

**Л.О. Онхонова**, д-р техн. наук, проф.

**С.Д. Гомбожапов**, инженер

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

**А.Е. Кузьмин**, д-р техн. наук, проф.

Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, г. Иркутск

УДК 631.358

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУШКИ ЗЕРНА НА ГЕЛИОСУШИЛКЕ**

*В статье рассматривается методика расчета параметров сушки зерна на гелиоустановке, позволяющей, как альтернативному варианту, обеспечивать съём влаги и производить сушку влажного зерна. Ее конструкция защищена патентом.*

**Ключевые слова:** сушка зерна, гелиосушилка, съём влаги, температура, влажность.

**L.O. Onkhonova**, D. Sc. Engineering, Prof.

**S.D. Gombozhapov**, Engineer

**A.E. Kuzmin**, D. Sc. Engineering, Prof.

## **THE CALCULATION OF GRAIN DRYING TECHNIQUE USING SOLAR ENERGY DRYER**

*The article considers the calculating parameters technique of grain drying on the solar-energy drier, the design of which is patented. It allows, as an alternative way, ensuring moisture elimination and drying wet grain.*

**Key words:** grain drying, solar-energy drier, moisture elimination, temperature, humidity.

В статье рассматривается альтернативный способ подсушки влажного свежееубранного зерна энергией солнца. Предлагаются гелиосушилка для подсушки зерна, конструкция которой защищена патентом РФ №108827, и технология, при которой обеспечивается подсушка зерна.

Гелиосушилка включает в себя сушильную камеру, ленточный транспортер, солнечные батареи, нагревательный элемент, электродвигатель, бункеры для подачи и приема зерна, зернопроводы, нории с распределительным коллектором. Подсушка зерна производится в сушильной камере непосредственно на ленточном полотне, обогрев которого происходит от нагревательного элемента, расположенного вдоль его длины. Зерно сушится не только от нагретой поверхности ленточного полотна, но и от лучей солнца, проникающих сквозь прозрачные стенки сушильной камеры. Попадание зерна на ленточное полотно обеспечивает нория с зернопроводом, на конце которого находится распределительный коллектор. Распределительный коллектор представляет собой прямоугольный приемник, в днище которого имеются воронкообразные отверстия, расположенные в шахматном порядке. Отверстия имеют диаметр больше линейного размера зерновки. Зерновки могут свободно проходить и равномерно распределяться тонким слоем на ленточный транспортер, который приводится в движение с помощью электродвигателя. Ширина коллектора не превышает ширины ленты транспортера. Электродвигатель и нагревательный элемент используют электрическую энергию, преобразованную от солнечных лучей панелями солнечных батарей. Высушенное зерно с транспортной ленты попадает в приемный бункер. В зависимости от движения солнца солнечные батареи могут поворачиваться в нужном направлении.

Таким образом, на сушильной установке с использованием солнечной энергии зерно может подсушиваться до определенной температуры. Если возникнет необходимость досушить зерно, то можно будет использовать 2-3-кратный пропуск зерна через гелиосушилку.

В гелиосушилке обеспечивается кондуктивный метод сушки, при котором тепловая энергия зерну передается от нагретого полотна ленточного транспортера. Можно сказать, что обеспечивается и конвективная сушка в связи с прохождением солнечных лучей сквозь прозрачные стенки сушильной камеры, в результате чего происходит нагрев воздуха в камере и обогрев зерен конвекцией. Сочетание конвективно-кондуктивного метода сушки считается наиболее перспективным.

При изучении процесса сушки зерна на гелиосушилке зерновой слой можно рассматривать как сумму элементарных слоев. Под элементарным слоем понимается слой толщиной в одно зерно. В научной практике поддерживать такой слой затруднительно, поэтому исследования обычно проводят со слоем толщиной в 2-3 зерна, моделируя при этом некоторый пограничный слой, непосредственно контактирующий со свежим агентом сушки, поступающим в слой любой толщины. В гелиосушилке допустимы условия, при которых все зерна равномерно нагреваются.

На рисунке представлены совмещенные кривые нагрева и сушки зерна, полученные при различной температуре агента сушки.

В диапазоне температур, достигаемых в гелиосушилке 50-100 °С, сушка протекает с постоянной скоростью влагоотдачи при непрерывно возрастающей температуре зерна. Отмечено, что с повышением температуры нагрева испарение влаги ускоряется. Как следует из графика (см. рис.), уже через 20-60 с температура зерна составляет 35 °С и начинает возрастать. Интенсивность сушки зависит от начальной влажности зерна, с ее повышением скорость сушки увеличивается, а интенсивность нагрева зерна снижается. Такая зависимость скорости влагоотдачи от начальной влажности зерна обусловлена, по мнению ученых-классиков, различием форм связи влаги в зерне.

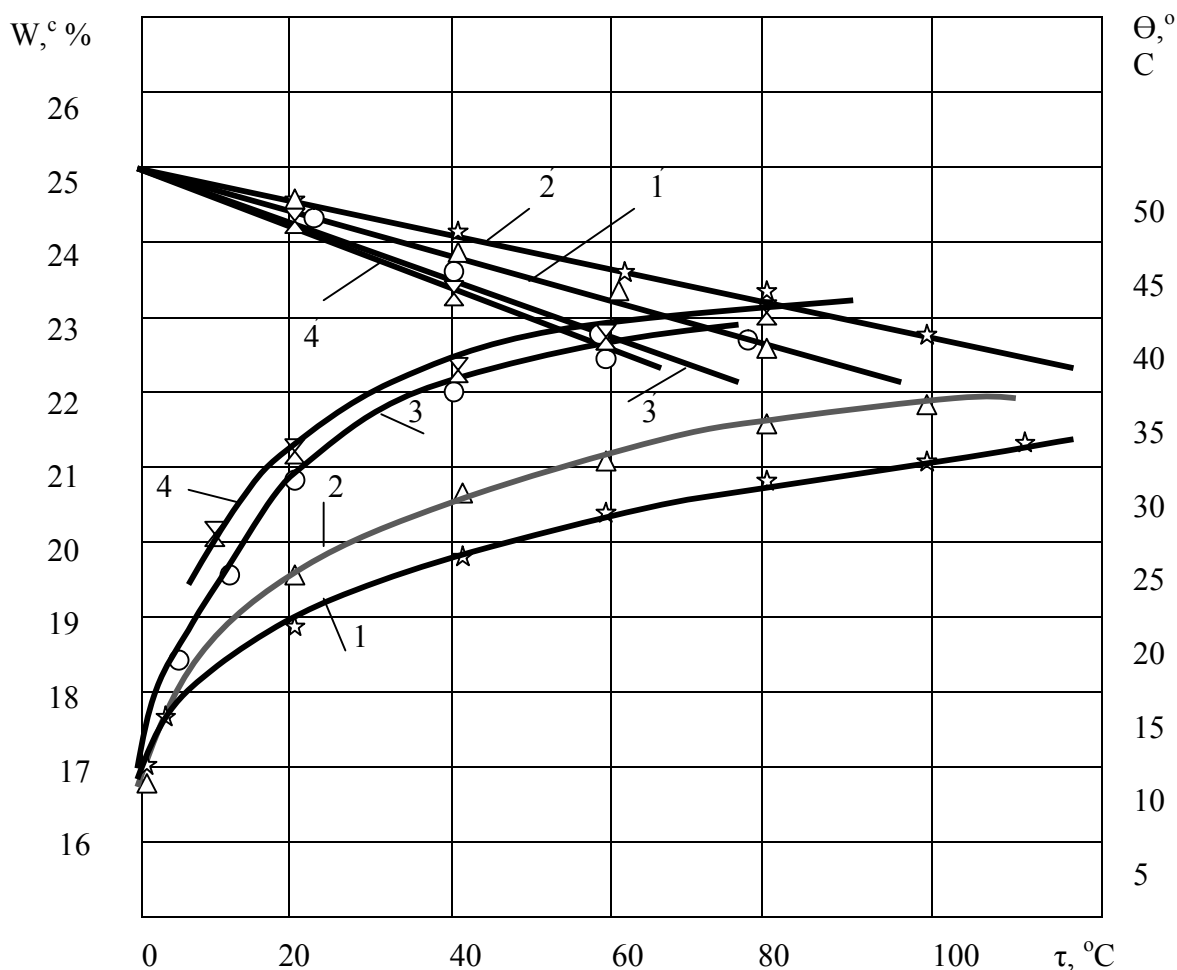


Рис. Кривые нагрева (1-4) и сушки (1'-4') зерна в гелиосушилке

Изучая характер нагрева и сушки зерна в гелиосушилке, можно сделать вывод о том, что определяется предельная толщина слоя, выше которой скорость сушки начинает зависеть от нее. Таким слоем является элементарный, т.е. толщиной в одно зерно. Уже в слое толщиной в 2-3 зерна скорость сушки снижается по сравнению с элементарным, уменьшается также и интенсивность нагрева зерна.

Расчет гелиосушилки, как и любой зерносушилки, начинается с теплового расчета, то есть с определения количества испаренной влаги, расхода теплоты, продолжительности сушки, определения основных размеров сушильной камеры.

*Расчет испаренной влаги.* Согласно закону сохранения вещества, расход сырого зерна равен расходу высушенного зерна плюс испаренная влага, т.е.

$$G_1 = G_2 + W, \quad (1)$$

где  $G_1$  и  $G_2$  – расходы сырого и высушенного зерна, кг/ч;  $W$  – испаренная влага, кг/ч.

Так как зерно состоит из абсолютно сухого вещества  $G_{с.в.}$  и влаги, можно записать:

$$G_1 = G_{с.в.1} + \frac{w_1}{100} G_1;$$

$$G_2 = G_{с.в.2} + \frac{w_2}{100} G_2.$$

Содержание сухого вещества зерна при сушке мало изменяется и может быть принято постоянным, то есть

$$G_{с.в.1} = G_{с.в.2}$$

или

$$G_1 \frac{100 - w_1}{100} = G_2 \frac{100 - w_2}{100} \quad (2)$$

Согласно уравнению (2), можно записать

$$G_2 = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \quad (3)$$

или

$$G_1 = G_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1}. \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (1) значения  $G_2$  и  $G_1$  из уравнений (3) и (4), получим:

$$W = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} = G_2 \frac{100 - w_1}{100 - w_2}. \quad (5)$$

*Расчет теплоты на сушку.*

*Приход теплоты.*

Расчет начнем с составления уравнения теплового баланса. Теплота поступает от нагретого полотна ленточного транспортера  $G_{п.}$ , от теплоты, поступающей в сушильную камеру с зерном  $G_3$ , и от теплоты, поступающей от солнечного излучения  $G_c$ .

Все эти три вида теплоты подразумеваем как общую теплоту  $G_1$ , представленную в левой части уравнения (1). В правой части уравнения под  $G_2$  подразумеваются теплота высушенного зерна и испаренная влажность:

$$G_{п.} + G_3 + G_c = G_{с.з.} + W. \quad (6)$$

Так как любая теплота – это выражение расхода, удельной теплоемкости и температуры, можем записать выражение (6) в следующем виде:

$$(G_{п.} \cdot c_{п.} \cdot \Theta_{п.}) + (G_3 \cdot c_3 \cdot \Theta_3) + (G_c \cdot c_c \cdot \Theta_c) = G_{с.з.} \cdot c_{с.з.} \cdot \Theta_{с.з.} + W \cdot c_{вл.} \cdot \Theta_{с.з.} \quad (7)$$

*Расход теплоты.*

Теплота из сушильной камеры уходит вместе с просушенным зерном и через ограждения стенок –  $Q_{огр.}$ , она определяется выражением  $G_{с.з.} \cdot c_{с.з.} \cdot \Theta_{с.з.}$ .

Потерю теплоты через ограждения сушильной камеры рассчитаем по известным формулам теплопередачи как сумму потерь отдельными участками, то есть

$$Q_{\text{огр}} = \Sigma k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}},$$

где  $k$  – общий коэффициент теплопередачи участка ограждения сушильной камеры;  $F$  – площадь поверхности участка,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta t_{\text{ср}}$  – средняя разность температур для участка,  $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{п}} - t_{\text{в}}$ ;  $t_{\text{ср}}$  – средняя температура на поверхности ленточного полотна,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{в}}$  – температура воздуха в сушильной камере,  $^{\circ}\text{C}$ .

Уравнение теплового баланса сушильной камеры представится в следующем виде:

$$(G_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} \cdot \Theta_{\text{п}}) + (G_{\text{з}} \cdot c_{\text{з}} \cdot \Theta_{\text{з}}) + (G_{\text{с}} \cdot c_{\text{с}} \cdot \Theta_{\text{с}}) = G_{\text{с.з.}} \cdot c_{\text{с.з.}} \cdot \Theta_{\text{с.з.}} + W \cdot c_{\text{вл}} \cdot \Theta_{\text{с.з.}} + k \cdot F \cdot t_{\text{п}} - t_{\text{в}}. \quad (8)$$

В качестве уравнения для определения продолжительности сушки предложено множество вариантов. Для нашего случая при сушке зерна в элементарном слое наиболее подходящим является уравнение, предложенное А.В. Лыковым:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{w_1 - w_{k1}}{N} + \frac{1}{k} \ln \left( \frac{w_{k1} - w_p}{w_2 - w_p} \right),$$

где  $\tau$  – общая продолжительность сушки от влажности  $w_1$  до влажности  $w_2$ ;  $\tau_1$  – время начала сушки;  $\tau_2$  – время конца сушки;  $w_1$  и  $w_{k1}$  – соответственно начальная и конечная влажность зерна или влажность зерна в критической точке процесса;  $w_p$  – равновесная влажность зерна для заданного режима сушки;  $N$  – скорость сушки;  $k$  – коэффициент сушки, определяемый экспериментальным путем ( $k = 0,4 - 1,0$  для толщины зерна 100–250 мм).

Важным показателем при сушке является снижение влажности. Снижение влажности за один цикл сушки зависит от начальной влажности и может быть рассчитано по уравнению [1]

$$\Delta W_{\text{ц}} = A \cdot \ln \left[ \Theta_{\text{н}}^{1,13} \left( \frac{w_1 - w_2}{100} \right)^{0,3} \right],$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от  $w_1$ . Для мягкой пшеницы  $A = 3,4 \cdot 10^{-8}$  [1];  $\Theta_{\text{н}}$  – температура нагрева зерна,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $w_1$  – влажность зерна, поступающего на сушку, %;  $w_2$  – конечная влажность зерна, %.

Основные размеры гелиосушилки, определенные по конструкторским соображениям:

- длина, ширина, высота сушильной камеры 2500x1200x700 мм;
- длина, ширина ленточного полотна 2000x900 мм;
- установленная мощность электродвигателя 0,50 кВт.

#### Библиография

1. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушилки. – М.: Изд-во Колос, 1982. – С. 238; ил.

#### Bibliography

1. Zhidko V.I., Rezchikov V.A., Ukolov V.S. Grain drying and grain dryers. – М.: Kolos Publishing House, 1982. – P. 238; Il.