
на входе в сушильную камеру, °C; t_2 - температура зерна на выходе из сушильной камеры, °C; G_z , $G_{тр}$ – масса высушенного зерна и транспортных устройств, кг/ч; $t_{ТР}$, $t_{ТР}''$ - соответственно температура транспортных устройств на входе в зерносушилку и на выходе из неё, °C; Q_k – теплота, поступающая в сушильную камеру от калорифера, кДж/кг; Q_d – теплота, поступающая в сушильную камеру от дополнительных нагревателей, кДж/ч; Q_n – потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч [2].

Данная зависимость описывает внутренний тепловой баланс в сушильной камере и характеризует отклонение реального процесса сушки от теоретического.

Таким образом, теоретически моделируя процессы тепло- и массопереноса, можно достичь на практике оптимальных режимных параметров процесса сушки зерна в разрабатываемых зерносушилках.

Библиографический список:

1. Афанасьева Т.Д. Хранение и сушка зерна / Т.Д. Афанасьева, Н.И. Рыбалка. - Алма-Ата: Казсельхозгиз, 1963. - 263с.
2. Чагин О.В. Оборудование для сушки пищевых продуктов / О.В. Чагин, Н.Р. Кокина, В.В. Пастин: Иван. хим.-технол. ун-т: Иваново, 2007. - 138 с.

УДК 631:333

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ЗЕРНА И ЗЕРНОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В.И. Курдюмов, д. т. н., профессор

А.А. Павлушин, к. т. н.

**ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная
сельскохозяйственная академия»
8(8422)55-23-75, andrejpavlu@yandex.ru**

Ключевые слова: системный анализ, этапы математического моделирования при планировании эксперимента по исследованию процесса сушки зерна, статистические критерии оценки математической модели.

Рассмотрены основы системного анализа при проектировании зерносушильных установок, представлены различные виды моделирования процесса сушки зерна, описаны этапы математического моделирования и их статистическая критериальная оценка.

Разработка и проектирование новых методов и способов реализации процесса сушки зерна заключается в решении комплекса взаимосвязанных задач, к которым относят исследование и учет свойств зерна, выбор способа подвода теплоты

и обоснование (расчет) оптимального режима, расчеты тепло- и массопереноса и тепло- и массообмена, конструктивное оформление сушильных установок с оснащением их контрольно-измерительной аппаратурой и системами автоматического регулирования и управления.

При системном анализе указанные задачи решают с широким использованием моделирования, что дает возможность обосновать не только оптимальные параметры процесса сушки, но и выбрать наиболее целесообразный способ управления этим процессом в производственных условиях [2].

Моделирование представляет собой метод изучения динамических систем и процессов, происходящих в них. Понятие моделирования тесно связано с понятием информации, характеризующей воздействия, получаемые системой и её отдельными элементами, а также изменения, происходящие в системе в результате этих воздействий.

При расчёте и конструировании зерносушильной техники могут быть использовано физическое, информационное и математическое моделирование.

Физическое моделирование осуществляют различными способами. Принципиальной особенностью такого моделирования является полное или частичное сохранение физической природы изучаемого процесса. Физическая модель процесса, системы может быть представлена в виде опытной установки, позволяющей получить идентичную копию реальной динамической системы и процессов, протекающих в ней при сушке зерна. Некоторые элементы системы на установке могут воссоздаваться моделями, обладающими и отличительной физической природой.

Физическое моделирование зерносушильной техники начали применять значительно раньше, чем математическое моделирование. Это можно объяснить тем, что аналитические методы расчёта зерносушилок и процесса сушки зерна очень сложны.

Процесс сушки зерна в установках с контактным способом передачи теплоты, как процесс со сложной физико-химической системой, можно представить в виде функциональной физической модели параметрических зависимостей данного процесса (рис. 1.).

В данном случае на зерно, находящееся в сушильной камере, воздействуют воздушный поток, создаваемый вентилятором, и теплота, передающаяся от нагревательных элементов.

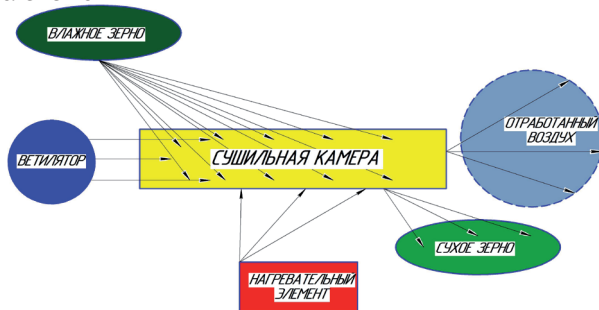


Рис. 1. Функциональная физическая модель устройства контактного типа для сушки зерна

Для изучения технологического процесса сушки зерна в установке контактного типа представим её в виде информационной модели, построенной по типу «вход-выход» (рисунок 2).

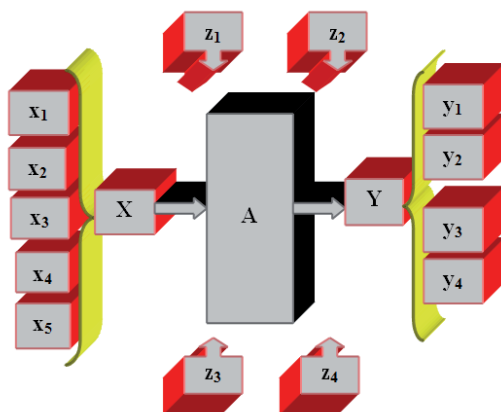


Рис. 2. Информационная модель процесса сушки зерна в установке контактного типа

Процесс сушки зерна - это система мероприятий и средств, направленная на преобразование исходного состояния зерна (массив A) в продукцию различного назначения, продовольственное, фуражное и семенное зерно.

На входе модели действует вектор-функция внешних факторов (возмущений):

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}, \quad (1)$$

где x_1 – исходная влажность зерна; x_2 – исходная температура зерна; x_3 – вид зерновой культуры; x_4 – температура окружающего воздуха; x_5 – влажность окружающего воздуха.

В качестве выходной переменной принимаем вектор-функцию качественных показателей процесса сушки:

$$Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}, \quad (2)$$

где y_1 – конечная влажность зерна; y_2 – температура зерна на выходе из сушильной камеры; y_3 – разовый влагосъём; y_4 – травмируемость зерна.

Управляющими воздействиями в модели являются скорость движения зерна в установке z_1 , средняя температура греющей поверхности z_2 , скорость движения воздуха в сушильной камере z_3 , направление движения воздуха в сушильной камере (противоток, прямоток и т. д.) z_4 .

Основой математического моделирования зерносушилок и процесса зерносушения являются системы уравнений, связывающие выходные переменные с входными воздействиями, иначе говоря, показывающие взаимосвязь параметра оптимизации процесса сушки зерна с независимыми действующими факторами [1].

Этапы математического моделирования при планировании эксперимента можно представить в виде схемы (рисунок 3):

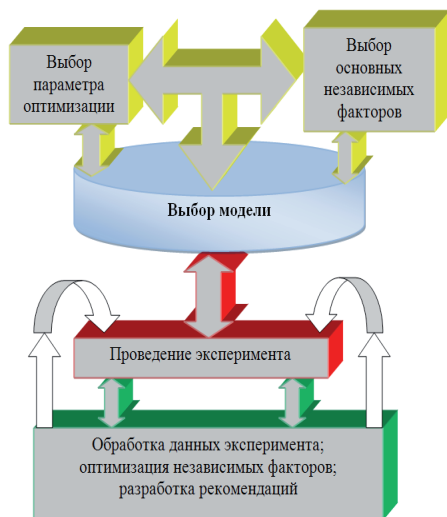


Рис. 3. Этапы математического моделирования при планировании эксперимента по исследованию процесса сушки зерна

Параметры оптимизации, в зависимости от объекта и цели исследования могут быть разнообразными. Для характеристики процесса сушки зерна основными параметрами являются технико-экономические (производительность, срок службы и т. д.) и технологические, определяющие качество готового продукта.

Параметр оптимизации должен быть: эффективным с точки зрения достижения цели, универсальным, статистически значимым, имеющим физический смысл, простым, легко вычисляемым.

Выбранные независимые факторы процесса должны непосредственно воздействовать на объект исследования. Различают количественные и качественные факторы. В совокупности действующие факторы должны обладать совместимостью и отсутствием линейной корреляции.

После выбора параметра оптимизации и действующих факторов переходят к выбору математической модели исследуемого процесса, под которой понимают вид функции отклика. Основное требование к модели - это способность предсказать с требуемой точностью направление дальнейших опытов, т.е. модель должна быть адекватной.

Эксперимент, в котором реализуют все возможные сочетания действующих факторов, называют полным факторным экспериментом. При этом количество опытов превосходит число определяемых коэффициентов линейной модели, то есть данный вид эксперимента обладает избыточностью опытов. Применяя дробные реплики при проведении эксперимента, число опытов можно значительно сократить.

Важным требованием при проведении эксперимента является уменьшение случайных и систематических ошибок опыта. Также особое внимание следует уделять проверке однородности дисперсий, так как это одна из предпосылок, лежащих

в основе регрессионного анализа. Для проверки однородности дисперсий используют критерий Фишера, Кохрена или Бартлетта.

Полученные результаты эксперимента обрабатывают различными статистическими методами – методом наименьших квадратов, регрессионным анализом. Адекватность полученной модели проверяют по критерию Фишера, а значимость коэффициентов полученных регрессий – по критерию Стьюдента.

Методология системного анализа, базирующаяся на комплексном использовании принципов математического моделирования и математической теории больших систем, а также на достижениях современной вычислительной техники, дают возможность перейти от сложной реальной модели сушки как нестационарного и необратимого процесса к его формализованной математической модели.

В данном случае на вход формализованной физико-химической системы поступают потоки сплошной среды, характеризующиеся вектором входных переменных (состав и параметры состояния отдельных фаз, скорость их переноса и т. п.), которые в процессе обработки под действием технологического оператора преобразуются в вектор выходных переменных.

Реальную зависимость заменяют её математической моделью, в которой функциональный оператор отображает зависимость вектора выходных переменных от входных переменных и переменных состояния самого объекта во времени. В явном виде оператор является замкнутой системой аналитического описания процесса в виде дифференциальных, интегральных и дифференциально-интегральных уравнений с соответствующими краевыми условиями и, если необходимо, эмпирическими соотношениями.

Применение методов моделирования даёт возможность ускорить процесс разработки установок для сушки зерна, а также повысить эффективность их функционирования.

Библиографический список:

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: «Металлургия», 1969. – 157 с.
2. Кришер О. Научные основы техники сушки. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. – 213 с.

УДК 631:362.7

К ВОПРОСУ О РАВНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА В УСТАНОВКЕ КОНТАКТНОГО ТИПА

В.И. Курдюмов, д. т. н., профессор

А.А. Павлушин, к. т. н., доцент

С.А. Сутягин, инженер

**ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная
сельскохозяйственная академия»**

тел. 8 908 47 88 926, andrejpavlu@yandex.ru