

К определению температуры нагрева объекта теплового воздействия в гелиоустановках

To the determination of heating temperature of an object of thermal influence in solar power plants

А. И. КУПРЕЕНКО, д-р техн. наук
 В. Ф. КОМОГОРЦЕВ, канд. физ.-мат. наук
 Х. М. ИСАЕВ, канд. экон. наук
 А. Н. ЧЕНИН, инж.
 Г. В. ШКУРАТОВ, инж.

Брянский государственный аграрный университет,
 с. Кокино, Брянская обл., Россия,
 kupreenkoai@mail.ru

A. I. KUPREENKO, DSc in Engineering
 V. F. KOMOGORTSEV, PhD in Physics and
 Mathematics
 Kh. M. ISAEV, PhD in Economics
 A. N. CHENIN, Engineer
 G. V. SHKURATOV, Engineer

Bryansk State Agrarian University, Kokino, Bryansk
 region, Russia, kupreenkoai@mail.ru

Цель работы заключается в нахождении математической зависимости температуры нагрева объекта теплового воздействия гелиоустановки от времени ее использования в условиях переменных внешних факторов. Объектом теплового воздействия может быть, например, влажное зерно, подвергаемое сушке, приточный воздух в системах естественной вентиляции животноводческих помещений, нагреваемая вода и т. д. Переменные внешние факторы — это метеорологические условия работы гелиоустановки, в частности солнечная активность в течение дня. В качестве объекта исследования принят процесс нагрева зерна в барабанной гелиосушилке. Известно, что нагрев зерна выше определенной температуры приводит к потере его всхожести. Поэтому прогнозирование температуры нагрева зерна имеет большое значение для обеспечения качества выполнения технологического процесса сушки. Время эффективного использования барабанной гелиосушилкой солнечной энергии для процесса нагрева зерна составляет порядка 7 ч в сутки для условий Брянской области. На основании анализа имеющихся экспериментальных данных принято, что имеет место прямо пропорциональная зависимость между температурами сушильного агента (подогретого атмосферного воздуха) и зерна в течение процесса его сушки. Методами разделения переменных и подстановок решено дифференциальное уравнение теплообмена между зерном и сушильным агентом. Получена зависимость температуры нагрева объекта теплового воздействия гелиоустановки от времени ее работы в условиях переменных внешних факторов. Анализ полученной экспоненциальной зависимости показывает, что температура нагрева объекта теплового воздействия определяется в основном его начальной температурой, массой и теплоемкостью, продолжительностью нагрева, коэффициентом теплообмена.

Ключевые слова: уравнение теплообмена; температура нагрева; гелиоустановка; сушка зерна.

The aim of the paper is to find the mathematical dependence of heating temperature of the object of thermal influence of solar power plant on its usage time under conditions of variable external factors. The object of thermal influence can be, for example, the wet grain meant for drying, the fresh air for natural ventilation systems of livestock houses, the water to heat up etc. The variable external factors are the weather conditions needed for right operating of solar power plant, in particular the solar activity throughout the day. The object of this research is the grain heating process in drum solar dryer. It is known that grain heating above a required temperature may reduce its viability. Therefore, in this case, forecasting of temperature for grain heating is of great importance for ensuring the quality of drying as a technological process. The time of effective use of solar energy in the drum solar dryer for grain heating process is about seven hours per day for conditions of the Bryansk region. In the basis of analysis of available experimental data, it is accepted that there is a directly proportional dependence between temperatures of the drying agent (the warmed-up atmospheric air) and grains during drying process. The differential equation of heat-transfer between grain and drying agent is solved using the methods of variable separation and substitutions. The dependence of the temperature of the object of thermal influence of solar power plant on its usage time under conditions of variable external factors is obtained. The analysis of the obtained exponential dependence shows that temperature of the object of thermal influence is generally defined by its reference temperature, weight and a thermal capacity, heating duration, heat-transfer coefficient.

Keywords: heat-transfer equation; heating temperature; solar power plant; grain drying.

Введение

Объектом теплового воздействия в гелиоустановках может быть, например, влажное зерно, подвергаемое сушке, приточный воздух в системах естественной вентиляции животноводческих помещений, нагреваемая вода и т. д. В роли переменных внешних факторов выступают метеорологические условия работы гелиоустановки, в частности солнечная активность в течение дня. У сушилок, работающих на традиционных источниках энергии, характеристики теплоносителя постоянны.

В качестве объекта исследования принят процесс нагрева зерна в барабанной гелиосушилке. Известно, что нагрев зерна выше определенной температуры приводит к потере его всхожести. Поэтому прогнозирование температуры нагрева зерна имеет большое значение для

обеспечения качества выполнения технологического процесса сушки. Методика такого расчета для гелиоустановок отсутствует.

Цель исследования

Цель работы — нахождение математической зависимости температуры нагрева объекта теплового воздействия гелиоустановки от времени ее использования в условиях переменных внешних факторов.

Материалы и методы

Рассмотрим на примере барабанной гелиосушилки нагрев зерна в процессе его сушки [1–3]. Пусть m — масса зерна, кг; C — удельная теплоемкость зерна, Дж/(кг·°C); T_0 — начальная температура зерна, °C;

$T = T(t)$ — температура зерна в момент времени t ; $t \geq 0$. Для зерна влажностью 20 % удельная теплоемкость составляет 2,08 кДж/(кг · °С).

Тогда $Q = CmT(t) = CmT$ — величина аккумулированной зерном теплоты в момент времени t ; $Q_0 = CmT_0$ — в момент времени $t = 0$.

За время dt количество теплоты, аккумулированной зерном, увеличится на величину:

$$dQ = CmdT(t). \quad (1)$$

Это количество теплоты будет передано зерну сушильным агентом в процессе их теплообмена:

$$dQ = k(T_{ca} - T)dt, \quad (2)$$

где T_{ca} — температура сушильного агента, °С; k — коэффициент теплообмена.

Приравняв выражения (1) и (2), получим:

$$CmdT = k(T_{ca} - T)dt, \quad (3)$$

где $t = 0 \dots 7$ ч [4–6].

В гелиосушилках в процессе сушки растет не только температура зерна, но и температура сушильного агента вследствие увеличения солнечной активности в течение дня. Анализ экспериментальных данных [7, 8] показывает, что имеет место прямо пропорциональная зависимость между температурами сушильного агента и зерна:

$$T = aT_{ca}(t) + b;$$

$$T_{ca}(t) = \frac{T-b}{a}. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в (3):

$$CmdT = k\left(\frac{T-b}{a} - T\right) dt. \quad (5)$$

Произведем разделение переменных:

$$\frac{dT}{T-b-aT} = \frac{k}{Cma} dt.$$

Проинтегрируем полученное выражение:

$$\int \frac{dT}{T-b-aT} = \frac{k}{Cma} \int dt;$$

$$\int \frac{dT}{T(1-a)-b} = \frac{k}{Cma} t + A, \quad (6)$$

где A — произвольная константа интегрирования.

Для вычисления интеграла в левой части выражения (6) сделаем подстановку:

$$T(1-a) - b = x,$$

тогда

$$d[T(1-a) - b] = dx;$$

$$dT = \frac{dx}{1-a}. \quad (7)$$

С учетом выражения (7) левая часть равенства (6) после интегрирования примет вид:

$$\int \frac{dT}{T(1-a)-b} = \frac{1}{1-a} \ln|(1-a)T - b|. \quad (8)$$

Заменим левую часть равенства (6) с учетом выражения (8):

$$\frac{1}{1-a} \ln|(1-a)T - b| = \frac{k}{Cma} t + A.$$

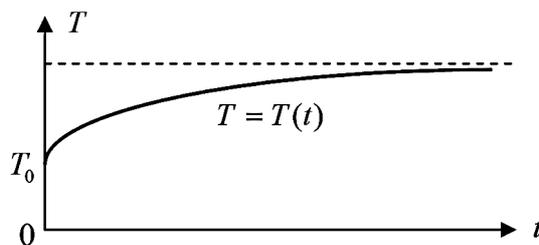


График изменения температуры нагрева объекта теплового воздействия в гелиоустановках

Полученное равенство после преобразований будет иметь вид:

$$(1-a)T - b = \pm e^{(1-a)A} e^{\frac{k(1-a)t}{Cma}}.$$

Учтем, что $\pm e^{(1-a)A} = A$ — неопределенная константа. Тогда получим:

$$(1-a)T - b = Ae^{\frac{k(1-a)t}{Cma}},$$

откуда

$$T = \frac{A}{1-a} e^{\frac{k(1-a)t}{Cma}} + \frac{b}{1-a}. \quad (9)$$

Наконец, учтем, что $\frac{A}{1-a}$ — неопределенная константа, которую снова обозначим буквой A .

Тогда выражение (9) примет вид:

$$T = Ae^{\frac{k(1-a)t}{Cma}} + \frac{b}{1-a}. \quad (10)$$

Учитывая начальное условие $T(0) = T_0$, из выражения (10) получим:

$$A = T_0 - \frac{b}{1-a}.$$

Введем обозначение:

$$\lambda = \frac{k}{Cm}.$$

Тогда равенство (10) примет окончательный вид:

$$T = \left(T_0 - \frac{b}{1-a}\right) e^{\frac{1-a}{a}\lambda t} + \frac{b}{1-a}. \quad (11)$$

Графически поведение функции $T = T(t)$ изображено на рисунке.

Результаты и их обсуждение

Выражение (11) позволяет определить температуру нагрева объекта теплового воздействия в гелиоустановке с учетом внешних факторов окружающей среды и теплотехнических характеристик самого объекта.

Анализ полученной экспоненциальной зависимости показывает, что температура нагрева объекта теплового воздействия определяется в основном его начальной температурой, массой и теплоемкостью, продолжительностью нагрева, коэффициентом теплообмена. При этом возможно решение двух задач:

1) задаваясь предельной температурой нагрева объекта, можно определить максимальную продолжительность его тепловой обработки в заданных условиях;

2) задаваясь максимальным временем тепловой обработки объекта, определить возможную температуру его нагрева.

Заключение

Полученная математическая зависимость удобна для практических расчетов, требует небольшого объема исходной информации справочного и экспериментального характера.

Литература и источники

1. **Купреенко А. И., Байдаков Е. М., Исаев Х. М.** Эффективность использования барабанной гелиосушилки зерна // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012, № 3. С. 33–35.
2. **Купреенко А. И., Байдаков Е. М., Исаев Х. М.** Экономическая эффективность барабанной гелиосушилки зерна // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2012, № 5. С. 41–44.
3. **Купреенко А. И., Байдаков Е. М., Исаев Х. М.** К обоснованию параметров барабанной гелиосушилки зерна // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2012, № 1. С. 48–51.
4. **Байдаков Е. М., Купреенко А. И., Исаев Х. М.** и др. Разработка барабанной гелиосушилки зерна и обоснование ее конструктивно-технологических параметров // Технология колесных и гусеничных машин. 2014, № 6. С. 10–16.
5. **Купреенко А. И., Байдаков Е. М., Исаев Х. М.** и др. Зерносушильный комплекс на основе альтернативного источника энергии // Труды ГОСНИТИ. 2015, т. 120. С. 49–53.
6. **Купреенко А. И., Ченин А. Н.** К обоснованию вместимости водяного аккумулятора теплоты барабанной гелиосушилки // Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА. 2015, № 4. С. 46–48.

7. **Купреенко А. И., Ченин А. Н.** К обоснованию режима работы резервных систем подогрева и вентиляции барабанной гелиосушилки // Тракторы и сельхозмашины. 2015, № 2. С. 30–31.

8. **Ченин А. Н., Купреенко А. И.** Результаты испытания резервных систем подогрева и вентиляции барабанной гелиосушилки // Агротехника и энергообеспечение. 2014, т. 1, № 1. С. 227–230.

References

1. Kupreenko A. I., Baydakov E. M., Isaev Kh. M. Use efficiency of helium drum dryer. *Vestnik FGOU VPO MGAU*, 2012, no. 3, pp. 33–35 (in Russ.).
2. Kupreenko A. I., Baydakov E. M., Isaev Kh. M. Economic efficiency of helium drum dryer. *Vestnik FGOU VPO Bryanskaya GSKhA*, 2012, no. 5, pp. 41–44 (in Russ.).
3. Kupreenko A. I., Baydakov E. M., Isaev Kh. M. Justification of the drum helio grain dryer's parameters. *Vestnik FGOU VPO MGAU*, 2012, no. 1, pp. 48–51 (in Russ.).
4. Baydakov E. M., Kupreenko A. I., Isaev Kh. M., Chenin A. N. The development of a drum solar dry kiln and the grounds of its structural and technological parameters. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*, 2014, no. 6, pp. 10–16 (in Russ.).
5. Kupreenko A. I., Baydakov E. M., Isaev Kh. M., Chenin A. N. Grain drying complex based on alternative energy source. *Trudy GOSNITI*, 2015, vol. 120, pp. 49–53 (in Russ.).
6. Kupreenko A. I., Chenin A. N. Justification of the capacity of water heat battery in drum helio dryer. *Vestnik FGOU VPO Bryanskaya GSKhA*, 2015, no. 4, pp. 46–48 (in Russ.).
7. Kupreenko A. I., Chenin A. N. To the substantiation of operation mode of backup heating and ventilation systems of drum solar dryer. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2015, no. 2, pp. 30–31 (in Russ.).
8. Chenin A. N., Kupreenko A. I. Test results of backup heating and ventilation systems in drum helio dryer. *Agrotekhnika i energo-obespechenie*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 227–230 (in Russ.).