УДК 631.362

Исследование возможности регулирования и автоматической оптимизации системы управления камерной зерносушилкой

Козлов А.В., Шевченко М.В., Горбунова Л.Н., Дубкова Е.С.

Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

Регулирование скорости теплоносителя при конвективной сушке в неподвижном слое зерна позволяет максимально использовать количество теплотенергии для сушки материала. В работе представлены результаты исследования регулирования скорости теплоносителя на экспериментальной сушильной установке для использования в системе автоматического управления камерной зерносушилкой. В статье рассмотрены также вопросы эффективности энергосбережения в сушильных камерах. Проанализирована возможность автоматического регулирования системы управления основными параметрами с помощью микроконтроллера.

Ключевые слова: РЕЖИМЫ СУШКИ, ЗОНА СУШКИ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, ТЕРМОРЕГУЛЯТОР, ВЕНТИЛЯТОР, ОПТИМИЗАЦИЯ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Введение

В настоящих условиях развития агропромышленного комплекса большой интерес представляют технологии переработки сырья, которые основаны на улучшении качества продукции и снижении ее стоимости.

Самым распространенным сегодня методом сушки зерна является конвективная сушка, преимущество которой заключается в возможности одновременной сушки значительных объемов зерна.

В качестве теплоносителя служит прогретый воздух.

Регулирование подачи теплоносителя при использовании вентиляторов

осуществляется, как правило, за счет установки поворотных заслонок в воздуховодах и неэффективно из-за неравномерных расходных характеристик этих заслонок. С появлением преобразователей частоты, которые позволяют регулировать скорость вращения асинхронных двигателей в широком диапазоне, проблема регулирования скорости теплоносителя в сушилках может быть решена.

Теоретические предпосылки

Проведенные исследования показали, что можно выделить в процессе конвективной сушки камерной зерносушилki напольного типа в неподвижном слое зону, где сушка происходит наиболее интенсивно. Обозначим ее как зону сушки. При этом необходимо учитывать, что зона сушки не имеет четко выраженных границ, так как сушка происходит по всей толщине слоя.

В работах Н.М. Савича [1] по исследованию процесса сушки вороха установлено, что высота и скорость перемещения зоны сушки прямо пропорциональны скорости сушильного агента. В.И. Зеленко на основе экспериментальных исследований [2] указывает, что причина изменения формы кривой сушки вороха в плотном слое с увеличением скорости сушильного агента обусловлена закономерностью перемещения зоны сушки.

Для того, чтобы определить высоту и границу зоны сушки зерна, воспользуемся терминологией, которая была предложена Н.М. Савичем [1]:

- высота зоны сушки, h' ; определим ее как расстояние между ее границами;
- верхняя граница зоны сушки – это нормальная к направлению подачи сушильного агента поверхность, отделяющая часть слоя с влажностью, которая близка начальной (то есть процесс сушки не начался), от зоны сушки с интенсивно изменяющейся влажностью;
- нижняя граница зоны сушки отделяет зону сушки от части слоя зерна, в котором влажность близка к равновесной, то есть можно сказать, что процесс сушки завершен.

С учетом закономерностей образования и перемещения зоны сушки процесс сушки влажных материалов в плотном слое можно представить в виде математической модели. Для определения средней влажности в слое при постоянной скорости сушки $N=const$

$$\overline{w_x} = (w_0 - w_p) \left(\frac{h'}{2H} - \frac{x}{H} - 1 \right) + w_p, \quad (1)$$

где: x – расстояние перемещения зоны сушки, м;

$\bar{w}_x$ – средняя влажность материала, %;

w_0 – влажность материала вне зоны сушки, %;

w_p – равновесная влажность после прохождения зоны сушки, %;

H – высота слоя материала, м.

При переходе от периода постоянной скорости сушки к периоду падающей скорости сушки средняя влажность по высоте слоя будет соответствовать приведенной критической влажности $w_{к.р}$, значение которой можно определить выражением (2), учитывая, что $x = H$:

$$\bar{w}_x = w_{к.р} = (w_0 - w_p) \frac{h'}{2H} + w_p, \quad (2)$$

Для определения положения зоны сушки относительно толщины слоя зерна, H целесообразно рассматривать высоту зоны сушки, h' как проекцию на ось H . Необходимо при этом учитывать, что скорость перемещения зоны сушки является величиной постоянной, а, значит, $V = const$. Выразим теперь расстояние перемещения зоны сушки x и толщины слоя зерна H через скорость перемещения зоны сушки:

$$x = \frac{h'}{2} + V\tau_x, \quad (3)$$

где τ_x – время нахождения зоны сушки на расстоянии x , ч.

При $x = H$

$$H = \frac{h'}{2} + V\tau, \quad (4)$$

где τ – время прохождения зоны сушки слоя зерна толщиной H .

Из выражений (1) и (2) определяем

$$h' = 2x - 2V\tau_x, \quad (5)$$

$$V = \frac{H - x}{\tau - \tau_x}. \quad (6)$$

После подстановки в формулу (2) выражений (3)-(4) получим:

$$\overline{w_x} = (w_0 - w_p)(1 - \frac{\tau_x H + \tau_x x}{H(\tau - \tau_x)}) + w_p \quad (7)$$

Таким образом, полученное выражения (5) дает возможность проследить перемещение зоны сушки влажного материала, что позволит определить оптимальный режим сушки зерна. Оптимальное время сушки зерна, согласно принятой модели, совпадает со временем перемещения зоны сушки и с учетом формул (2)-(4) определяется выражением:

$$\tau_x = \frac{H\tau}{\frac{H+x}{1 - \frac{\overline{w_x} - w_p}{w_0 - w_p}} + H}. \quad (8)$$

Время сушки слоя зерна можно выразить как

$$\tau = \frac{(w_0 - w_p)}{N} + \frac{0,56 \cdot w_0}{N} \cdot \left(1 + 2,3 \cdot \lg \cdot \frac{1,8 \cdot (w_0 - w_p)}{w_0} \right) \quad (9)$$

Из (2) получим время, перемножим с уравнением (9) и определим высоту слоя:

$$H = \frac{N \cdot \tau^2 \cdot V_z}{(w_0 - w_p) + 0,56 \cdot w_0 \cdot (1 + 2,3 \cdot \lg \cdot \frac{1,8 \cdot (w_0 - w_p)}{w_0})} - \frac{h}{2}, \quad (10)$$

Таким образом, исследование образования зоны сушки зерна и установления закономерностей ее перемещения по высоте слоя дает возможность установить особенности процесса сушки влажного зерна, что, несомненно, необходимо учитывать при выборе оптимального режима сушки зерновых культур и инженерных методов расчета сушильных устройств.

Лабораторные исследования

Цели исследований:

- определить зависимости влажности зерна по слоям от времени, исходной влажности семян и скорости воздушного потока, высоты слоя;
- определить экспериментально оптимальную скорость агента сушки в слое для интенсивной сушки;
- определить экспериментально и подтвердить теоретическую зависимость высоты слоя от начальной влажности зерна (формула 10).

Для исследования образования зоны сушки зерна и установления закономерностей

ее перемещения по высоте в лабораторных условиях была изготовлена установка, изображенная ниже (рис. 1, 2).

Рис. 1. Схема лабораторной установки

Примечания: 1 – вентилятор, 2 – электрокалорифер, 3 – воздуховод, 4 – перфорированное дно, 5 – ёмкость для зерна, 6 – датчики температуры.

Рис. 2. Общий вид лабораторной установки

В емкость для сырого зерна 5 засыпаются влажные семена и продуваются воздухом с помощью вентилятора 1. Воздух подогревается в электрокалорифере 2 до заданной температуры, которая регулируется терморегулятором через датчики температуры. Для определения температуры зерна в слое установлены датчики температуры 6. Слой разделен равномерно по 10 см. Температура зерна также определялась с помощью тепловизора марки FLIR E60 при взятии проб по слоям. Для регулирования интенсивности и скорости подачи теплового агента двигатель вентилятора подключается через частотный преобразователь.

По принятой для камерной зерносушилki напольного типа технологии предполагается сушить нижний слой до влажности 12%; при этом верхний слой сушим до влажности 17% [3]. В связи с этим определим верхнюю границу влажностью 17%, а для нижней границы, отделяющей зону сушки от части слоя, где сушка уже закончилась, примем влажность 12%. Результаты исследований представлены на графиках, расположенных ниже (рис. 3-6).

Рис. 3. Перемещение зоны сушки при скорости продувки зерна сушильным агентом 0,09 м/с

Рис. 4. Перемещение зоны сушки при скорости продувки зерна сушильным агентом 0,14 м/с

Рис. 5. Перемещение зоны сушки при скорости продувки зерна сушильным агентом 0,25 м/с

Рис. 6. Перемещение зоны сушки при скорости продувки зерна сушильным агентом 0,31 м/с

На основе серии экспериментальных исследований в общем случае можно сделать следующие выводы:

- высота зоны сушки прямо пропорциональна скорости подачи прогретого воздуха и обратно пропорциональна разности начальной и равновесной влажности семян, при этом не зависит от потенциала сушки;
- скорость перемещения зоны сушки прямо пропорциональна скорости подачи прогретого воздуха и потенциалу сушки и обратно пропорциональна разности начальной и равновесной влажности;
- высота зоны сушки не является постоянной, а имеет тенденцию к увеличению по мере своего перемещения;
- высота зоны сушки прямо пропорциональна скорости продувки зерна;
- высота зоны сушки обратно пропорциональна изменению начальной и конечной влажности зерна.

Анализируя экспериментальные данные по изменению температуры и влажности зерна при сушке в плотном слое зерна, можно заметить наличие участков с наиболее интенсивной сушкой. Можно сказать, что по мере продвижения агента сушки вверх воздух все более насыщается влагой и, достигнув на некоторой высоте относительной влажности,

которая соответствует равновесной влажности зерна, проходит дальше без подсушки. То есть образуется «зона сушки», о которой речь шла выше.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований в полной мере отражают закономерности перемещения зоны сушки по высоте слоя. Скорость перемещения зоны сушки можно определить как тангенс угла между биссектрисой и осью абсцисс. Тогда формула (10) принимает вид:

$$H = \frac{N \cdot \tau^2 \cdot \frac{\Delta h}{\Delta \tau}}{(w_0 - w_p) + 0,56 \cdot w_0 \cdot (1 + 2,3 \cdot \lg \cdot \frac{1,8 \cdot (w_0 - w_p)}{w_0})} - \frac{h}{2} \quad (11)$$

По характеру продвижения зоны сушки и полученной формуле была построена зависимость высоты слоя от влажности исходного материала (рис. 7).

Рис. 7. Зависимость высоты слоя от начальной влажности $H=f(W^\circ)$.

Практическая значимость

В результате проведенных исследований было принято решение о модернизации зерносушилki для обеспечения работы по заданному циклу [3]. Для эффективной работы при сушке семян различной исходной влажности и разных культур в сушильной камере установлены регулируемые щитки, обеспечивающие необходимую равномерную толщину

слоя, которая задается режимом сушки в зависимости от исходной влажности на основании проведенных лабораторных исследований.

Типичная система автоматического управления сушкой зерна в этих сушилках представлена на рис. 8. При этом основной регулируемой величиной является температура, T_1 воздуха на входе в камеру сушки и реализуется с помощью двухпозиционного релейного закона регулирования, то есть при достижении температурой воздуха значения выше установленного режимом сушки теплогенератор выключается, а при снижении температуры снова включается. Датчик температуры зерна используется для предотвращения перегрева зерна: если температура зерна T_2 выше заданного значения, то оператор вручную уменьшает значение температуры на входе. Система управления камерной зерносушилкой выполнена на базе релейной техники.

Рис. 8. Функциональная схема типовой системы управления камерной зерносушилкой

На основании проведенных исследований, представленных выше, была предложена функциональная схема (рис. 9) системы автоматического регулирования. В зависимости от первоначальной влажности устанавливаются щитки на определенной высоте для того, чтобы задать высоту слоя для сушки семян.

Рис. 9. Функциональная схема предложенной системы автоматического управления камерной зерносушилкой

Датчик уровня зерна подает сигнал на контроллер, где, в зависимости от уровня, выбирается скорость вращения электропривода вентилятора и через сигнал на частотный преобразователь реализуется. На электродвигатель вентилятора подаётся напряжение с преобразователя частоты, тем самым позволяя изменять частоту вращения вентилятора, а, следовательно, и его производительность в значительных пределах с минимальными потерями энергии.

В результате проведенной работы теоретически обоснована и практически проверена зависимость высоты слоя от начальной влажности семян для обеспечения рациональной работы зерносушилki.

Внесенные изменения в конструкцию зерносушилki и алгоритм управления позволят обеспечить рациональное использование энергии.

Список использованной литературы

1. Савич Н.М. К вопросу определения оптимальных параметров установок активного вентилирования льновороха // Сб. науч. Трудов ЦНИИМЭСХ. – Минск, 1968. – С. 236-247.
2. Зеленко В.И. Конвективная сушка сельскохозяйственных материалов в плотном слое. Основы теории. – Тверь: Тверское областное книжно-журнальное издательство, 1998. – 96с.
3. Козлов А.В., Хилько В.И. Энергосберегающая технология сушки семян в камерной зерносушилке напольного типа // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015. – №11. – С. 85-89.

Цитирование:

Козлов А.В., Шевченко М.В., Горбунова Л.Н., Дубкова Е.С. Исследование возможности регулирования и автоматической оптимизации системы управления камерной зерносушилki [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_406.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214406>.