

УДК 631:362.7

ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ ЗЕРНА ПРИ КОНТАКТНОЙ СУШКЕ

П.С. Агеев, аспирант;

В.И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор;

С.А. Сутягин, кандидат технических наук, доцент;

Г.В. Карпенко, кандидат технических наук, доцент;

А.А. Павлушин, доктор технических наук, доцент;

Т.Г. Евдокимова, магистрант

89050359200, andrejpravlu@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – докторов наук МД-1673.2018.8

Ключевые слова: *контактный способ передачи теплоты, электронагрев, транспортирующий рабочий орган зерносушилки, энергозатраты, обоснование параметров теплоизоляции.*

В статье обосновано влияние различных параметров сушки на энергетические затраты. Приведена энергетическая модель зерносушилки при контактном способе подвода теплоты. Обоснованы основные параметры нагревательных элементов и тепловой изоляции зерносушилки.

Введение. Любая зерносушильная установка несет затраты энергии на процесс удаления влаги из зерна. В зависимости от типа установки выявляется применяемое оборудование, которое потребляет энергию. В нашей зерносушилке применяется контактный способ. Было выявлено, что основные затраты энергии в устройстве для сушки зерна приходятся на привод транспортирующего рабочего органа (ТРО) и систему нагрева (рисунок 1) [1 - 9].

Материалы и методы исследования. К приводу ТРО относится кривошипно-шатунный механизм, клиноременная передача и электродвигатель, который и является потребителем энергии. Электродвигатель - это электрическая машина, преобразующая электрическую энергию в механическую для приведения в движение различных механизмов.

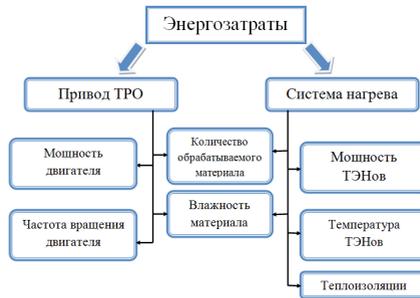


Рисунок 1 - Энергетическая модель контактной зерносушилки

Результаты и их обсуждение. Потребление энергии электродвигателя зависит от его мощности и частоты вращения. Мощность, потребляемая электродвигателем из сети, подсчитывается следующим образом:

$$N_c = \frac{N}{\eta \cos \varphi}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где N - мощность на валу двигателя, кВт; η - КПД, учитывающий потери внутри двигателя, равный для электродвигателей средних мощностей 0,8...0,9; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности (для электродвигателей средних мощностей при нормальной нагрузке $\cos \varphi = 0,8...0,9$).

Частота вращения двигателя определяется по формуле:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}, \text{ об / мин} \quad (2)$$

где ω - угловая частота, рад/с.

Трубчатый электронагреватель (далее ТЭН) - электронагревательный прибор, выполненный в виде трубки, предназначен для преобразования электрической энергии в теплоту [10].

В данной зерносушилке используется два ТЭНа, подсоединенных последовательно. В зависимости от выбранной температуры ТЭНов будет изменяться потребляемая мощность, которую можно рассчитать по формуле:

$$P = \frac{U^2}{R}, \text{ Вт} \quad (3)$$

где U - напряжение, В;

R - общее сопротивление последовательно соединенных ТЭНов, Ом.

Напряжение можно получить из следующего выражения:

$$U = R \cdot I, B \quad (4)$$

где I - сила тока, А

Сопротивление ТЭНов рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{U}{I}, Ом \quad (5)$$

Общее сопротивление равно сумме всех сопротивлений, соединенных последовательно ТЭНов [11]:

$$R = R_1 + R_2, Ом \quad (6)$$

Сила тока определяется по формуле:

$$I = \frac{P}{U}, A \quad (7)$$

Также затраты энергии напрямую зависят от теплоизоляции устройства. Чем эффективнее будет теплоизоляция зерносушилки, тем выше будет температура в рабочей среде. За счет этого уменьшится время сушки зерна, что способствует уменьшению затрат энергии [12].

При выборе изоляционного материала ориентируемся на ряд качеств и свойств. По сравнению со стекловатой минеральная вата обладает достаточно низким коэффициентом теплопроводности, не рассыпается со временем, не создает в воздухе стеклянной пыли, механически прочна и имеет низкую плотность (рисунок 2).

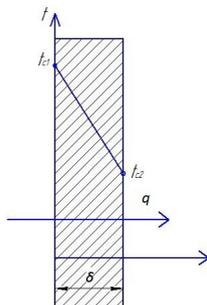


Рисунок 2 - Разность температур внешней и внутренней стенки теплоизоляции: δ - толщина изоляции; t_{c1} - температура внутренней стенки; t_{c2} - температура внешней стенки; q - теплопроводность [13].

Уравнение теплопроводности q имеет следующий вид:

$$q = -\frac{\lambda dt}{dx}. \quad (8)$$

где λ - коэффициент теплопроводности.

Для расчета толщины теплоизоляции можно использовать формулу:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \cdot \left(\frac{t_{c1} - t_{c2}}{q} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_0} \right), \text{ мм} \quad (9)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; t_{c1} - температура внутренней стенки теплоизоляции, °С; t_{c2} - температура внешней стенки теплоизоляции, °С; q - теплопроводность, Вт/м; α_1, α_2 - коэффициент теплоотдачи к внутренней стенке и от внешней, Вт/м²·К.

Коэффициент теплоотдачи к внутренней стенке находится по формуле:

$$\alpha_1 = 3,14 \left(1 + 0,0415 \cdot \frac{t_{c1}}{100} \right), \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (10)$$

Расчет коэффициента теплоотдачи от внешней стенки имеет вид:

$$\alpha_0 = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (11)$$

где Δt - разность температур поверхности изоляции и окружающего воздуха.

Заключение. Таким образом, на энергозатраты оказывают влияние такие факторы, как количество обрабатываемого материала и его влажность. Если количество материала большое или его влажность велика, то время сушки увеличивается, вследствие чего потребление энергии тоже увеличивается.

Библиографический список:

1. Курдюмов, В.И. 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.
2. Пат. 96639 Российская Федерация, МПК F26В 3/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, И.А. Постников; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. - № 2010106454/22; заявл. 24.02.10; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22. (1 стр.).

3. Пат. 167410 Российская Федерация, МПК А23В 9/08. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко; С.А. Сутягин; П.С. Агеев; В.И. Долгов; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – № 2016130462; заявл 25.07. 16; опубл. 10.01.17, Бюл. № 1. (1 стр.).
4. Пат. 2465527 Российская Федерация, МПК F26В 17/04. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА. – Заявка № 2011119459/06 от 13.05.2011; опубл. 27.10.12, Бюл. № 30. (5 стр.).
5. Пат. 2453123 Российская Федерация, МПК А23В 9/08. Устройство для сушки пищевых продуктов / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – Заявка № 2010145902/13 от 10.11.2010; опубл. 20.06.12, Бюл. № 17. (5 стр.).
6. Пат. 96466 Российская Федерация, МПК F26В 11/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – Заявка № 2010105279/22 от 15.02.2010; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22. (1 стр.).
7. Пат. 2436630 Российская Федерация, МПК В02В 1/00. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – Заявка № 2010122224/13 от 31.05.2010; опубл. 20.12.11, Бюл. № 35. (5 стр.).
8. Курдюмов, В.И. Теоретическое обоснование динамики сушки зерна при контактном способе теплоподвода / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. – № 3 (31). - С.125-130.
9. Пат. 90970 Российская Федерация, МПК А23В 9/08. Устройство для сушки зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин; патентообладатель ФГОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – Заявка № 2009137158/22 от 07.10.2009; опубл. 27.01.10, Бюл. № 3. (1 стр.).
10. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М., «Энергия». 1973. 288 с. с илл.
11. Курдюмов, В.И. Теоретические аспекты распределения теплоты в установке контактного типа при сушке зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, С.А. Сутягин // Инновации в сельском хозяйстве. - 2015. – № 2 (12). - С.159-161.
12. Курдюмов, В.И. Теоретические аспекты распределения теплоты в установке контактного типа при сушке зерна / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. – № 3 (31). - С.125-130.
13. Курдюмов, В.И. Обоснование оптимальных режимов работы зерносушилок контактного типа / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, Г.В. Карпенко // Вестник

Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2014. – № 4 (28). - С.160-165/.

JUSTIFICATION THE ENERGY MODEL OF THE PROCESS OF MOISTURE REMOVAL FROM GRAIN IN THE CONTACT DRYER

*Ageev P.S., Kurdyumov V.I., Sutyagin S.A., Karpenko G.V.,
Pavlushin A.A., Evdokimov T.G.*

Keywords: *contact method of heat transfer, electric heating, transporting working body of the dryer, energy consumption, justification of thermal insulation parameters.*

The article substantiates the influence of different drying parameters on energy costs. The energy model of the dryer at the contact method of heat supply is given. The basic parameters of heating elements and thermal insulation of the dryer are substantiated.