

УДК 631.363:636.086.5

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕЙЕРНОЙ СУШИЛКИ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА

Вендин С.В. д.т.н., профессор, Саенко Ю.В. д.т.н., доцент
(ФГБОУ ВО «Белгородский ГАУ имени В.Я. Горина», п. Майский, Россия)

Приведен расчет конструктивно-технологических параметров конвейерной сушилки пророщенного зерна. На основе материального и теплового баланса выявлена взаимосвязь теплоты необходимой для сушки пророщенного зерна с начальной и конечной влажностью продукта.

Эффективное промышленное выращивание свиней невозможно без обеспечения их полноценными обогащенными витаминами кормами. В настоящее время производством витаминной травяной муки хозяйства практически не занимаются из-за высокой стоимости энергоресурсов [1].

Одним из простых и доступных способов повышения витаминной полноценности кормов может быть добавление в рацион животным пророщенного зерна ячменя [1, 2].

По данным многих ученых при проращивании в зерне увеличивается содержание макро и микроэлементов, каротина, витаминов А, С, Е [1, 2].

При использовании пророщенного зерна повышается поедаемость кормов и увеличивается усвояемость питательных веществ, т.к. в процессе проращивания зерна активизируются ферменты, которые превращают сложные питательные вещества в простые соединения, легко усвояемые в организме молодняка.

При длительном хранении (более 4-5 часов) пророщенного зерна влажностью 56-60% оно начинает покрываться плесенью и гнить. Поэтому его необходимо скармливать в первые часы после проращивания. Для продления срока хранения пророщенного зерна, его необходимо высушить до влажности 14 % [3, 4].

Разработана технологическая линия для проращивания и введения в комбикорм пророщенного зерна [5]. В этой технологической линии предлагается проводить сушку пророщенного зерна отработанными газами котельной установки с последующим хранением готового продукта [1, 6, 7].

Используемая в линии конвейерная сушилка выполнена в виде пяти ленточных транспортеров установленных один под другим, причем транспортеры, которые расположены рядом, установлены со смещением относительно друг друга (рисунок 1) [7].

Работает сушилка следующим образом. Из бункера 1 подают пророщенное зерно на ленту 3 затем включают привод ленты и одновременно шнек 2. Таким образом пророщенное зерно равномерно распределяют по длине

и ширине ленты. Затем в сушилку подают отработанные газы, которые нагревают продукт и поглощают влагу с пророщенного зерна, находящегося в верхних слоях, и уносят ее в атмосферу. После некоторой выдержки продукта

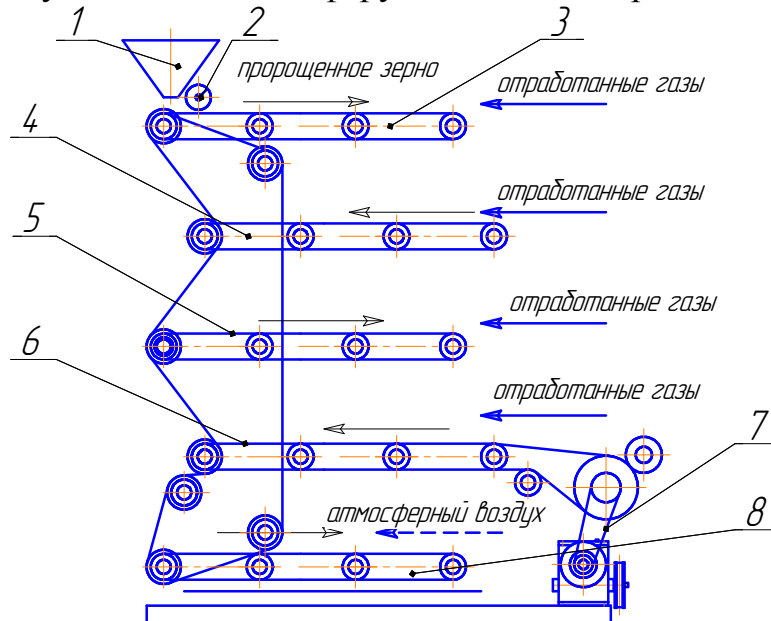


Рисунок 1 - Схема конвейерной сушилки: 1 - бункер загрузочный; 2 - шнек распределительный; 3, 4, 5, 6 - транспортер сушилки; 7 - привод; 8 - транспортер охлаждения;

на транспортере 3 включают привод и перекатовывают пророщенное зерно на транспортер 4. При этом пророщенное зерно лежавшее в нижних слоях оказывается в верхних слоях и влага удаляется со слоев зерна оказавшихся вверху. В этом случае происходит ворошение пророщенного зерна. По мере движения продукта с верхних транспортеров на нижние влажность пророщенного зерна снижается, а температура возрастает. Для охлаждения высушенного продукта на нижний транспортер подают атмосферный воздух.

Для расчета конструктивных и технологических параметров предлагаемой сушилки наиболее близкой является методика расчета ленточной сушилки с учетом материального и теплового балансов [8].

Производительность сушилки по исходному материалу определяется по формуле (кг/ч):

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

где G_2 - производительность сушилки по высушенному материалу, кг/ч;

W - количество влаги, удаляемой из сушильной камеры, кг/ч;

Для расчета теплоносителя необходимо знать количество влаги, удаляемой из сушильной камеры в единицу времени W , кг/ч.

$$W = G_1 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1}, \quad (2)$$

где G_1 - масса сырого зерна, подаваемого в сушилку в единицу времени, кг/ч;

$W_{1,2}$ - соответственно начальная и конечная влажность пророщенного зерна (до и после процесса сушки), %;

Площадь сушильных лент конвейерной сушилки определяется по формуле:

$$F = \frac{W}{m}, \quad (3)$$

где m - интенсивность испарения влаги с поверхности материала, кг/(м² ч);

С учетом влияния начальной и конечной влажности и массы сырого зерна, подаваемого в сушилку в единицу времени, площадь сушильных лент равна:

$$F = \frac{G_1}{m} \frac{W_1 - W_2}{100 - W_1}, \quad (4)$$

При определении конструктивных размеров ленты сушилки ширину ленты следует полагать величиной постоянной ($b = \text{const}$).

Тогда общая длина ленты [9] сушилки может определена из уравнения:

$$l = F / b, \quad (5)$$

где F - площадь сушильных лент, м²; b - ширина ленты, м;

Число лент сушилки находится из выражения:

$$z = l / l', \quad (6)$$

где l' - длина одной секции сушилки, м; (определяется исходя из длины помещения в котором располагается сушилка);

Общее время сушки определяется выражением:

$$\tau = \frac{Q}{G_1}, \quad (7)$$

где Q - масса сырого продукта, кг;

Расход природного газа на подогрев воздуха можно определить из теплового баланса сушильной камеры.

Теловой баланс сушильной камеры будет равен:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{расх}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{пост}}$ - количество теплоты поступившей в сушильную камеру, кДж/ч;

$Q_{\text{расх}}$ - количество теплоты ушедшей из сушильной камеры, кДж/ч;

Количество теплоты поступившей в сушильную камеру запишем в виде:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{нв}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{п}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{нв}}$ - теплота поступающая с наружным воздухом, кДж/ч; $Q_{\text{в}}$ - теплота затраченная на нагрев воздуха, кДж/ч; $Q_{\text{п}}$ - теплота затраченная на нагрев продукта, кДж/ч.

Количество теплоты ушедшей из сушильной камеры [10] определяется выражением:

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{вп}} + Q_{\text{от аг}} + Q_{\text{п}}, \quad (10)$$

где $Q_{\text{исп}}$ - теплота затраченная на испарение воды, кДж/ч; $Q_{\text{вп}}$ - теплота удаленная из сушильной камеры с высушенным продуктом, кДж/ч; $Q_{\text{от аг}}$ -

теплота удаленная с отработанным агентом сушки, кДж/ч; Q_{Π} - потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч.

Теплоту, поступающую с наружным воздухом, определим по формуле:

$$Q_{\text{НВ}} = LJ_0, \quad (11)$$

где J_0 - энтальпия наружного воздуха, кДж/кг; L - расход сухого воздуха (агента сушки), кг/ч;

Теплоту, затраченную на нагрев воздуха, определим по формуле:

$$Q_{\text{В}} = Q_{\text{Н}}^p B, \quad (12)$$

где $Q_{\text{Н}}^p$ - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; B - расход топлива на нагрев, кг/ч;

Теплоту, затраченную на нагрев продукта, определим по формуле:

$$Q_{\Pi} = G_1 c_1 \theta_1, \quad (13)$$

где c_1 - удельная теплоемкость сырого пророщенного зерна, кДж/(кг·К); θ_1 - температура сырого пророщенного зерна, °К.

Теплоту, затраченную на испарение воды, определим по формуле:

$$Q_{\text{Исп}} = 4,19W(595 + 0,49t_2 - \theta_1), \quad (14)$$

где t_2 - температура отходящего пара, °К;

Теплоту, удаленную из сушильной камеры с высушенным продуктом, определим по формуле:

$$Q_{\text{В } \Pi} = (G_1 - W)c_2 \theta_2, \quad (15)$$

c_2 - удельная теплоемкость просушенного пророщенного зерна, кДж/(кг·К); θ_2 - температура высушенного пророщенного зерна, °К;

Теплоту, удаленную из топки с отработанным агентом сушки, определим по формуле:

$$Q_{\text{От аг}} = LJ_2, \quad (16)$$

где J_2 - энтальпия отработанного агента сушки, кДж/кг;

Потери теплоты из сушильной камеры в окружающую среду определим по формуле:

$$Q_{\Pi \text{ C}} = 0,15Q_{\text{Исп}}, \quad (17)$$

С учетом уравнений (11-17) и уравнения (8) и получаем выражение для определения расхода топлива на сушку:

$$B = \frac{1}{Q_{\text{Н.Р.}}} \{L(J_2 - J_0) + G_1[4,82\beta(595 + 0,49t_2 - \theta_1) + c_2\theta_2(1 - \beta) - c_1\theta_1]\}, \quad (18)$$

где β - коэффициент учитывающий влажность материала, $\beta = \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2}$, %;

Удельные затраты условного топлива [кг/т] на тонну сырого пророщенного зерна определим по формуле:

$$b_y = \frac{B}{G_1}, \quad (19)$$

С учетом параметров сушки и теплофизических свойств продукта по выражениям (18) и (19) произведены расчеты по влиянию исходной и конечной

влажности продукта на расход и удельные затраты условного топлива на сушку. При этом в расчетах принимались следующие значения: $Q_{H.}^P$ - низшая рабочая теплота сгорания топлива (природного газа), 42167,3 кДж/кг; L - расход сухого воздуха (агента сушки), 64975 кг/ч; J_2 - энтальпия отработанного агента сушки 78 кДж/кг; J_0 - энтальпия наружного воздуха, 61,27 кДж/кг; G_1 - масса сырого зерна, подаваемого в сушилку в единицу времени, 1000 кг/ч; t_2 - температура отходящего пара, 343 °K; $c_{вл}$ - удельная влагоемкость воды, 4,2 кДж/(кг·K); W_1 - начальная влажность пророщенного зерна, 56%; W_2 - конечная влажность пророщенного зерна, 12-30%; c_1 - удельная теплоемкость сырого пророщенного зерна, 2,88 кДж/(кг·K); c_2 - удельная теплоемкость высушенного пророщенного зерна, 1,55 кДж/(кг·K); θ_1 - температура сырого пророщенного зерна, 278 °K; θ_2 - температура высушенного пророщенного зерна, 318°K;

В таблице 1 представлены результаты расчета удельного расхода топлива в зависимости от конечной влажности пророщенного зерна, при исходной влажности $W_1=56\%$.

Таблица 1 - Зависимость удельного расхода топлива от конечной влажности пророщенного зерна

W_2	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
b_v	39,66	39,33	39,00	38,64	38,27	37,88	37,47	37,03	36,57	36,09

На рисунке 2 представлена зависимость удельного расхода топлива в зависимости от конечной влажности пророщенного зерна построенная по значениям таблицы 1.

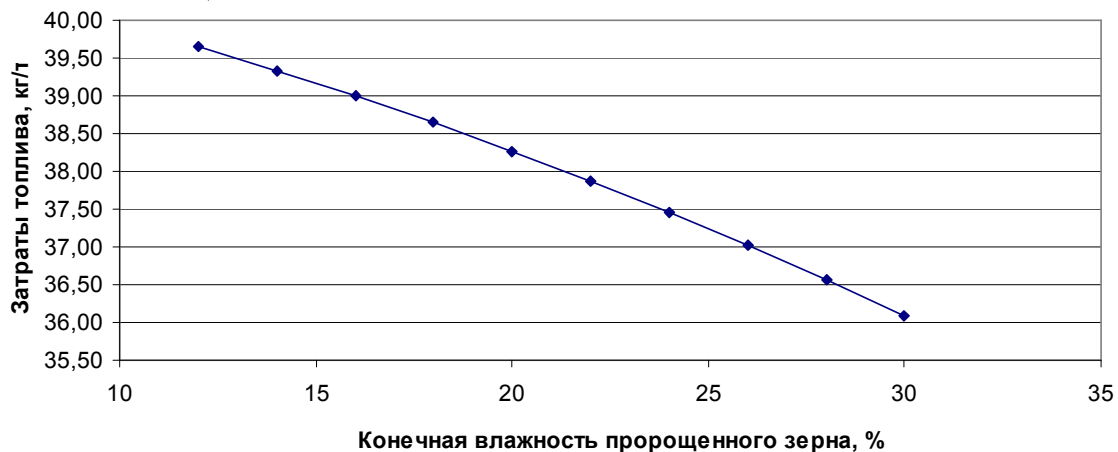


Рисунок 2 - Зависимость удельного расхода топлива от конечной влажности пророщенного зерна

Анализ показывает, что при снижении конечной влажности высушенного продукта с 30 до 12% удельные затраты топлива возрастают с 36,09 до 39,66 кг/т - практически на 9%. Следовательно при определении конечной влажности продукта после сушки необходимо учитывать срок хранения и сравнить возможные убытки при хранении с затратами на сушку.

Выводы

На основе материального и теплового баланса выявлена взаимосвязь между количеством теплоты необходимой для сушки пророщенного зерна и изменением влажности продукта. Это позволило установить влияние влажности на общий и удельный расход топлива. Расчеты показывают, что при сушке пророщенного зерна с начальной влажностью 56% до конечной 30-12% удельные затраты газового топлива составят 36,09 - 39,66 кг/т, а при сушке до рекомендованной влажности 14% они составят 39,33 кг/т.

Предложенная методика может быть использована при расчете конструктивно-технологических параметров конвейерных сушилок для сушки влажного материала на ленте.

Список литературы

1. Булавин С.А. Скармливание пророщенного зерна свиньям в промышленных условиях / С.А. Булавин, Ю.В. Саенко// Кормопроизводство № 8. 2014 г. С. 37-40.

2. Походня Г.С. Свиноводство и технология производства свинины: Сборник трудов научной школы профессора Г.С. Походни (Специальный выпуск №2: Использование пророщенного зерна в рационах свиней) Под общей редакцией Г.С. Походни. - Белгород: издательство БелГСХА, 2009. - 68 с.

3. Булавин С.А. Определение оптимальных параметров и режимов сушки пророщенного зерна на витаминный корм свиньям/ С.А. Булавин, Ю.В. Саенко, А.Ю. Носуленко// Вестник НГАУ №2 (31)/2014 с. 138-140.

4. Булавин С.А. Технология проращивания и добавления пророщенного зерна в корм животным/ С.А. Булавин, Ю.В. Саенко// Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5-3. С. 210-213.

5. RU 2493697 C1 A01K 5/02 (2006.01) Технологическая линия для подготовки к скармливанию пророщенного зерна/ Булавин С.А., Саенко Ю.В., Носуленко А.Ю., Немыкин В.А. – 2012102292; заявлено 23.01.2012; опубликовано 27.09.2013 бюл. №27.

6. RU 2479809 C1 F26B17/04 (2006.01) Технологическая линия для проращивания зерна, его обработки и подготовки к скармливанию / Булавин С.А., Саенко Ю.В., Носуленко А.Ю. Заявка № 2011145636 заявлено от 09.11.2011; Опубл. 20.04.2013.

7. RU 2529704 A B02B 5/00 (2006.01) Конвейерная установка для сушки пророщенного зерна/ Булавин С.А., Саенко Ю.В., Носуленко А.Ю., Саенко В.Н. Заявка №2013100548 заявлено от 09.01.2013. Опубл. от 20.07.2014 Бюл. № 20.

8. Сажин Б.С. Основы техники сушки/ Б.С. Сажин., М.: Химия, 1984. - 320 с.

9. Лыков А.В. Тепломассообмен: 2-е изд., перераб. и доп/ А.В. Лыков. — М.: Энергия, 1978. — 480 с.

10. Рудобашта С.П. Теплотехника/ С.П. Рудобашта — М: КолосС, 2010. — 599 с.

Abstract

Dimensioning conveyor dryers sprouted grains

S. Vendin, Y. Sayenko

The calculation of structural and technological parameters of the conveyor dryers sprouted grains. On the basis of the material and heat balance of the relationship is revealed heat required to dry sprouted grains with initial and final moisture content of the product.

Анотація

Розрахунок параметрів конвеєрної сушарки пророщеного зерна

Вендин С.В., Саєнко Ю.В.

Наведено розрахунок конструктивно-технологічних параметрів конвеєрної сушарки пророщеного зерна. На основі матеріального і теплового балансу виявлено взаємозв'язок теплоти необхідної для сушіння пророщеного зерна з початковою і кінцевою вологістю продукту.