

УДК 631:362.7

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОНТАКТНОГО ТИПА

*Г.В. Карпенко, к.т.н., В.И. Курдюмов, д.т.н., Ульяновская ГСХА*

До 60 % убранный в РФ зерно имеет повышенную (до 32 %) влажность и требует сушки. Зерно повышенной влажности не может храниться длительное время, так как в нем быстро развиваются вредные микроорганизмы, что приводит к самосогреванию и порче зерна.

Сушка семенного зерна улучшает условия послеуборочного дозревания, при этом повышается энергия прорастания и всхожесть семян. Сушка товарного зерна улучшает качество продуктов его переработки, повышает производительность перерабатывающих предприятий, уменьшает расход энергии и снижает себестоимость переработки.

Сушку применяют и для борьбы с вредителями зерна (долгоносиками, клещами и др.), которые погибают под действием высоких температур.

В связи с этим разработка технических средств, интенсифицирующих процессы сушки зерна с учетом энерго- и ресурсосбережения, является актуальной и важной научно-технической задачей.

Разработка и создание какой-либо зерносушильной установки, использующей в основе своей работы тепловые процессы, проходит по общей схеме. На начальном этапе определяют технологические требования к установке, соблюдение которых определяется характером биохимических и теплофизических процессов, протекающих в зерновой массе.

Тепловые процессы, происходящие при сушке любым способом, должны обеспечивать соблюдение основных технологических требований и ограничений, определяемых специфическими особенностями зерна как живого организма. Так, например, для сохранения жизненной активности зерна разовый влагоём  $\Delta W_{\max}$  не должен превышать 4...6 % [1, 2]. В противном случае большая часть зерна может погибнуть. Подобного рода ограничения накладываются и на другие параметры, характеризующие процесс сушки: максимальную температуру нагрева зерна, максимальное время теплового воздействия и т.д. Эти величины зависят от вида зерна, его состояния, способа сушки, кинематических параметров сушилки и других факторов. Определение этих величин для конкретного способа сушки базируется на существующей теории тепловой обработки и при необходимости корректируется проверочными экспериментами.

Для миниустановок, используемых в фермерских хозяйствах, применение жидких и газообразных теплоносителей малоэффективно, так как это

приводит к значительному усложнению, а, следовательно, к удорожанию установки. С развитием электротехники, технологии изготовления электрических нагревательных элементов становится возможным более широкое применение электронагрева для сушки зерна, в частности, в сушилках контактного типа.

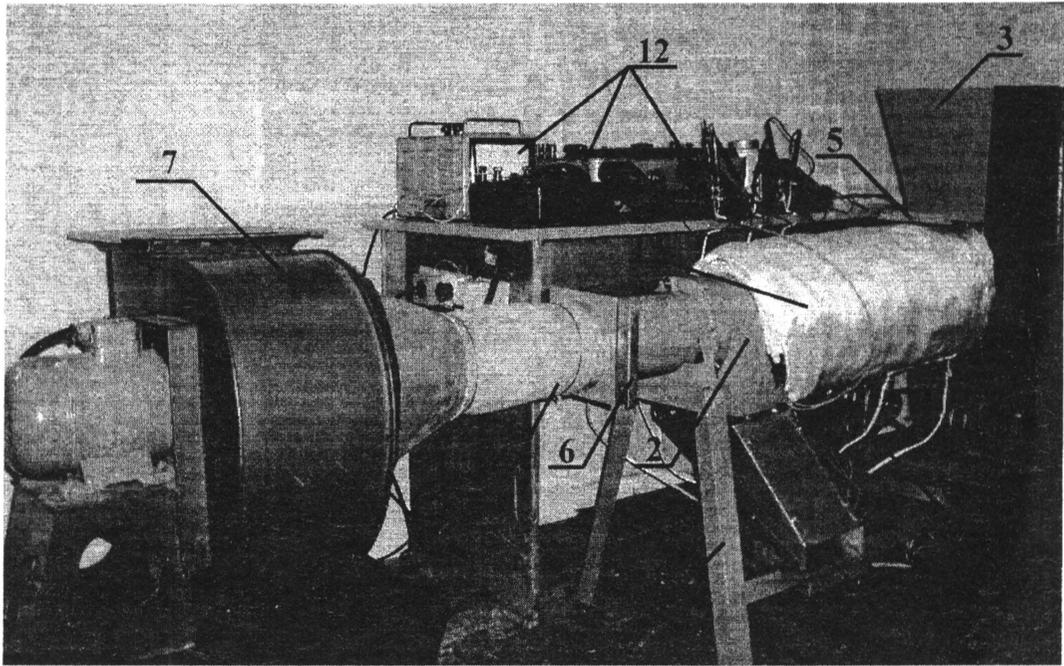
При разработке теоретических основ расчета и создании установки для сушки зерна нами учтено, что сушилки, использующие электрический нагрев продукта, обладают меньшей (по сравнению с существующими) металлоёмкостью, хорошими показателями энергопреобразования, лёгкостью управления, экономичностью. Эти качества незаменимы при использовании таких установок в фермерских хозяйствах, на небольших зерноперерабатывающих предприятиях как в составе технологических линий, так и автономно.

Для нормального протекания процессов тепловой обработки (прогрева, сушки, прокалывания и т.д.) необходимо выполнить ряд условий. Применительно к контактному способу нагрева такими условиями являются: равномерный подвод теплоты к максимально возможной поверхности определённого объема зерна; постоянный отвод образующейся на поверхности зерна влаги; перемешивание зернового слоя во избежание местного перегрева. Биологические особенности зерна определяют его максимальную температуру нагрева  $t_{\text{з, доп}}$  и максимальный влагоём. Эти значения напрямую связаны с параметрами теплообменника: температурой поверхности, характером распределения температуры по объёму теплообменника, площадью контакта, толщиной зернового слоя и т.д. Параметры теплоотдающего элемента теплообменника определяют режимы его работы: температуру, потребляемую мощность и т.д.

С учетом вышеизложенного, нами создана установка для сушки зерна [3], представленная на рисунке 1.

Установка смонтирована на металлической раме 1. Основными частями установки являются: теплообменник, устройство для удаления паров влаги и транспортирующий рабочий орган.

Теплообменник 13 представляет собой горизонтально расположенный полый цилиндрический кожух с электронагревателем. Такая геометрическая форма греющей поверхности обеспечивает хороший контакт с ней материала при простом конструктивном исполнении.



**Рис.1. Лабораторная установка для сушки зерна:**

1 – рама; 2 – кожух; 3 – бункер загрузочный; 4 – лоток выгрузной; 5 – заслонка; 6 – шибер; 7 – вентилятор; 8 – выпрямитель тока; 9 – электродвигатель; 10 – редуктор червячный; 11 – воздуховод; 12 – комплект измерительных приборов; 13 – теплообменник.

Устройство для удаления паров влаги состоит из центробежного вентилятора 7, соединенного с кожухом 2 с помощью воздуховода 11. Количество отсасываемого воздуха регулируется изменением положения шибера 6.

Транспортирующий рабочий орган выполнен в форме перфорированной трубы, на которой закреплены витки шнека. Привод осуществляется от электродвигателя постоянного тока 9 через червячный редуктор 10 с возможностью плавного изменения частоты вращения шнека

Электрический нагревательный элемент установки позволяет проводить исследования процесса сушки при температуре греющей поверхности от 20 °С до 200 °С. Измеряют температуру греющей поверхности и проверяют перед началом опыта равномерность температурного поля по поверхности при помощи установленных в ней термодатчиков. Заданную температуру поддерживают терморегулятором (на рисунке не показан).

Кроме того, лабораторную установку можно использовать для исследований при различных частотах вращения шнека и скоростях движения воздуха и разной продолжительности контакта материала с греющей поверхностью. Параметры процесса сушки можно контролировать с помощью комплекта измерительных приборов 12.

При проведении поисковых опытов были определены диапазоны варьирования основных независимых факторов процесса сушки. Температура греющей поверхности изменялась от 115 до 145 °С с

интервалом 10 °С, скорость движения семян – от 0,0027 до 0,0076 м/с с интервалом 0,0012 м/с и скорость движения воздуха в сушилке – от 1,9 до 2,8 с интервалом 0,45 м/с.

В качестве критерия оптимизации были приняты затраты энергии на единицу массы испаренной влаги, МДж/кг.

После реализации опытов и обработки их результатов с помощью программ для ПЭВМ «Statistica - 6» и «Derive - 5» были получены математические модели процесса сушки в натуральных значениях факторов.

Уравнение поверхности отклика от взаимодействия скорости движения семян  $v_3$ , м/с, и скорости движения воздуха  $v_B$ , м/с, при температуре греющей поверхности  $t = 0$  имеет следующий вид:

$$Y = 9,0667 - 2361,6669 v_3 + 2,0075 v_B + 203640 v_3^2 - 177,3314 v_3 v_B - 0,1343 v_B^2 \quad (1)$$

Дифференцирование данного уравнения позволило получить координаты точки поверхности, в которой достигается минимальное значение параметра оптимизации  $Y_{\min} = 3,59$  МДж/(кг влаги):  $v_3 = 0,007$  м/с и  $v_B = 2,83$  м/с.

Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия скорости движения семян и скорости движения воздуха приведено на рисунке 2.

Рисунок 2 показывает, что данная поверхность отклика вогнутая и имеет минимум в области эксперимента при  $v_3 = 0,006 \dots 0,007$  м/с.

Уравнение (1) в кодированных значениях фак-

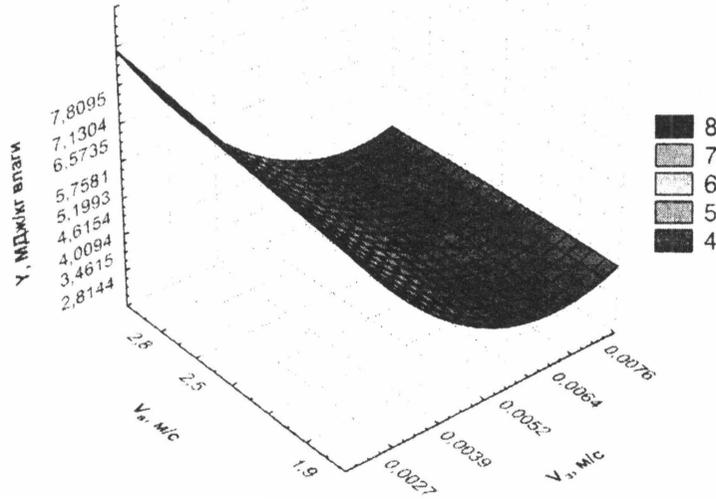


Рис.2. Поверхность отклика от взаимодействия скоростей движения семян и воздуха

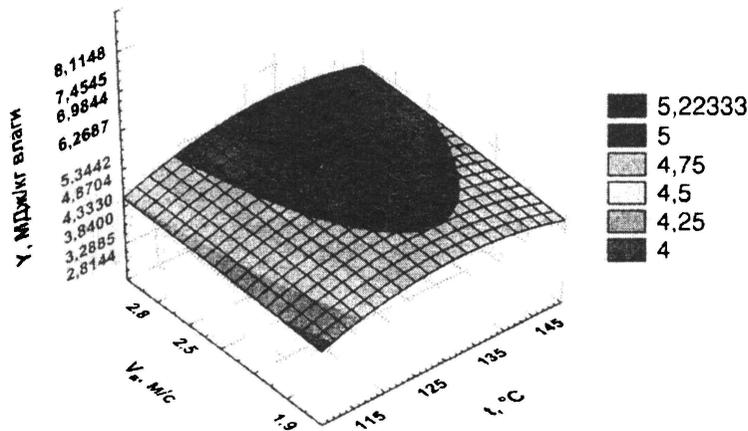


Рис.3. Поверхность отклика от взаимодействия температуры греющей поверхности и скорости движения воздуха

торов имеет следующий вид:

$$Y = 4,1273 - 1,6777x_2 + 0,2075x_3 + 1,2345x_2^2 - 0,0273x_3^2 - 0,2021x_2x_3 \quad (2)$$

где  $Y$  – удельные затраты теплоты на испарение влаги, МДж/кг;  $x_2$  – скорость движения семян;  $x_3$  – скорость движения воздуха.

Коэффициенты уравнения (2) показывают, что в рассматриваемом случае из линейных членов наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает скорость движения семян  $x_2$ , а наименьшее – сочетание скоростей движения семян и воздуха ( $x_2$  и  $x_3$ ). Причем при увеличении фактора  $x_2$  значение параметра оптимизации снижается. Из нелинейных членов уравнения значительное влияние на параметр оптимизации оказывает квадрат скорости движения

семян, причем при увеличении этого члена величина параметра оптимизации также увеличивается.

При  $v_s = 0$  получено следующее уравнение поверхности отклика:

$$Y = -19,4851 + 0,3543t - 0,0173v_b - 0,0014t^2 + 0,0085tv_b - 0,1343v_b^2 \quad (3)$$

Экстремум данной поверхности находится в точке с координатами  $t = 140^\circ\text{C}$  и  $v_b = 4,36$  м/с. Этим значениям соответствует максимальная величина параметра оптимизации  $Y_{\text{max}} = 5,47$  МДж/(кг испаренной влаги).

Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия температуры греющей поверхности и скорости движения воздуха приведено на рисунке 3.

Уравнение (3) в кодированных значениях факторов имеет следующий вид:

$$Y = 4,9182 + 0,1968x_1 + 0,2075x_3 - 0,3125x_1^2 - 0,0273x_3^2 + 0,0576x_1x_3 \quad (4)$$

где  $x_1$  - температура греющей поверхности.

Коэффициенты уравнения (4) показывают, что в рассматриваемом случае из линейных членов наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает скорость движения воздуха  $x_3$ , а наименьшее - сочетание температуры греющей поверхности и скорости движения воздуха ( $x_1$  и  $x_3$ ). Причем при увеличении скорости движения воздуха  $x_3$  значение параметра оптимизации растет. Из нелинейных членов уравнения значительное влияние на параметр оптимизации оказывает квадрат температуры греющей поверхности. При увеличении его величины параметр оптимизации снижается.

При  $v_0 = 0$  уравнение поверхности отклика имеет вид:

$$Y = -16,4708 + 0,4094 t - 1916,0205 v_3 - 0,0014 t^2 - 6,7019 t v_3 + 203640 v_3^2 \quad (5)$$

Координаты экстремума этой поверхности -  $t = 130$  °С и  $v_3 = 0,0068$  м/с дают значение параметра оптимизации  $Y = 3,72$  МДж/(кг испаренной влаги).

Графическое изображение поверхности отклика от взаимодействия температуры греющей поверхности и скорости движения семян приведено на рисунке 4.

Рисунок 4 показывает, что поверхность отклика от взаимодействия температуры греющей поверхности и скорости движения семян вогнутая и имеет минимум в области эксперимента при скоростях движения семян 0,006...0,007 м/с.

В кодированных значениях факторов уравнение (5) имеет следующий вид:

$$Y = 4,3048 + 0,2032x_1 - 1,7001x_2 - 0,3125x_1^2 + 1,2345x_2^2 - 0,2472x_1x_2 \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения (6) показывают, что в рассматриваемом случае из линейных членов наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает скорость движения семян  $x_2$ , а наименьшее - температура греющей поверхности  $x_1$ . Причем при увеличении фактора  $x_2$  параметр оптимизации снижается. Из нелинейных членов уравнения значительное влияние на параметр оптимизации оказывает квадрат скорости движения семян, причем при его увеличении параметр оптимизации также увеличивается.

Таким образом, минимальное значение удельных затрат теплоты на испарение влаги 3,59 МДж/кг имеет место при  $t_{\text{опт}} = 130$  °С,  $v_{3,\text{опт}} = 0,0068$  м/с и  $v_0 \text{ опт} = 2,83$  м/с.

Для проверки правильности полученных математических моделей процесса сушки семян подсолнечника в установке контактного типа со шнековым рабочим органом в точке оптимума была проведена серия из трех опытов. В результате были получены следующие показатели удельных затрат теплоты на испарение влаги:  $Y_1 = 3,68$  МДж/кг,  $Y_2 = 3,51$  МДж/кг и  $Y_3 = 3,20$  МДж/кг. Среднее арифметическое по серии опытов составило 3,46 МДж/кг, что всего на 3,6 % отличается от полученного аналитическим путем оптимального значения, равного 3,59 МДж/кг влаги. Это свидетельствует о хорошей сходимости результатов исследований.

У наиболее распространенных установок для сушки зерна удельные затраты на испарение влаги

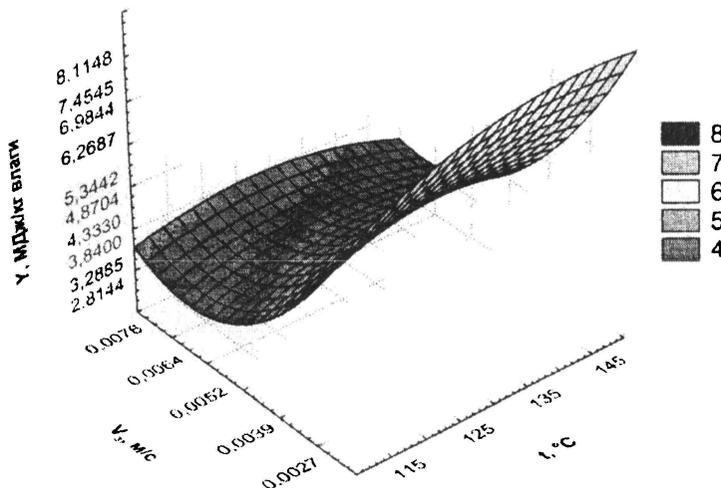


Рис.4. Поверхность отклика от взаимодействия температуры греющей поверхности и скорости движения семян

составляют: у шахтных – от 5,03 до 5,87 МДж/(кг испаренной влаги); у барабанных – до 6,25 МДж/кг, у рециркуляционных – от 3,89 до 5,15 МДж/кг. При этом для работы таких сушилок требуется 6,4...8,4 кг дорогостоящего топлива.

Сравнение приведенных выше данных показы-

вает, что применение сушильной установки электродного типа со шнековым транспортирующим органом вместо наименее энергозатратной рециркуляционной сушилки позволяет получить экономию в размере 49,3 рубля на 1 т высушенного материала в ценах II-го полугодия 2005 года.

#### Литература

1. Гершой А.Б. Зерносушение и зерносушилки / А.Б. Гершой, В.Ф. Самочетов. – М.: Колос, 1967. – 275 с.
2. Жидко В.И. Зерносушение и зерносушилки. / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
3. Курдюмов В.И., Карпенко Г.В., Карпенко М.А. Устройство для сушки зерна. – Патент RU № 2263862. Оpubл. в Бюл. № 31 10.11.05 г.

УДК 621.941

## КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ НА ЭТАПАХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

*В.И. Жиганов, кандидат технических наук, Ульяновская ГСХА*

Технический уровень металлорежущих станков рассматривают как сложную многофакторную задачу [1] и определяют исходя из различных показателей: производительность, точность, надежность, стоимость и др., которые являются по сути диаметрально противоположными, взаимоисключающими, из них производительность во многом характеризует технологические возможности данного станка. Совокупность этих показателей, используемая в известной методике бальной оценки технического уровня станков (разработанной ЭНИМСом), дает в итоге расчета субъективный конечный результат. Причем основные принципы, номенклатура показателей и порядок проведения оценки технического уровня изделий машиностроения, изложенные в ГОСТ 2.116-84 «Карта технического уровня и качества продукции», в настоящее время не работают. Стадии разработки и создания новой техники, предусмотренные ГОСТ 2.103-67, носят формализованный оттенок, этапы проектирования в известной мере являются условными, в то время как требуется сквозной системный аналитический подход к оценке уровня развития технологического оборудования на всех этапах жизненного цикла с использованием приоритетных для каждого этапа показателей и определением их количественных значений.

Согласно ГОСТ 15.001-88 «Продукция производственно-технического назначения», разработка и постановка продукции на производство в общем случае предусматривает:

- разработку технического задания (ТЗ);

- разработку технической документации, которая, в свою очередь, состоит из технического предложения, эскизного проекта (ЭП), технического проекта (ТП) и рабочего проекта (РП);

- изготовление и испытание новых образцов;
- приемку результатов разработки;
- подготовку и освоение производства.

Данный стандарт, оценивая технический уровень разрабатываемого изделия на этапах ТЗ, РП и в процессе приемки опытных образцов, не детализирует механизм реализации этой целевой установки. Другими словами, на практике отсутствует надежный алгоритм создания станка, превосходящего по своему техническому уровню существующие станки-аналоги.

Известные методики оценки технического уровня токарных станков дифференцированно не учитывают ряд таких факторов:

- стадии жизненного цикла станка: этапы проектирования, изготовления, эксплуатацию и его модернизацию;
- ограничивающие процесс резания факторы, связанные со структурой привода, особенностями конструкции основных узлов и компоновки станка;
- отсутствует учет рабочего пространства и др.

Проведенные исследования указанной проблемы позволяют автору обосновать и рекомендовать области приоритетного эффективного применения соответствующих показателей при оценке технического уровня станков в зависимости от этапа проектирования.