

УДК 631:362.7

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ С КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛОТЫ

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»;

Павлушин Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»;

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина»

432063, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

Тел.: 89084788926;

E-mail: andrejpavlu@yandex.ru.

Ключевые слова: сушка зерна, энергосбережение, комбинированный способ передачи теплоты, программа исследований, математическая модель процесса сушки зерна.

Обоснована актуальность создания энергосберегающих средств механизации процесса сушки зерна, адаптированных к условиям российского сельскохозяйственного производства. Выявлены пути совершенствования установок для сушки зерна. Предложено устройство для сушки зерна комбинированного типа позволяющее снизить затраты энергии на процесс сушки при обеспечении требуемого качества готового продукта. Разработана программа исследования процесса сушки зерна в лабораторных условиях. Выявлены оптимальные значения независимых факторов, при которых достигаются минимальные удельные затраты теплоты на испарение влаги из зерна.

С ростом объемов производства зерна в сельском хозяйстве издержки производства возрастают еще быстрее, причем этот разрыв в темпах роста постоянно увеличивается. Причиной этого являются недопустимые потери зерна, большая часть которых приходится на период его послеуборочной обработки и хранения. Экстенсивное расширение производства зерна лишь отчасти повышает его рентабельность. Проблему снижения издержек можно решить только при помощи модернизации существующей техники, а также внедрении новых энергосберегающих технологий в процесс производства и переработки зерна, особенно по-

сле его уборки.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили конвективные устройства, в которых тепловой обработке подвергают более 80% убранного зерна. В качестве топлива в них используют природный газ или светлые виды жидкого нефтяного топлива. Однако конвективные устройства относительно энергозатратны и не всегда обеспечивают должное качество готового продукта. Например, теоретически, для того чтобы испарить 1 кг влаги при обычных условиях протекания процесса сушки зерна, требуется около 2260 кДж теплоты. Однако в современных зарубежных и отечествен-

ных устройствах шахтного и колонкового типа на 1 кг испаренной влаги затрачивается свыше 6000 кДж теплоты. Кроме того, при использовании существующих конвективных устройств наблюдается пересушивание зерна и растрескивание его поверхностных слоев вследствие большой неравномерности и инертности нагрева зерна в процессе обработки.

Таким образом, создание энергосберегающих средств механизации процесса сушки зерна, адаптированных к условиям российского сельскохозяйственного производства, является актуальной и важной научно-технической задачей. При этом оптимальные технологические параметры процесса сушки зерна, способствующие минимизации энергозатрат, могут быть получены на основе всестороннего анализа физической и математической моделей процесса сушки зерна и с учетом основных особенностей условий функционирования соответствующих средств механизации.

Наиболее перспективными и экономичными являются устройства относительно небольшой пропускной способности, основанные на применении комбинированного способа передачи теплоты зерну.

Конструкция устройства должна прежде всего обеспечить равномерный нагрев и сушку продукта при надежном контроле его температуры и влажности. Устройства должны иметь необходимую пропускную способность, возможно меньшую металлоемкость, но при этом должны быть экономичными по удельным расходам теплоты и электроэнергии.

Добиться снижения энергоемкости устройств можно при помощи совмещения процессов нагрева и транспортирования единичного слоя зерна на основе использования шнековых рабочих органов. При этом обеспечивается непрерывность процесса сушки и равномерность нагрева обрабатываемого зерна.

При выборе конструкции устройства для сушки зерна, вида технологического процесса тепловой обработки и обосновании оптимальных параметров его протекания необходимо опираться на накопленный

опыт и на требования, предъявляемые к работе устройств.

Таким образом, создание устройства для сушки зерна небольшой пропускной способности на основе применения комбинированного способа передачи теплоты позволит максимально обеспечить выполнение технологических требований, предъявляемых к обработанному зерну, и требований, предъявляемых к таким устройствам при их эксплуатации в условиях небольших зернопроизводящих хозяйств и мелких животноводческих ферм (универсальность, экологичность, и т.д.).

Целью данных исследований является повышение эффективности процесса сушки зерна на основе разработки устройства для сушки с определением оптимальных режимов его работы, обеспечивающих снижение затрат энергии.

Для достижения поставленной цели было разработано и изготовлено устройство для сушки зерна комбинированного типа (контактного и конвективного) (рис. 1) [4].

Устройство работает следующим образом. Включают нагревательные элементы

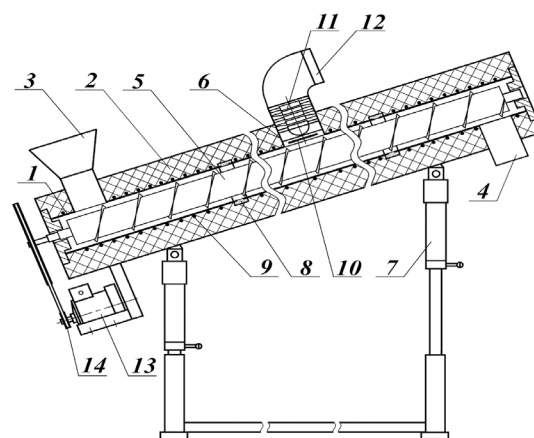


Рис. 1 – Устройство для сушки зерна:

1 – кожух; 2 – слой теплоизолирующего материала; 3 – загрузочный бункер; 4 – выгрузное окно; 5 – транспортирующий рабочий орган; 6 – воздуховод; 7 – винтовые опоры; 8 – кольцо; 9, 10 – нагревательные элементы; 11 – вентилятор; 12 – патрубок; 13 – двигатель; 14 – ременная передача

9. После достижения необходимой температуры кожуха подают зерно в загрузочный бункер 3, откуда оно поступает на транспортирующий рабочий орган 5 и перемещается им к выгрузному окну 4. Одновременно включают вентилятор 11 и нагревательный элемент 10, установленный в воздуховоде 6. Контактная с нагретой поверхностью кожуха 1 и с нагретым воздухом, поступившим через воздуховод 6 и нагревательный элемент 10, зерно подвергается сушке. Зерно, нагреваясь, теряет излишки влаги, которые в виде пара удаляются через перфорацию рабочего органа и далее – через загрузочный бункер 3, выгрузное окно 4, а также отверстия в торцах кожуха. Обработанное зерно удаляется из устройства через выгрузное окно 4. При использовании зерна другой культуры меняют температуру нагрева каждого из участков кожуха 1 с помощью индивидуальных нагревательных элементов 9, частоту вращения рабочего органа 5, а также угол наклона цилиндрического кожуха 1 в зависимости от требуемых режимов тепловой обработки.

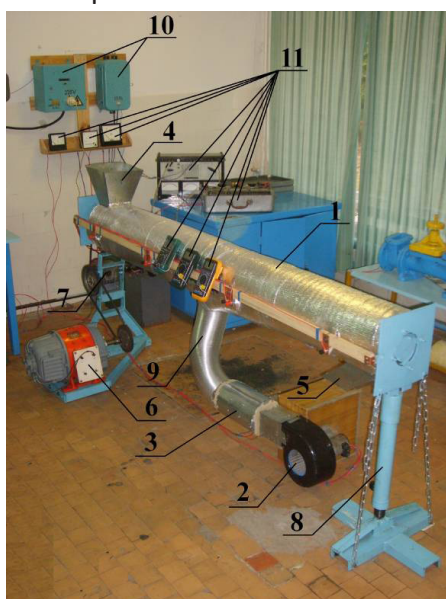


Рис. 2 - Лабораторная установка для сушки зерна:

1 – кожух; 2 – вентилятор; 3 – электрокалорифер; 4 – загрузочный бункер; 5 – выгрузное окно; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор червячный; 8 – опора винтовая; 9 – воздуховод; 10 – пускозащитная аппаратура; 11 – контрольно-измерительная аппаратура

Выполнение кожуха устройства составным, с разделением частей кольцами, выполненными из теплоизоляционного материала, а также регулирование температуры нагрева каждого из участков кожуха за счёт установки отдельных нагревательных элементов, обеспечивает максимальную равномерность тепловой обработки по объёму перемещаемого материала, а также снижение энергоёмкости процесса.

Выполнение транспортирующего рабочего органа в виде шнека повышает универсальность устройства, так как оно может работать с зерном любых сельскохозяйственных культур.

Расположение воздуховода между загрузочным бункером и выгрузным окном, изготовление витков шнека перфорированными, а также наличие в торцевых поверхностях кожуха отверстий позволяет более качественно и интенсивно осуществлять процесс воздухообмена, что способствует повышению эффективности устройства за счёт улучшения условий прохождения потока воздуха через слой зерна и интенсивности обдува зерен. В результате улучшается качество обработанного зерна и снижаются затраты энергии на испарение влаги.

Выполнение опор с возможностью изменения угла наклона кожуха относительно горизонтали и фиксирования в заданном положении обеспечивает возможность более качественной и эффективной обработки зернового материала за счёт вращения зерен вокруг своей оси и изменения времени их тепловой обработки при движении внутри устройства. Эта особенность конструкции обеспечивает эффективное использование устройства при сушке зерна различных сельскохозяйственных культур, имеющих различные коэффициенты трения.

С целью определения оптимальных параметров и режимов работы предлагаемого устройства была разработана программа исследования процесса сушки зерна в лабораторных условиях, которая включала:

- разработку и изготовление экспериментального устройства для сушки зерна;
- определение оптимальных режимных параметров процесса сушки зерна в

предложенном устройстве.

Для выполнения программы исследований процесса сушки зерна была разработана и изготовлена лабораторная установка (рис. 2).

Созданная лабораторная установка позволяет исследовать процесс сушки зерна при изменении в широких пределах основных режимных параметров: средней температуры греющей поверхности (40...300 °С), времени сушки зерна (30...250 с), скорости движения воздуха в кожухе (0...10 м/с), а также температуры подаваемого воздуха (20...70 °С).

Для получения более точных и достоверных данных был проведен полнофакторный эксперимент [1]. Результаты экспериментальных исследований обрабатывали с применением методов математической статистики с помощью компьютерных программ «Excel», «Statistica 6.0» и «Derive – 5». При этом особое внимание обращали на критерии, подтверждающие достоверность и значимость результатов опытов, а также адекватность полученных математических моделей.

В ходе проведения эксперимента, выполненного в соответствии с планом, были получены необходимые данные для составления математической модели процесса, протекающего в устройстве для сушки зерна.

Исследование устройства при сушке зерна проводили на зерне ячменя сорта «Раушан». При этом оценивали качество семян по всхожести и энергии прорастания в аккредитованной лаборатории.

Проведенные исследования показали, что удельные затраты теплоты на испарение влаги из зерна увеличиваются при подаче большего количества нагретого воздуха, так как максимальная мощность при работе устройства затрачивается именно на нагрев воздуха, подаваемого внутрь кожуха.

При отсутствии подачи воздуха в устройство, то есть только при контактном подводе теплоты к обрабатываемому зерну, наблюдалось снижение разового влагосъема, а вследствие этого, и повышение удельных затрат теплоты. Это объясняется

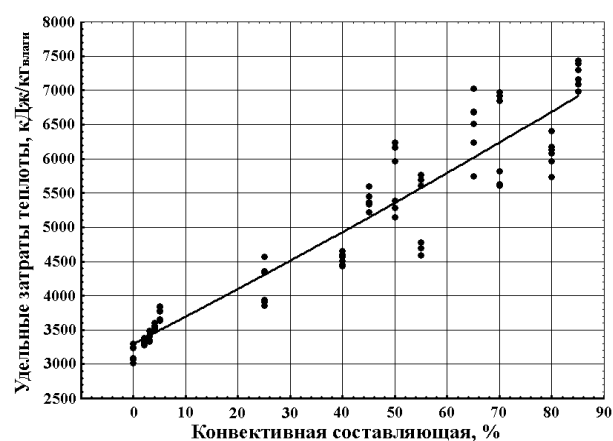


Рис. 3 – Зависимость удельных затрат теплоты от процентного соотношения конвективной и контактной составляющих процесса комбинированной сушки

тем, что при отсутствии подачи воздуха водяные пары, испаряющиеся из высушиваемого зерна, не выводятся из устройства в достаточной степени, поэтому часть их диффундирует обратно в зерно.

Диффузия водяных паров в зерно наблюдалась также при влагосъеме более 3% и подаче воздуха с температурой более 50°С, когда время сушки зерна превышало 150 с. Это можно объяснить тем, что при увеличении времени сушки влагосъем также продолжает увеличиваться, и в кожухе устройства скапливается большое количество водяных паров. Масса испарившейся влаги также увеличивается, поэтому необходимо увеличивать подачу воздуха для удаления образовавшихся водяных паров из устройства. Так как конструкция предлагаемого устройства обеспечивает движение зерна единичным слоем, то кольцевой зазор, образованный пространством между внутренней стенкой кожуха и внешней поверхностью вала шнека, имеет небольшую площадь сечения. Поэтому увеличить подачу воздуха можно за счет резкого увеличения скорости движения воздуха, которая не должна превышать скорость витания зерна. Таким образом, в устройство можно подать ограниченное количество воздуха в единицу времени, которого не хватает для удаления всех образовавшихся при высоком влагосъеме водяных паров. Поэтому при

увеличении времени сушки зерна при соответствующих режимах происходит диффузионное изменение части не удаленных из устройства водяных паров в зерно.

Анализ полученных результатов исследования комбинированной сушки зерна позволяет сделать заключение, что удельные затраты теплоты на испарение влаги возрастают с увеличением конвективной составляющей подвода теплоты к высушиваемому зерну (рис. 3).

После обработки результатов проведенных экспериментов было получено уравнение регрессии в натуральных значениях факторов, характеризующее влияние средней температуры греющей поверхности и скорости движения воздуха на удельные затраты теплоты

$$q_{уд} = -2099,4 + 221,8T_{гр.ср} + 264,3v_B - 1,99T_{гр.ср}^2 - 6,19T_{гр.ср}v_B + 19,19v_B^2, \quad (1)$$

где $q_{уд}$ – удельные затраты теплоты, кДж/кг_{влаги}; $T_{гр.ср}$ – средняя температура греющей поверхности, °С; v_B – скорость движения воздуха, м/с.

Уравнение (1) в кодированных значениях факторов:

$$Y = 4079,1 - 328,88x_1 + 310,68x_2 - 447,13x_1^2 - 370,23x_1x_2 + 307,24x_2^2, \quad (2)$$

где Y – удельные затраты теплоты, кДж/кг_{влаги}; x_1 – средняя температура греющей поверхности; x_2 – скорость воздуха.

Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия средней температуры греющей поверхности и скорости воздуха и их совместного влияния на удельные затраты теплоты представлено на рис. 4.

Данная поверхность имеет форму седловины, в центре которой находится локальный минимум удельных затрат теплоты на процесс сушки.

Анализ коэффициентов уравнений (1) и (2) показывает, что наибольшее влия-

ние на параметр оптимизации из линейных членов оказывает взаимодействие средней температуры греющей поверхности и скорости движения воздуха, причем с увеличением их произведения удельные затраты теплоты на процесс сушки снижаются. Наименьшее влияние оказывает скорость движения воздуха. Среди нелинейных членов наибольшее влияние оказывает средняя температура греющей поверхности, причем с ее увеличением значение параметра оптимизации снижается. Несколько меньшее влияние оказывает скорость движения воздуха, однако при ее увеличении удельные затраты теплоты также увеличиваются [2, 3].

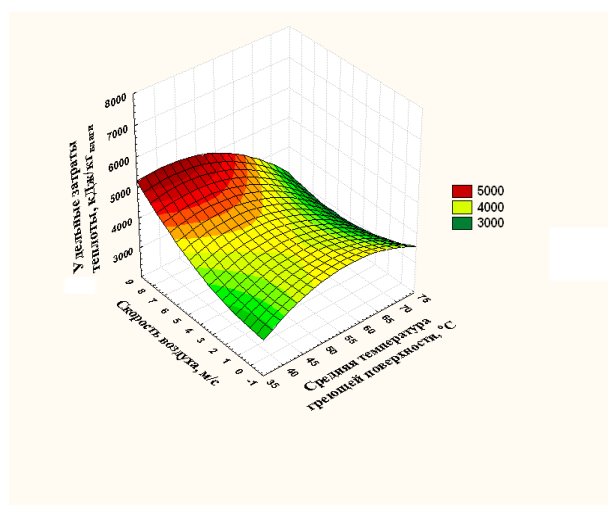


Рис. 4 - Поверхность отклика от взаимодействия средней температуры греющей поверхности и скорости воздуха

Аналогично были получены и исследованы уравнения регрессий в натуральных и кодированных значениях факторов, характеризующих влияние средней температуры греющей поверхности и температуры подаваемого в кожух устройства воздуха на удельные затраты теплоты, а также от взаимодействия средней температуры греющей поверхности и температуры воздуха и их совместного влияния на удельные затраты теплоты.

Анализ расчетных значений критериев и сравнение их с табличными данными показали достоверность проведенных экспериментов, точность расчетов, а также статистическую значимость полученных математических моделей процесса сушки зерна.

В результате анализа математических моделей процесса сушки зерна выявлены оптимальные значения независимых факторов, при которых удельные затраты теплоты на испарение влаги из зерна ячменя $q_{уд.опт}$ составляют 4009,5 кДж/кг_{влаги}: средняя температура греющей поверхности $T_{гр.ср.опт} = 53,1$ °С, время сушки зерна $T_{опт} = 88$ с, скорость движения воздуха $v_{в.опт} = 1,7$ м/с, температура воздуха $T_{в.опт} = 23,6$ °С. Пропускная способность устройства при этом составляет 350 кг/ч.

Таким образом, применение комбинированного способа передачи теплоты позволяет снизить затраты энергии на процесс сушки, причём при данной сушке зерна удельные затраты теплоты на испарение влаги увеличиваются с увеличением конвективной составляющей подвода теплоты к высушиваемому зерну.

Библиографический список

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, Ленингр. отделение, 1980. – 168 с.
3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965. – 327 с.
4. Патент на изобретение № 2371650 РФ. Устройство для сушки зерна/ В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, И.Н. Зозуля. – Опубл. в Бюл. № 30 от 27.10.2009.

УДК 631.331

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО СОШНИКА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Курдюмов Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»

Зыкин Евгений Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»

Шаронов Иван Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»

Бирюков Илья Валерьевич, инженер кафедры «Безопасность жизнедеятельности и энергетика»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина»

432063, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

Тел.: 8-905-348-65-14;

e-mail: evg-zykin@yandex.ru

Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-3642.2011.8.

Ключевые слова: гребень почвы, пропашные культуры, сошник, посев, каток, комбинированные агрегаты, сеялка

Авторами статьи предложен комбинированный сошник для гребневого посева пропашных культур. Предлагаемый сошник исследован в лабораторных условиях. Получено уравнение регрессии процесса образования гребня почвы.