

KEYWORDS: drying, heat supply, transporting working body, mathematical model, specific energy consumption, operation modes.

Введение

Как известно, влажность зерна во время уборки и при поступлении его на хлебоприёмные предприятия колеблется в больших пределах. В различных климатических зонах нашей страны влажность партий зерна бывает различной. Содержание воды в свежубранном зерне зависит от степени зрелости, погоды во время уборки и гигроскопических свойств зерна (способности поглощать воду из окружающей среды или самопроизвольно отдавать её в окружающую среду). Так, на ранних фазах созревания влажность зерна пшеницы составляет 70–75%, в фазе восковой спелости – 25–40%, полной спелости – 15–20%. В дождливую погоду зерно значительно увлажняется, но такая влага быстро испаряется при улучшении погоды. При транспортировании и хранении зерновой массы влажность её может меняться, так как происходит влагообмен между зерновой массой и соприкасающимся с ней воздухом [1, 2, 14, 15].

От содержания влаги в зерне зависит возможность его хранения. Повышенное содержание влаги в зерне усиливает процессы его дыхания, способствует развитию микроорганизмов с выделением большого количества тепла. Вследствие низкой теплопроводности выделяющееся тепло накапливается в толще зерна – происходит самосогревание зерновой массы, температура её может повыситься до 55–65°C, а иногда и до 70–75°C, при этом зерно может превратиться в чёрный монолит с потерей всех потребительских свойств. Иногда возможно прорастание зерна при хранении. Эти процессы крайне нежелательны, так как приводят к большим потерям зерна и ухудшению его качества.

Лучшим способом предупреждения процесса самосогревания является сушка. Основной задачей сушки является понижение влажности зерна до кондиционного значения, которое колеблется в пределах 9–15% в зависимости от убираемой культуры [2, 13]. Базисная влажность основных зерновых культур для его длительного хранения варьирует от 13,5 до 15%.

Обеспечить кондиционную влажность зерна позволяют различные устройства для сушки зерна, в которых используют такие способы сушки, как конвективный, лучистый, сорбционный и др. [4, 5, 10, 11]. Однако применение вышеуказанных способов не всегда обеспечивает требуемое качество сушки. Кроме того, при их использовании затрачивается большое количество энергии и времени. Большая часть существующих устройств направлена на удовлетворение потребностей крупных сельскохозяйственных товаропроизводителей, а малым и средним фермерским хозяйствам использовать предлагаемое оборудование экономически нецелесообразно [3].

Представлены результаты исследования, проведённого с целью снижения энергозатрат на сушку зерна посредством обоснования оптимальных параметров инновационной зерносушилки, использующей контактный способ подвода теплоты к исходному продукту, а также определения оптимальных режимных параметров предлагаемой зерносушилки.

Материалы и методы

Для того чтобы обеспечить фермерские хозяйства энергоэффективными зерносушилками с небольшой пропускной способностью, было разработано устройство для сушки зерна, в котором в качестве основного применяется контактный способ подвода теплоты, так как предлагаемый способ позволяет обеспечить передачу теплоты обрабатываемому материалу без затрат на преодоление дополнительных термических сопротивлений (рис. 1) [8].

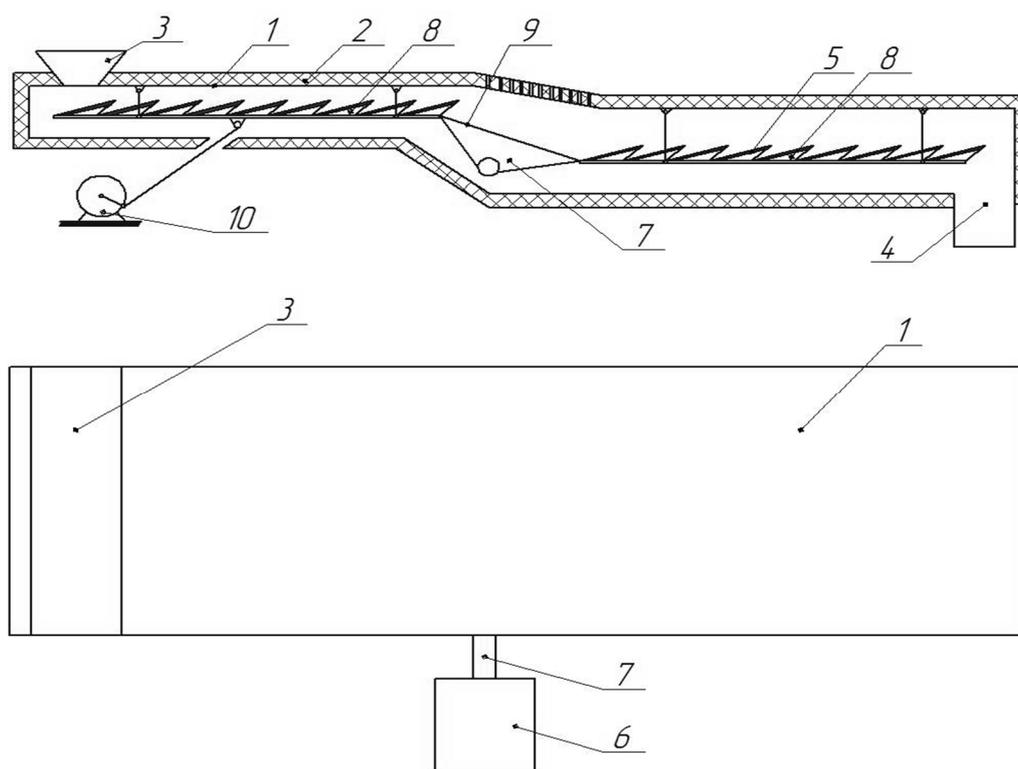


Рис. 1. Устройство для сушки зерна: 1 – кожух; 2 – теплоизолирующий материал; 3 – загрузочный бункер; 4 – выгрузное окно; 5 – нагревательные элементы; 6 – вентилятор; 7 – воздуховод; 8 – транспортирующий рабочий орган (ТРО); 9 – скатная доска; 10 – привод

Для обеспечения энергоэффективности предлагаемого устройства, а также получения после окончания операции сушки качественного зерна необходимо определить оптимальные режимные параметры зерносушилки. К таким параметрам относятся: время нахождения зерна в установке, температура греющей поверхности, скорость движения зерна по транспортирующему рабочему органу (ТРО), скорость движения воздуха.

При определении режимных параметров зерносушилки применяли следующие измерительные приборы:

- для измерения температуры греющей поверхности – мультиметр цифровой Mastech MY62;
- для измерения температуры высушиваемого зерна – инфракрасный термометр MASTECH MS6530;
- для измерения влажности зерна – влагомер Wille-55;
- для определения времени нахождения зерна в установке – электронный секундомер КТJ ТА-228;
- для определения скорости движения воздуха – термоанемометр СЕМ DT-618.

Предлагаемая зерносушилка имеет конструктивную особенность: разделение ТРО на две секции и установка между ними скатной доски, через которую проходит воздух. Каждая секция ТРО имеет возможность регулировки температуры греющей поверхности независимо друг от друга. Исходя из этого исследования проводили при:

- постоянной температуре первой секции ТРО и изменении температуры второй секции ТРО;
- постоянной температуре второй секции ТРО и изменении температуры первой секции ТРО.

При проведении экспериментальных исследований использовали такую зерновую культуру, как тритикале. Выбор данной культуры обусловлен тем, что она обладает

повышенной зимостойкостью, менее требовательна к плодородию почв, а также образует большее количество зёрен в колосе, чем пшеница или рожь. Кроме того, посевных площадей, на которых высевают тритикале, с каждым годом становится больше, что доказывает её неприхотливость и востребованность [7].

Результаты и их обсуждение

В первую очередь были проведены исследования влияния скорости движения воздуха на такие показатели зерна, как конечная влажность и изменение температуры обрабатываемого материала после прохождения по скатной доске. Результаты эксперимента показали, что изменение скорости движения воздуха в установке в пределах от 1 до 3,5 м/с не оказывает значимого влияния на процесс испарения влаги из обрабатываемого материала. Это объясняется тем, что при максимальной пропускной способности установки 5 кг/с и достигаемом максимальном съёме влаги из зерна в ней 3,7% во внутреннее пространство поступает всего 0,0185 кг/с влаги. Для её удаления достаточно скорости воздуха, которую ему сообщает при своем движении ТРО установки. Поэтому необходимость в поступлении дополнительных объёмов воздуха во внутреннее пространство установки отсутствует.

Уравнение регрессии, показывающее влияние основных независимых факторов процесса сушки зерна тритикале на удельные затраты энергии на испарение влаги, в натуральных значениях факторов имеет следующий вид:

$$q = 48,113 - 0,7583t_n + 30,5436v_3 + 0,0034t_n^2 - 0,3817t_nv_3 - 32,0694v_3^2, \quad (1)$$

где q – удельные затраты энергии на испарение влаги, МДж/(кг влаги);

v_3 – скорость движения зерна, м/с;

t_n – средняя температура греющей поверхности, °С.

Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия скорости движения зерна и температуры греющей поверхности представлено на рисунке 2.

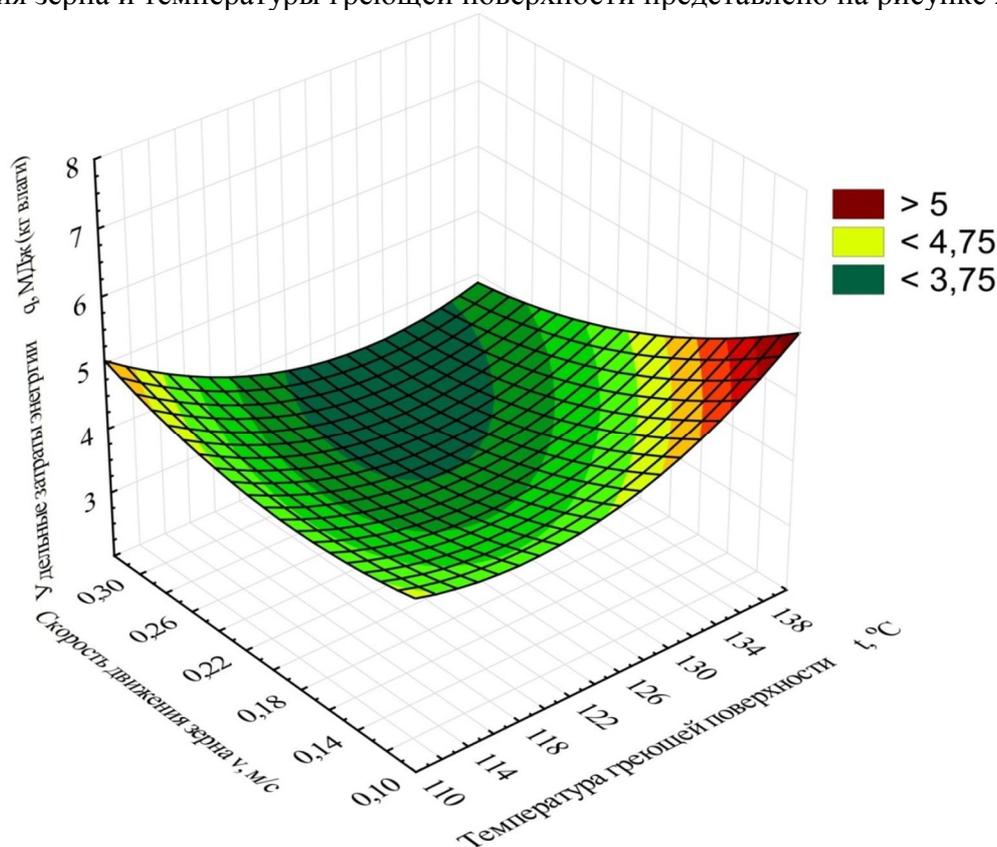


Рис. 2. Поверхность отклика от взаимодействия скорости движения зерна и средней температуры греющей поверхности

Уравнение (1) в кодированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y = 3,7127 + 0,0341x - 0,3342y + 0,5258x^2 - 0,4286xy + 0,2666y^2, \quad (2)$$

где Y – удельные затраты энергии на испарение влаги, МДж/(кг влаги);

x – средняя температура греющей поверхности t , °С;

y – скорость движения зерна в установке v , м/с.

Сравнение коэффициентов второго уравнения показало, что на параметр оптимизации при сушке зерна тритикале в предложенной установке с контактным подводом теплоты из линейных членов наибольшее влияние оказывает средняя температура греющей поверхности x , а наименьшее – скорость движения зерна y .

После формализации процесса сушки и получения наглядного представления о поверхностях отклика был выполнен анализ методом двухмерных сечений с использованием закодированных величин факторов.

Анализ построенных двухмерных сечений поверхности отклика даёт возможность сравнения значений критерия оптимизации, которые соответствуют задаваемым изменениям уровней каждой пары факторов.

Для построения двухмерного сечения поверхности отклика, представленной на рисунке 1, уравнение поверхности в кодированных значениях факторов (2) дифференцировали по каждой переменной. Затем решали полученную систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dx} = 1,05x - 0,43y + 0,03; \\ \frac{dY}{dy} = -0,43x + 0,53y - 0,33. \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} 1,05x - 0,43y + 0,03 = 0; \\ -0,43x + 0,53y - 0,33 = 0. \end{cases}$$

$$x = 0,33; y = 0,89.$$

Подставив полученные значения x и y в исходное уравнение (2), получим:

$$Y = 3,71 + 0,03 \cdot 0,33 - 0,33 \cdot 0,89 + 0,53 \cdot 0,33^2 - 0,43 \cdot 0,33 \cdot 0,89 + 0,27 \cdot 0,89^2.$$

Таким образом, мы получили оптимальное значение удельных затрат энергии в центре поверхности (в локальном минимуме) $Y = 3,57$ МДж/(кг влаги).

Далее канонически преобразовывали уравнение (2). Для этого решали характеристическое уравнение

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} - B \end{vmatrix} = B^2 - (b_{11} + b_{22})B + (b_{11}b_{22} - 0,25b_{12}^2) = 0, \quad (4)$$

где b_{11} – коэффициент при x_2 ;

b_{22} – коэффициент при y_2 ;

b_{12} – коэффициент при xy .

$$B^2 - (0,53 + 0,27) \cdot B + (0,53 \cdot 0,27 - 0,25 \cdot (-0,43)^2) = 0;$$

$$B^2 - 0,8B + 0,097 = 0;$$

$$B_{11} = 0,15;$$

$$B_{22} = 0,65.$$

Уравнение в канонической форме имеет следующий вид:

$$Y_{34} - 3,57 = 0,15x^2 + 0,65y^2. \quad (5)$$

Выполненная проверка подтвердила точность расчётов:

$$\sum_1^2 b_{ii} = 0,53 + 0,27 = 0,8;$$

$$\sum_1^2 B_{ii} = 0,15 + 0,65 = 0,8.$$

Двухмерное сечение поверхности отклика, которая отображает зависимость удельных затрат энергии от совместного влияния температуры поверхности и скорости движения зерна, представлено на рисунке 3.

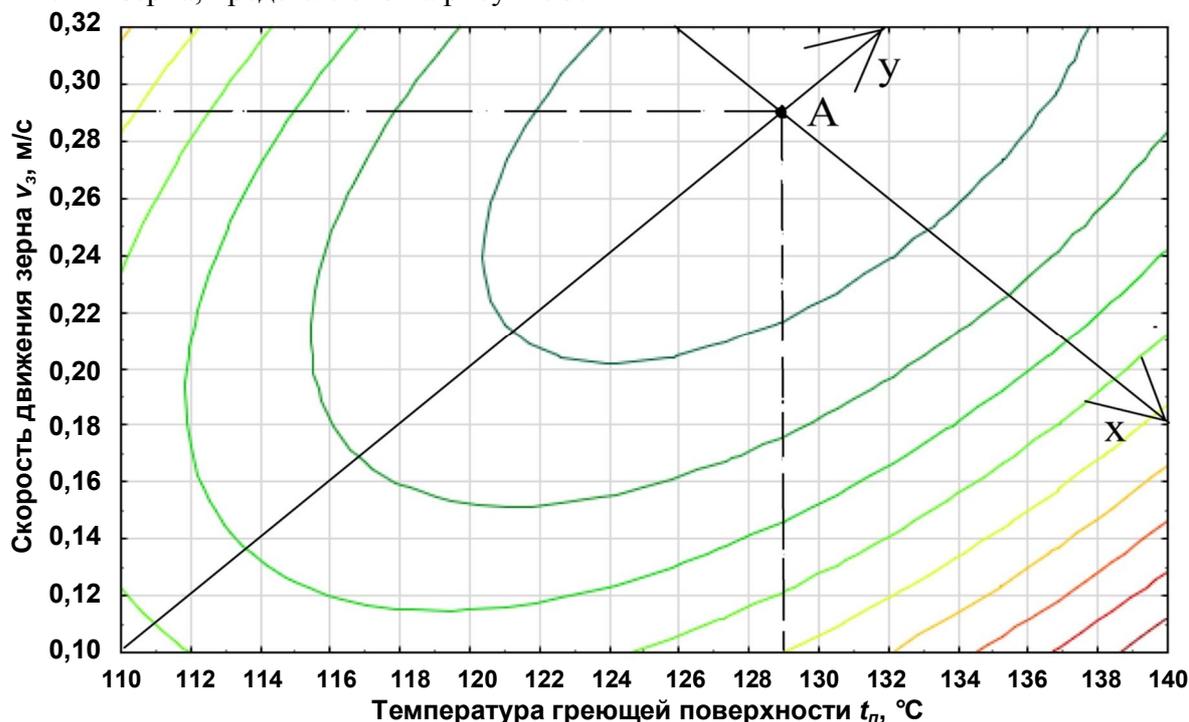


Рис. 3. Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее влияние v_z и t_n на $q_{уд}$ (вариант 1)

Проанализировав данные, представленные на рисунке 3, мы выявили, что оптимальные значения независимых факторов $\tau = 10$ с, $v_z = 0,29$ м/с и $t_n = 129^\circ\text{C}$ достигаются при температуре первой секции ТРО 150°C и температуре второй секции ТРО 108°C . При этом удельные затраты энергии на процесс сушки зерна минимальны и составляют $3,57$ МДж/(кг влаги).

С учётом полученных оптимальных значений можно определить максимальную пропускную способность устройства. Однако при данной скорости движения зерна, кроме максимальной, равной 375 кг/ч, можно обеспечить ещё три варианта пропускной способности, которые зависят от степени открытия заслонки на загрузочном бункере, а именно: 79 , 221 и 300 кг/ч. На первый взгляд может показаться, что наиболее выгодна максимальная пропускная способность. Однако экспериментальные исследования показали, что при максимальной пропускной способности не обеспечивается требуемое качество сушки, так как зерно в начале движения по транспортной доске сгруживается, после чего распределяется на ней в несколько слоёв, что не позволяет выполнить одно из ключевых условий сушки зерна при контактном способе, а именно, создание тонкослойного перемещения высушиваемого материала для его равномерного нагрева. Поэтому в качестве оптимальной выбираем пропускную способность установки 221 кг/ч, при которой будет выполняться условие тонкослойного движения обрабатываемого материала.

Так как оптимальные значения выбранных нами независимых факторов процесса сушки обеспечиваются при изменении пропускной способности установки в заданных пределах для первого варианта исследований (постоянная температура первой секции ТРО и изменяющаяся температура второй секции ТРО), то удельные затраты энергии на процесс сушки зерна существенно не изменяются и составляют $3,57$ МДж/(кг влаги) при рациональном режиме работы. Этот факт был проверен и подтверждён в процессе дальнейших исследований.

Аналогичным образом был выполнен расчёт для случая, когда температура греющей поверхности второй секции ТРО постоянна, а температура первой секции ТРО изменяется. В результате было получено соответствующее двухмерное сечение поверхности отклика (рис. 4).

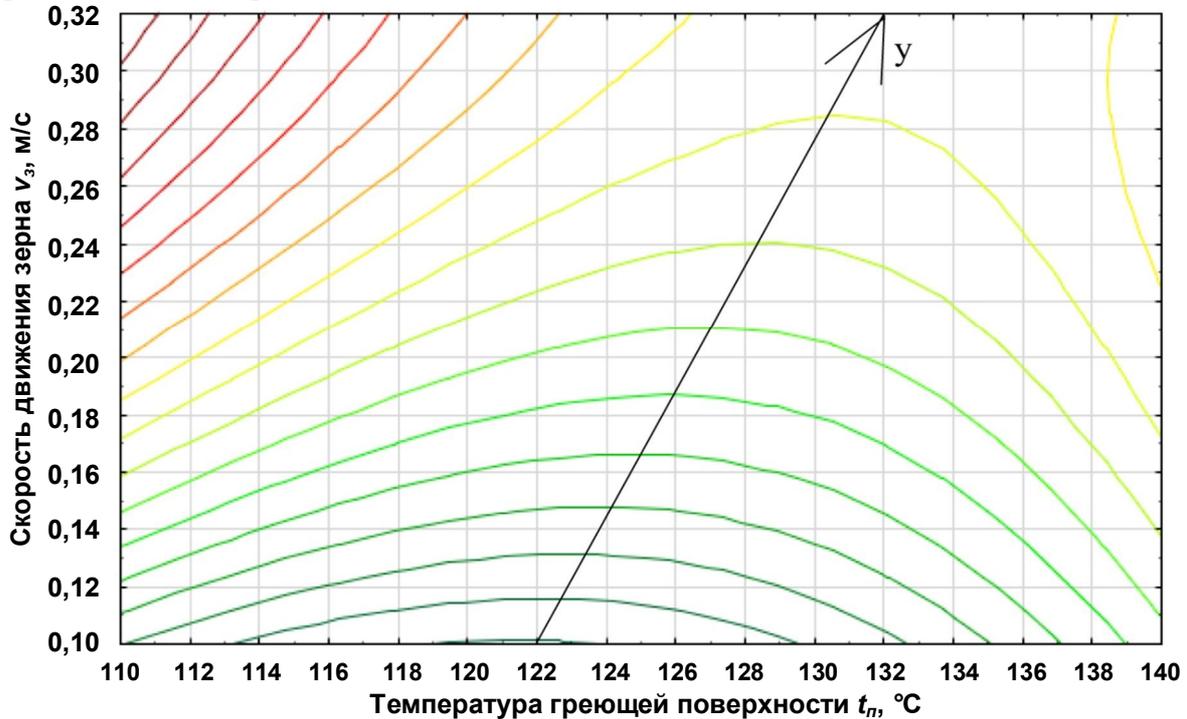


Рис. 4. Двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее влияние v_z и t_n на $q_{y\partial}$ (вариант 2)

По представленному на рисунке 4 двухмерному сечению можно определить, что оптимальная температура поверхности t_n составляет примерно 121°C . Однако точка оптимального значения скорости движения зерна v_z находится за пределами области исследования. Следовательно, для рассматриваемого случая оптимальными значениями независимых факторов будут являться $v_z = 0$ м/с и $t_n = 121^\circ\text{C}$. Но при скорости движения зерна, равной нулю, оно будет находиться в неподвижном состоянии, а непрерывный процесс сушки перейдет в категорию периодических. Этот случай при контактном подводе теплоты сопровождается локальным перегревом высушиваемого материала и, соответственно, резким снижением качества готового продукта. Поэтому затраты энергии на процесс сушки следует минимизировать с учётом обеспечения заданной пропускной способности установки. Анализ практики использования селекционных сушилок показал, что их пропускная способность должна быть не меньше 50 кг/ч, что обеспечивается при $v_z = 0,06$ м/с [4, 5, 6].

Для того чтобы определить оптимальную скорость движения зерна, построим двухмерное сечение поверхности отклика, характеризующее влияние производительности Q и температуры греющей поверхности t_n на удельные затраты энергии $q_{y\partial}$ (рис. 5, а).

Проанализировав полученное двухмерное сечение, можно заключить, что удовлетворительной является пропускная способность от 10 до 300 кг/ч. При пропускной способности $Q = 10$ кг/ч удельные затраты энергии составляют около 3,8 МДж/(кг влаги), а при $Q = 300$ кг/ч данный показатель составляет примерно 5,8 МДж/(кг влаги).

Для наглядного представления о характере изменения удельных затрат энергии в зависимости от пропускной способности устройства был построен соответствующий график (рис. 5, б).

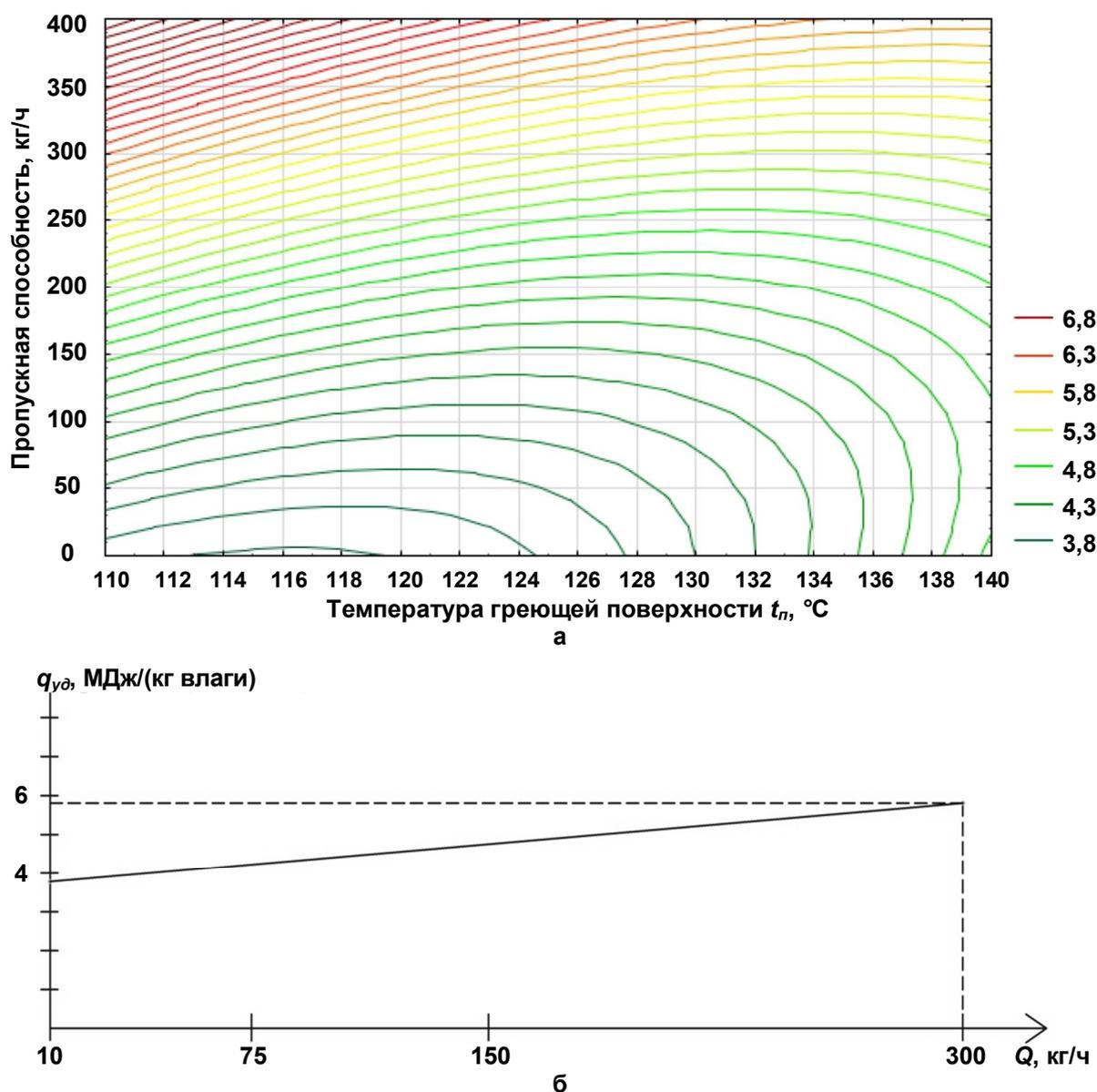


Рис. 5: а – двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее влияние Q и t_n на $q_{уд}$; б – зависимость удельных затрат энергии от пропускной способности установки

Анализ данных, представленных на рисунке 5, показал, что в пределах области эксперимента при относительно небольшой разнице удельных затрат энергии пропускная способность существенно различается. Так, при увеличении пропускной способности устройства в 30 раз удельные затраты энергии увеличиваются всего в 1,5 раза, поэтому наиболее эффективно использование устройства при максимальной пропускной способности. Однако в этом случае, как уже было сказано выше, зерно движется по нагретой поверхности в несколько слоёв, что ухудшает качество высушенного материала. Поэтому для обеспечения тонкослойного движения зерна оптимальна пропускная способность $Q = 200$ кг/ч. Такая пропускная способность обеспечивается при скорости движения зерна $v_z = 0,15$ м/с.

Таким образом, для второго варианта исследований (постоянная температура второй секции ТРО и изменяющаяся температура первой секции ТРО) мы получили следующие рациональные значения независимых факторов: $\tau = 18$ с, $v_z = 0,15$ м/с, $t_n = 125^\circ\text{C}$. При этом удельные затраты энергии на процесс сушки зерна составляют 4,2 МДж/(кг влаги).

Выводы

Экспериментальные исследования предлагаемой установки для сушки зерна с колебательным транспортирующим рабочим органом показали, что из двух вариантов режимов работы энергетически выгоден тот, при котором температура первой секции ТРО постоянна, а температура второй секции ТРО меняется. При этом оптимальная температура второй секции ТРО зависит от вида высушиваемой культуры и требуемой пропускной способности установки.

Сушить зерно тритикале рационально при пропускной способности установки 221 кг/ч, которая достигается при скорости движения зерна $v_z = 0,29$ м/с, температуре первой секции ТРО 150°C и температуре второй секции ТРО 108°C. В этом случае при нахождении зернового материала в установке в течение $\tau = 10$ с удельные затраты энергии на процесс сушки составляют 3,57 МДж/(кг влаги), что примерно на 15% ниже, чем у передвижной фермерской сушилки семян ПУФС-0,4 конструкции ВИМ [9], и на 34,5% меньше, чем у широко распространённой сушилки промышленного изготовления СЗПБ-2,5 [6, 12].

Библиографический список

1. Атаназевич В.И. Сушка зерна / В.И. Атаназевич. – Москва : ДеЛи принт, 2007. – 479 с.
2. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна / Г. Боуманс ; пер. с англ. В.И. Дашевского. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 607 с.
3. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы : утверждена Постановлением Правительства от 14 июля 2012 г. № 717 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902361843> (дата обращения: 20.01.2020).
4. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – Москва : Колос, 1982. – 239 с.
5. Журавлев А.П. Зерносушение и зерносушилки : монография / А.П. Журавлев. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2014. – 293 с.
6. Карпенко Г.В. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров энергосберегающей установки для сушки зерна : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Г.В. Карпенко. – Пенза, 2005. – 20 с.

7. Обзор рынка тритикале в России. Ведущий российский портал бизнес-планов, руководств и франшиз openbusiness.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.openbusiness.ru/biz/business/obzor-rynka-tritikale-v-rossii> (дата обращения: 15.02.2020).
8. Пат. на полезную модель 184194 Российская Федерация, МПК А23В 9/08, F26В 17/26 (2006.01). Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, П.С. Агеев, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин, Г.В. Карпенко, Д.П. Ерохин ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – № 201810890 ; заявл. 12.03.2018 ; опубл. 18.10.2018, Бюл. № 29. – 5 с.
9. Передвижная универсальная фермерская сушилка семян. Проект информационной поддержки сельских товаропроизводителей. Новости сельского хозяйства от AgroNews.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agrozoо.ru/base_gvc/meh/modif/38501.html (дата обращения: 10.01.2020).
10. Послеуборочная обработка и хранение зерна / Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов, Б.К. Маратов, А.С. Прокопец – Ростов-на-Дону : МарТ, 2001. – 231 с.
11. Пунков С.П. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение / С.П. Пунков, А.И. Стародубцева. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 367 с.
12. Сушилка универсальная передвижная СЗПБ-2,5. AGRO.AG – Сельскохозяйственная техника и описание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.agro.ag/catalog/mashinj_dlya_posleuborochnoj_obrabotki_semyan_i_prodoovolstvennofurajnogo/sushilka_universalnaya_peredvijnaya_szpb25.html (дата обращения: 10.01.2020).
13. Технология хранения зерна : учебник для студентов вузов / Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов, Б.К. Маратов и др. ; под ред. Е.М. Вобликова. – Санкт-Петербург : Лань, 2003. – 438 с.
14. Seed Refinement in the Harvesting and Post-Harvesting Process / V.I. Orobinsky, A.M. Gievsky, I.V. Baskakov, A.V. Chernyshov // Advances in Engineering Research : International Scientific and Practical Conference «AGROSMART – Smart Solutions for Agriculture» (Agro-SMART 2018; Russia, Tyumen, July 16–20, 2018). – Netherlands : Atlantis Press, 2018. – Vol. 151. – Pp. 870–874.
15. Sadaka S. On-Farm Wheat Drying and Storage / S. Sadaka, G. Atungulu, S. Osborn // In book: Arkansas Wheat Production Handbook, Chapter 10. – 2014. University of Arkansas Division of Agriculture, Editors: Jason Kelley. – Pp. 1–10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Андрей Александрович Павлушин – доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности», декан инженерного факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Ульяновск, e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

Сергей Алексеевич Сутягин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Ульяновск, e-mail: sergeysut@mail.ru.

Владимир Иванович Курдюмов – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Ульяновск, e-mail: vik@ugsha.ru.

Петр Сергеевич Агеев – аспирант кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Россия, г. Ульяновск, e-mail: ageev_petr@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 26.04.2020

Дата принятия к печати 04.06.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Andrey A. Pavlushin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Technologies, Machinery and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Ulyanovsk, e-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

Sergey A. Sutyagin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Technologies, Machinery and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Ulyanovsk, e-mail: sergeysut@mail.ru.

Vladimir I. Kurdyumov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Agricultural Technologies, Machinery and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Ulyanovsk, e-mail: vik@ugsha.ru.

Petr S. Ageev, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Technologies, Machinery and Life Safety, Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Russia, Ulyanovsk, e-mail: ageev_petr@mail.ru.

Received April 26, 2020

Accepted after revision June 04, 2020