DOI 10.28983/asj.y2020i9pp74-77 УДК 631.365

ВЕНТИЛИРОВАНИЕ НАСЫПИ НАГРЕТОГО ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

ЗАГОРУЙКО Михаил Геннадьевич, *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ*
ПАВЛОВ Сергей Анатольевич, *Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ*

Рассчитаны массы зерна первой и последующих партий, эквивалентный коэффициент глухого промежутка воздухораспределительной системы, приведены выражения для расчета расхода воздуха для этих партий и экспериментальные данные по изменению влажности и температуры зерна во времени.

Введение. Вентилирование – распространенный способ послеуборочной обработки зерна и широко применяется в том числе для его охлаждения [7, 10]. Вентилирование наружным воздухом нагретого зерна в бункерах или складах является инновационным способом охлаждения. Если в сушилке отказаться от охлаждения зерна, а эту зону использовать в качестве сушильной, то можно до 20 % повысить ее пропускную способность. Поскольку процесс охлаждения в сушилке скоротечен, то влагосъем редко превышает 0,5 %, а при медленном охлаждении наружным воздухом возможен влагосъем до 2,5–3 % [2, 9].

Досушку охлаждением широко используют для зерна кукурузы за рубежом, применяется этот метод в РФ особенно в системе заготовок [3, 4, 5]. Наибольшее применение нашел способ охлаждения зерна в бункерах. Охлаждение на складе менее исследовано, так как при непрерывном поступлении зерна должны быть увязаны вопросы формирования насыпи, отлежки и охлаждения с производительностью сушилки. Кроме того, необходимо иметь в виду, что подсушенное зерно кукурузы имеет малый угол естественного откоса, а часть насыпи с переменной высотой занимает сопоставимую или большую ее часть, что осложняет расчет расхода воздуха.

При вентилировании зерна на складе следует различать вентилирование насыпи из первой партии зерна, которая формируется на воздухораспределительной системе одного вентилятора и последующих партий зерна, формируемых на воздухораспределительной системе нескольких вентиляторов. Очевидно, что массы этих насыпей и кинетика вентилирования будут отличаться.

Охлаждение зерна может быть выполнено как минимум по двум технологиям: с отлежкой и без отлежки. В первом случае поле влагосодержания в зерновке выравнивается, зерно «отпотевает», его поверхностная зона насыщается влагой, которая также в виде свободной влаги может выступать на ее поверхности. Во втором случае поле является невыравненным, влага практически не перемещается из центра зерновки к периферии. Для первого случая имеем двухстадийную технологию сушки, а для второго – охлаждение вне сушилки, причем в первом случае съем влаги в 2–3 раза выше.

Известны работы по охлаждению нагретого зерна в насыпи, но они эмпиричны и относятся к случаю вентилирования при его постоянной высоте, а для переменной высоты, при которой происходит заполнение склада с одновременным вентилированием, – неизвестны [1, 8].

Целью исследования является расчет расхода воздуха и длительности охлаждения при вентилировании насыпи с переменной высотой, хозяйственная проверка.

Методика исследований. Нагретое зерно поступает на склад, формируется насыпь, отлеживается или не отлеживается и вентилируется наружным воздухом, при этом зерно охлаждается с большим или меньшим влагосъемом. Затем вновь повторяется цикл формирования, отлежки и охлаждения насыпи.

Первоначально формируют первую партию зерна, которая граничит с торцевой стенкой склада, затем вторую, третью и т.д. (рис. 1). В общем случае в поперечном сечении эти насыпи характеризуются переменным профилем и состоят из прямоугольной и треугольной частей.

Массу зерна первой партии размещают на воздухораспределительной системе одного вентилятора, что позволяет оперативно отлеживать

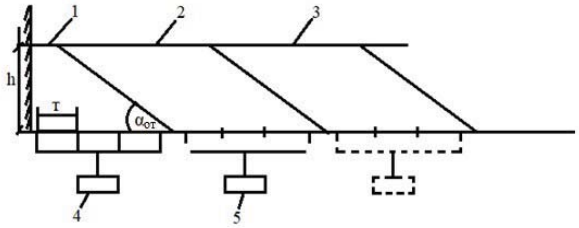

Рис. 1. Технологическая схема охлаждения нагретого зерна на складе: 1, 2, 3 – насыпь; 4 – воздухораспределительная система; 5 – вентилятор

и вентилировть, это сокращает время пребывания зерна в нагретом состоянии, что, несомненно, повышает его качественные показатели и издержки на сушку. Следующие партии в зависимости от количества воздухораспределительных каналов, подключенных к вентилятору, высоты насыпи, могут вентилироваться несколькими вентиляторами.

Расход воздуха на вентилировании первой партии зерна запишем в следующем виде:

$$Q_1 = \frac{G_1 q}{K_V}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где G_1 – масса зерна на воздухораспределительной системе первого вентилятора, т; q – удельная подача воздуха, м³/т·ч; K_V – коэффициент глухого промежутка.

Величина G_1 может быть определена путем определения объема насыпи на воздухораспределительной системе вентилятора, умноженного на длину насыпи (ширину склада) и объемную массу зерна:

$$G_1 = (nT - 0{,}5h\text{ctg}\alpha_{от})\cdot hB\gamma, \text{ т},$$

где n – число воздухораспределительных каналов; T – расстояние между каналами, м; h – высота насыпи, м; $\alpha_{от}$ – угол естественного откоса насыпи, град; B – длина насыпи (ширина склада), м; γ – объемная масса зерна, т/м³.

Значения K_V для насыпи с постоянной величиной h приведены в [6], для насыпи с переменной высотой h можно принять эквивалентное значение $K_э$, учитывающее отношение оснований прямоугольной и треугольной частей насыпи:

$$K_э = K_V\left(\frac{nT - h\text{ctg}\alpha_{от}}{nT} + \frac{h_{ср}\text{ctg}\alpha_{от}}{nT}\right), \quad (2)$$

где $h_{ср}$ – средняя высота насыпи с переменным профилем.

Из рис. 1 нетрудно заметить, что отношение этих оснований для первой и второй партий сопоставимы, что позволяет не вычислять $K_э$ для второй партии.

При выборе величины q необходимо принять во внимание следующее. Если зерно охлаждают для последующей реализации и дополнительный влагосъем не имеет приоритетного значения, то выбирается максимальным, исходя из аэродинамического сопротивления насыпи (обычно 100...150 м³/т·ч). Если зерно остается в хозяйстве на хранение, то выбирается из нормативной величины, зависящей от влажности зерна (обычно 20...30 м³/т·ч).

Вентилирование второй и последующих партий зерна при синхронном перемещении насыпи и мобильных вентиляторов постоянно осуществляется на воздухораспределительной системе двух вентиляторов.

Вентилируемая масса зерна второй партии составит:

$$G_2 = h^2TB\gamma, \text{ т}. \quad (3)$$

Эта масса плюс часть массы из первой партии будут вентилироваться двумя вентиляторами, следовательно, расход воздуха может быть вычислен из выражения

$$Q_2 = \frac{\left(T + \frac{\text{ctg}\alpha_{от}}{2}\right)\cdot h^2 B\gamma q}{2K_э}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4)$$

Длительность охлаждения первой партии зерна можно записать:

$$\tau_1 = \frac{G_1 A}{Q_1}, \text{ ч}, \quad (5)$$

где A – нормативный расход наружного воздуха на охлаждение (A = 1670 м³/т).

Длительность охлаждения второй и последующих партий зерна соответственно:

$$\tau_2 = \frac{G_2 A}{Q_2}, \text{ ч}. \quad (6)$$

Полученные расчетные выражения для длительности охлаждения насыпи были апробированы при хозяйственных испытаниях. Охлаждали зерно кукурузы в насыпи с переменной высотой, причем расстояние между каналами – 2,7 м; высота насыпи – 4 м; угол откоса зерна – 30°.

Охлаждение нагретого зерна кукурузы проводили в ООО «Рейнланд» Орловской области на типовом складе размеров в плане 20×84 м, оснащенным воздухораспределительной системой, включающем заглубленные воздушные каналы, подключенные к мобильным вентиляторам.

Зерно высушивали в сушилке С-40, выгружали в бункер сухого зерна. Из последнего автотранспортом вывозили в склад и погрузчиком формировали насыпь, начиная с торцевой стенки склада. При поступлении зерна на склад замеряли его влажность и температуру. При вентилировании отбирали навески со свободной поверхности насыпи в середине частей с постоянным и переменным сечениями. Определяли влажность и температуру зерна, каждые 10 ч вентилировали, замеряли расход наружного воздуха.

Окончанием вентилирования считали достижением температуры зерна на свободной поверхности в середине откоса температуры на ~ 1°С выше средней температуры наружного воздуха. После окончания вентилирования отбирали навески на определение качественных показателей (изменение содержания крахмала и трещиноватости).

После завершения охлаждения первой партии на ее откос набрасывали зерно из второй

партии и заполняли воздухораспределительную систему второго вентилятора как показано на рис. 1. Цикл «формирование – отлежка – охлаждение» повторяли.

Технические характеристики воздухораспределительной системы склада и насыпи приведены в табл. 1, а основные показатели вентилирования насыпи – в табл. 2. Фон 1 относится к зерну охлажденному после отлежки, фон 2 – без отлежки.

Результаты исследований. Большая длительность охлаждения установлена для первой партии зерна, поскольку она вентилируется одним вентилятором. Длительность охлаждения второй и последующих партий зерна, которые осуществляется двумя вентиляторами, существенно ниже (рис. 2).

Переменный по высоте профиль насыпи обусловливает неравномерное распределение воздуха и первоочередные подсушку и охлаждение зерна в откосе, как в первой, так и во второй партиях. Причем подсушка и охлаждение зерна начинаются с той части насыпи, которая прилегает к полу склада и заканчиваются на свободной поверхности насыпи с постоянной высотой.

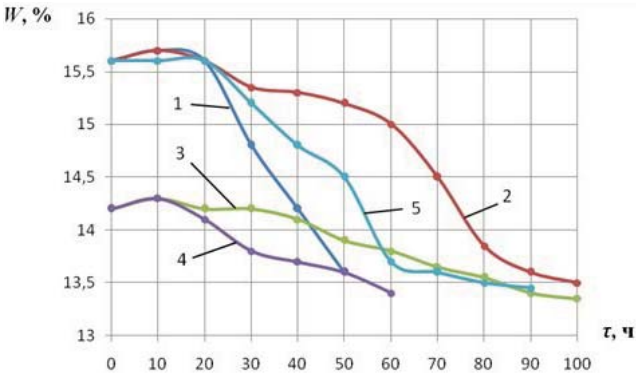

Рис. 2. Кривые охлаждения зерна кукурузы в насыпи с постоянным (1-4) и переменным (5) сечениями: (1, 2, 5) – первый фон; (3, 4) – второй фон; (1- 4) – q = 30 м³/т·ч; (2, 3) – q = 20 м³/т·ч

Целесообразно охлаждать насыпь как первой, так и последующих партий до температуры на свободной поверхности насыпи на 1,5...2°С выше температуры наружного воздуха по двухстадийной технологии, что на 0,1–0,15 % снизит влагосъем, но на четверть сократит длительность охлаждения.

Длительность охлаждения зерна насыпи с переменной высотой составляет ~ 60 % от

Таблица 1

Технические характеристики воздухораспределительной системы склада и насыпи

Показатель	Величина
Длина насыпи, м	20
Высота насыпи, м	4
Расстояние между каналами, м	2,7
Количество каналов, подключенных к вентилятору	4
Живое сечение решетки канала, %	7
Вентиляторы: количество асход каждого, м³/ч мощность, кВт	 2 1200 15
Угол естественного откоса насыпи, град.	30
Объемная масса зерна, т/м³	0,7

Таблица 2

Основные показатели вентилирования насыпи

Показатель	Величина	
	первый фон	второй фон
Влажность зерна, %: до охлаждения после охлаждения	 15,6 13,5	 14,2 13,5
Температура зерна, °С: до охлаждения после охлаждения	 50 12,5	 51 13
Средняя температура воздуха, °С	12	12
Масса насыпи, т: первой партии второй партии	 450 600	 445 620
Длительность формирования насыпи, ч	2	2
Длительность отлежки, ч	10	–
Удельная подача воздуха, м³/т·ч: для первой партии для второй партии	 26 30	 25,5 31
Длительность охлаждения, ч: первой партии второй партии	 98 56	 100 60
Коэффициент глухого промежутка	0,65	0,65

длительности насыпи с постоянной высотой. Это объясняется тем, что в этих частях насыпи размещено примерно равные массы зерна на величину K_V в переменной части в 1,2 раза меньше.

Заключение. Расход воздуха на вентилирование насыпи с переменной высотой равен произведению вентилируемой массы зерна на удельный расход воздуха не ниже нормативной и частное на эквивалентный коэффициент глухого промежутка.

Длительность охлаждения зерна равна произведению массы зерна на нормативную подачу воздуха для охлаждения (1600 м^3/т) и разделение на расход воздуха.

Удельный расход воздуха на вентилирование второй и последующих партий в ~ 1,2 раза выше, чем первой.

Охлаждение насыпи зерна кукурузы с температурой ~ 50°С с переменной высотой при удельной подаче воздуха ~ 30 м^3/т·ч завершается через ~ 100 ч с влагосъемом 2 % при отлежке в течение 10 ч и 0,7 % без отлежки.

При досушке зерна с удельным расходом воздуха в 30 м^3/т·ч в насыпи высотой 4 м, углом откоса 30°, эквивалентным коэффициентом глухого промежутка $K_э$ = 0,6, влагосъем составил ~ 2 % при охлаждении – 0,7 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зимин Е.М.* Комплексы для очистки, сушки и хранения семян в Нечерноземной зоне. – М.: Россельхозиздат, 1978. – 159 с.

2. *Мельник Б.Е., Малинин Н.И.* Справочник по сушке и активному вентилированию зерна. – М.: Колос, 1980. – 175 с.

3. *Окунь Г.С., Чижиков А.Г.* Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1987. – С. 41–42.

4. Послеуборочная обработка семян зерновых культур: рекомендации. – М.: Агропромиздат, 1986. – 35 с.

5. *Сорочинский В.Ф.* Эффективный способ двухстадийной сушки зерна // Комбикормовая промышленность. – 1996. – № 4. – С. 17–18.

6. *Теленгатор М.А., Уколов В.С., Кузьмин И.И.* Обработка и хранение зерна. – М.: Колос, 1980. – С. 98–103.

7. *Чеботарев В.П.* Низкотемпературная сушка и режимное хранение зерна. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2011. – С. 118–128.

8. Шаршунов В.А., Рукшан Л.В. Сушка и хранение зерна. – Минск: Мисанта, 2010. – С. 506–508.

9. *Bakker-Arkema F.W.* Selected aspects of crop processing and storage. A Review // Journal of Agricultural Engineering Research. 1984. Vol. 30. No. 1. P. 1–22.

10. *Keiser H.V.* Planung und Bau von Getreideanlagen / H.V. Keiser. Rendsburg, RKL-Broschure, 2005. P. 1182.

Загоруйко Михаил Геннадьевич, *канд. техн. наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Россия.*

Павлов Сергей Анатольевич, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Россия.*

109428, г. Москва, 1-й институтский проезд, 5.

Тел.: (499) 171-43-49, e-mail: sapavlov777@mail.ru.

Ключевые слова: *зерно; сушка; охлаждение; отлежка; склад.*

FILL VENTILATION OF HEATED CORN GRAIN

Zagoruyko Mikhail Gennadievich, *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia.*

Pavlov Sergey Anatolyevich, *Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia.*

Keywords: *grain; drying; cooling; baking; warehouse.*

The grain masses of the first and subsequent batches, the equivalent coefficient of the dead gap of the air distribution system are calculated, the expressions for calculating the air flow for these batches and the experimental data on the change in moisture and temperature of the grain over time are given.