

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ СУШКИ ЗЕРНА В МИНИЗЕРНОСУШИЛКАХ

Г.В. Карпенко, кандидат технических наук, доцент;
В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор,
А.А. Павлушин, кандидат технических наук, доцент;
М.А. Карпенко, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»
Тел. 89093566208; e-mail: karpenko.galina@yandex.ru

Ключевые слова: тепло- и массообменные процессы, влагообмен, тепловлагопроводность, критерий Био, электрзерносушилка.

Обоснованы способы сушки зерна в минизерносушилках и определены основные этапы исследований, направленные на подтверждение предположения о том, что контактный электротеплообменник позволит создать любое распределение энергии и температурного поля по объему теплообменника, что даст возможность выбора оптимального режима тепловой обработки зерна на основе технологических требований к процессу сушки.

Математическое описание процессов, происходящих в зерне при различных способах его тепловой обработки, выполнить очень сложно. Поэтому, как обычно делают при изучении каких-либо сложных явлений, целесообразно рассматривать упрощенные математические модели, отличающиеся наглядностью и позволяющие в большинстве случаев получить удобные формулы для инженерных расчетов. Теоретическое исследование в нашем случае направлено на обоснование требований к конструктивной и технологической части установки для сушки зерна (к параметрам, определяющим конструктивно-режимные и теплофизические характеристики).

В процессе сушки зерна происходит тепло- и массообмен между поверхностью зерна и окружающей средой, а также перемещение теплоты и влаги внутри него. Внешний влагообмен обусловлен перепадом парциального давления пара у поверхности зерна и в окружающей среде. Перемещение влаги из внутренних слоев зерна к поверхности зависит от его структуры и свойств, в свою очередь зависящих от форм связи влаги с зерном. Влага из внутренних слоев обычно перемещается к его поверхности одновременно с потоком теплоты, циркулирующей в том же, или чаще в обратном направлении [1,2].

В результате ряда исследований было установлено, что процессы массопереноса в зерне протекают аналогично процессам массопереноса в коллоидных телах. Это позволило использовать данные, полученные для описания процесса тепло-массообмена коллоидных тел, при описании тепло-массообменных процессов, происходящих в зерновой массе при сушке [2, 3, 4].

Количественным фактором, характеризующим задачу переноса массы, является критерий Био

(Bi), характеризующий соотношение между интенсивностью массообмена на поверхности твердого тела и его массопроводностью:

$$Bi_m = \frac{\beta R}{a_m}, \quad (1)$$

где β – коэффициент влагообмена, м/с; R – половина толщины материала, м; a_m – коэффициент потенциальнопроводности вещества, м²/с.

При больших значениях Bi ($Bi > 50$) задача является внутренней. При $Bi < 0,2$ – задача внешней. Для неравенства $0,2 < Bi < 50$ имеет место смешанная задача. Для воды, содержащейся в зерне

как в коллоидном теле, $Bi = 0,16$ [2, 3], то есть решается внешняя задача, и удаление влаги из зерна в виде пара будет зависеть от количества подведенной тепловой энергии. Движущая сила этого явления, открытого и обоснованного А.В. Лыковым, – разность температур. В его работе [2] указывается, что кинетическим коэффициентом такого явления является коэффициент тепловлагопроводности или термогра-

диентный коэффициент δ , представляющий собой изменение влагосодержания при изменении разности температур на один градус. В соответствии с этим для плотности потока влаги и изменения влагосодержания под действием тепловлагопроводности будут иметь место уравнения:

$$q_{\text{ми}} = -a_{\text{ж}} \delta \rho_0 \nabla t, \quad (2)$$

$$\frac{dU}{d\tau} = a_{\text{ж}} \delta \nabla^2 t, \quad (3)$$

где $q_{\text{ми}}$ - плотность потока влаги в виде жидкости и пара в изотермических условиях, кг/(м²·К); ρ_0 - плотность абсолютно сухого тела, кг/м³; ∇ - оператор Лапласа, м⁻¹; t - температура, К; δ - коэффициент термовлагопроводности, кг влаги/ (кг сухого вещества · К); U - влагосодержание, кг/кг; τ - время, с.

Как следует из формул (2) и (3), тепловые характеристики процесса сушки определяют характер протекания этих процессов. Кроме того, тепло- и массообменные процессы при сушке взаимосвязаны, а процесс теплообмена является определяющим при массообмене. Поэтому при разработке теории работы контактной электросушилки необходимо определить закономерности протекания процессов теплообмена и теплопередачи, при которых тепловые характеристики установки полностью обеспечат соблюдение технологических требований.

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 протекания биохимических и теплофизических процессов, протекающих в зерновой массе. На основе многочисленных научных исследований и опыта эксплуатации различных зерносушильных установок и комплексов [1, 2, 3, 5] к настоящему времени разработаны основы технологии сушки зерна, изучены биохимические и теплофизические характеристики как единичного зерна, так и зерновой массы различных видов культур.

В настоящее время изучены и описаны тепловые процессы, происходящие в зерновой массе при различных способах тепловой обработки. Однако достаточно подробно тепловые процессы при сушке описаны лишь для наиболее распространенного в зерносушильных установках конвективного способа передачи теплоты. Характер протекания тепловых процессов при сушке зерна другими способами рассматривается укрупненно, поэтому при создании электроконтактной зерносушилки, работа которой практически не связана с конвективным способом передачи теплоты зерну, необходимо уделить внимание моделированию тепловых процессов, характерных для этого способа сушки.

Как было отмечено выше, тепловые процессы, происходящие при сушке любым способом, связанным с передачей теплоты зерну, должны обеспечи-

вать соблюдение основных технологических требований и ограничений, определяемых специфическими особенностями зерна как живого организма. Так, например, для сохранения жизненной активности

зерна разовый влагосъем ΔW_{max} не должен превышать (по различным данным) 4...6 % [3, 4, 5, 6]. 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 ряда других факторов. Определение этих величин для конкретного способа сушки может базироваться на уже существующей теории тепловой обработки и корректироваться при необходимости проверочными экспериментами [7, 8].

Существующие методы расчетов позволяют проектировать зерносушилки, использующие в качестве агента сушки нагретый воздух, продуваемый через слой зерна (конвективные зерносушилки), которые до настоящего времени считаются наиболее эффективными с точки зрения потребления энергии и соблюдения технологических требований.

Для миниустановок, используемых в фермерских хозяйствах, применение жидких и газообразных теплоносителей малоэффективно, т.к. это приводит к значительному усложнению, а следовательно, к удорожанию установки. С развитием электротехники, технологии изготовления электрических нагревательных элементов становится возможным более широкое применение электронагрева, в том числе и для сушки зерна, в частности, в контактных сушилках, принцип работы которых основан на явлении теплопередачи непосредственно от нагретой поверхности к высушиваемому материалу.

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 в управлении, экономичностью [1, 3]. Эти качества необходимы при использовании подобного рода установок в фермерских хозяйствах, на небольших зерноперерабатывающих предприятиях как в составе технологических линий по переработке зерновых, так и автономно.

Достижение поставленной цели целесообразно осуществить поэтапно. При разработке установки для сушки зерна для фермерских хозяйств можно выделить следующие основные этапы.

1. Установить общие требования к установкам подобного типа. Это необходимо для того, чтобы верно выбрать конструктивно-режимные и теплофизические параметры, определяющие тепловые режимы работы установки и влияющие на характер

протекания тепло- и массообменных процессов. Такими параметрами являются диаметр и длина сушильной установки, частота вращения транспортирующего рабочего органа, электрическая мощность, ступени регулирования температуры, удельная мощность тепловой обработки и т.д.

2. Установить требования к электронагревательным элементам, которые в электроконтактных установках для сушки зерна целесообразнее всего изготавливать в виде спирали, намотанной по поверхности кожуха, а также к виду и толщине теплоизоляции. К параметрам, характеризующим работу подобного нагревательного устройства, можно отнести теплофизические характеристики теплообмен-

ника, тепловые и электрические характеристики спирали.

3. Определить режимы работы установки при выбранном способе нагрева.

Исследования, проводимые согласно указанным этапам, направлены на подтверждение предположения о том, что контактный электротеплообменник позволит создать любое распределение энергии и температурного поля по объему теплообменника, что даст возможность выбора оптимального режима тепловой обработки зерна на основе технологических требований к процессу сушки.

Библиографический список:

1. Тепловая обработка зерна в установках контактного типа: монография / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сулягин // Ульяновск, ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013, 290 с.
2. Лыков, А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 512 с.
3. Карпенко, Галина Владимировна. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров энергосберегающей установки для сушки зерна: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Г.В. Карпенко. - Пенза, 2005. – 19 с.
4. Тепловая обработка зерна при подготовке комбикорма для поросят / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, С.А. Сулягин // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации и животноводства. – 2012. - № 3. – С. 102-107.
5. Результаты контактной сушки зерна различных культур при тонкослойном перемещении высушиваемого материала / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко, М.А. Карпенко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. - №10 (108). - С.106-110.
6. Курдюмов, В.И. Сравнительная эффективность использования различных способов теплопередачи в минизерносушилках / В.И. Курдюмов, Г.В. Карпенко / Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – Москва, 2004. – С. 199-201.
7. Карпенко, Г.В. Преимущества кондуктивного способа теплопередачи в минизерносушилках / Г.В. Карпенко, М.А. Карпенко // Материалы Международной научно-практической конференции «Использование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях». Т.2. - Волгоград, ИПК «Нива», 2009. – С. 208-211.
8. Обоснование теплофизических параметров установки для сушки зерна контактного типа / Г.В. Карпенко, В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, М.А. Карпенко // Научное обеспечение устойчивого функционирования и развития АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием в рамках XIX Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2009» ч. 1 – Уфа, Башкирский ГАУ, 2009. – С. 84-87.
9. Курдюмов, В.И. Устройство для сушки помета /Курдюмов В.И., Аксенова Н.Н.// Патент на полезную модель RUS 91147 07.10.2009

JUSTIFICATION OF METHODS OF DRYING GRAIN IN MINISYMPOSIA

G. Karpenko, V. Kurdyumov, A. Pavluschin, M. Karpenko

Key words: *heat and mass transfer processes, moisture, heat the hydraulic conductivity, the Biot number, electrosensory.*

Justified methods of drying grain in minisymposia and main stages of the research aimed to confirm the assumption that the contact electrocaloric will allow you to generate any energy distribution and temperature fields by volume of the heat exchanger, which will allow selection of the optimal mode of heat treatment of grain on the basis of the technological requirements for the drying process.