

перелопачивания необходимо устанавливать не менее двух компенсирующих емкостей указанного суммарного объема.

28.06.2016

Литература

1. Чеботарев, В.П. Сушка зерна. Теория, расчет, эксперимент / В.П. Чеботарев, И.В. Чеботарев. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – 520 с.
2. Ловкис, В.Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В.Б. Ловкис, В.А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 13–19.
3. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов [и др.]. – М.: Де Ли принт, 2010. – 696 с.
4. Краусп, В.Р. Метод определения оптимальных параметров послеуборочной обработки зерна / В.Р. Краусп // Доклады ВАСХНИЛ. – 1970. – № 2. – С. 49–52.

УДК 631.365

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В. Чумаков, Д.В. Заяц**
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*
В.Б. Ловкис, А.В. Новиков, Д.А. Жданко
*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ОБОСНОВАНИЕ
КОМПЕНСИРУЮЩЕГО
РЕЖИМА РАБОТЫ
ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ**

Введение

Сушка является одной из самых энергоемких операций в технологических процессах производства зерна (35...50 % от всех затрат энергии). Имеющийся в республике парк зерносушилок рассчитан на применение жидкого топлива или природного газа, а также местных видов топлива [1–4]. Именно благодаря возможности тонкого оперативного управления извлечением и подачей тепла на сушку, эти традиционные виды топлива на сегодняшний день доминируют в мире при проведении сушки зерна [5–11]. Они незаменимы при сушке семян. Между тем складывающаяся в мире ситуация с энергопотреблением все больше требует использования возобновляемых источников тепла, которыми, в частности, являются дрова, солома, торф – наиболее распространенный и доступный энергоресурс Беларуси [10]. Поэтому в Республике Беларусь будут востребованы зерносушилки, работающие как на традиционном топливе (нефтяного происхождения, газе), так и на твердом местном – дровах, соломе, торфе, торфобрикетах [1, 10]. Это означает, что сельскохозяйственное производство должно оснащаться воздухонагревателями широкого типоразмерного ряда, работающими на различных видах топлива.

Основная часть

Опыт использования и научные исследования показывают, что для целей сушения зерна в сельском хозяйстве лучше всего подходят воздухонагреватели с теплообменниками, простыми конструктивно и лучше других использующими тепловой потенциал сжигаемого топлива [12, 13]. Помимо экономичности, такие воздухонагреватели должны соответствовать важнейшему требованию – обеспечивать поддержание стабильной (на заданном уровне) температуры агента сушки. Если в воздухонагревателях, работающих на традиционных углеводородных видах топлива, проблем не возникает, то при сжигании твердого топлива (дров, торфа, соломы)

нестабильность температуры – главная из проблем. Устранить ее пытаются разными способами. Для этого воздухонагреватели, например, делают больших объемов, чтобы одновременно закладывать больше дров. Существует способ применения нескольких топок (или разделения большой топки на несколько секций) с автоматическим последовательным сдвигом фаз интенсивного горения в каждой из них. Возможен способ с одновременным сжиганием в одной топке твердого и жидкого топлива. Основным условием эффективного теплообмена в воздухонагревателе является обеспечение точного соответствия преобразуемых и передаваемых подогреваемому наружному воздуху объемов тепла от горючих газов, образующихся в топке [14]. При этом важно выполнить это условие при колебаниях в процессе работы воздухонагревателя величин температур и подач горючих топочных газов и наружного воздуха для нагрева, то есть компенсировать возникающие отклонения [15, 16]. Как известно, количество тепла, передающегося от горючих газов нагреваемому воздуху через теплообменную поверхность воздухонагревателя, будет равно:

$$Q_{\text{Тп}} = \lambda F_{\lambda} (T_{01} - T_{K1}) q_{\text{ГГ}}, \quad (1)$$

где λ – теплопроводность материала теплообменника, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

F_{λ} – теплообменная поверхность воздухонагревателя, м^2 ;

T_{01} , T_{K1} – начальная и конечная температура горючих газов, перемещаемых из топки к дымовой трубе, К ;

$q_{\text{ГГ}}$ – удельная объемная подача горючих газов, $\text{м}^3/\text{с}$.

Количество тепла, получаемого агентом сушки, определится по следующей зависимости:

$$Q_{\text{ас}} = \alpha F_{\lambda} (T_{K2} - T_{02}) q_{\text{ас}}, \quad (2)$$

где α – коэффициент теплообмена, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$;

T_{02} , T_{K2} – начальная и конечная температура подогреваемого воздуха, К ;

$q_{\text{ас}}$ – удельная объемная подача подогреваемого воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

После приравнивания правых частей уравнений (1) и (2) и необходимых преобразований определяется зависимость для расчета в воздухонагревателе оптимальных значений температур и подач горючих газов и подогреваемого воздуха, а также для установления необходимых компенсаций температуры и подачи:

$$\frac{\lambda(T_{01} - T_{K1})}{\alpha(T_{K2} - T_{02})} = \frac{q_{\text{ас}}}{q_{\text{ГГ}}}. \quad (3)$$

При известных средних площадях поперечного сечения воздухопроводов для горючих газов и нагреваемого воздуха выражение (3) примет вид:

$$\frac{\lambda(T_{01} - T_{K1})}{\alpha(T_{K2} - T_{02})} = \frac{v_{\text{ас}} F_{\text{ср ас}}}{v_{\text{ГГ}} F_{\text{ср ГГ}}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{ср ас}}$, $F_{\text{ср ГГ}}$ – средняя площадь поперечного сечения воздухопроводов, в которых перемещаются соответственно подогреваемый воздух и горючие газы, м^2 ;

$v_{\text{ас}}$, $v_{\text{ГГ}}$ – скорость движения горючих газов и подогреваемого воздуха, $\text{м}/\text{с}$.

При перемещении в воздухопроводах теплообменника температура горючих газов будет падать, нагреваемого воздуха – возрастать. Этот процесс может быть описан следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dT}{dl} = k_{\text{то}} (T_{\text{ГГ}} - T_{\text{ас}}), \quad (5)$$

где dl – бесконечно малое перемещение в воздухопроводах соответственно

подогреваемого воздуха и горючих газов, м ;

$k_{\text{то}}$ – коэффициент пропорциональности, м^{-1} ;

$T_{\text{ГГ}}$, $T_{\text{ас}}$ – начальная температура горючих газов и подогреваемого воздуха, К .

После разделения переменных выражение (5) приобретет следующий вид:

$$\frac{dT}{(T_{\text{ГГ}} - T_{\text{ас}})} = k_{\text{то}} dl. \quad (6)$$

После интегрирования правой и левой частей выражения (6) оно принимает следующий вид:

$$\ln(T_{\text{гг}} - T_{\text{ac}}) = k_{\text{то}}l + \ln C. \quad (7)$$

После потенцирования выражения (7) будет получено решение уравнения (5) в общем виде.

$$(T_{\text{гг}} - T_{\text{ac}}) = C e^{k_{\text{то}}l}. \quad (8)$$

Исходя из начальных условий: $l = 0$; $T_{\text{гг}} = T_{01}$; $T_{\text{ac}} = T_{02}$, определяется значение постоянной интегрирования $C = (T_{01} - T_{02})$. И тогда частное решение дифференциального уравнения (5) будет иметь следующий вид:

$$T_{\text{ac}} = T_{\text{гг}} - (T_{01} - T_{02})e^{k_{\text{то}}l}. \quad (9)$$

Таким образом, из выражения (9) определяется текущая температура подогреваемого воздуха (агента сушки для зерносушилок) в зависимости от текущей температуры горючих газов, начальной температуры горючих газов и наружного воздуха, а также пройденного им пути в воздуховоде. Для существенного снижения возникающих при работе воздухонагревателя зерносушилки колебаний тепловой мощности, передаваемой агенту сушки, его газовые и воздушные потоки должны иметь взаимоувязанные компенсационные режимы, определяемые параметрами горючих газов и наружного воздуха, а также пройденным ими путем в газо- и воздуховодах, в соответствии с зависимостями (4) и (9). Полученные уравнения (4) и (9) позволяют определить общие теплотехнические параметры воздухонагревателя с учетом необходимых компенсационных допусков и поставить задачи по расчету его конкретных технических параметров. Для решения таких задач требуется провести подробное обоснование выбора основных параметров конкретных воздухонагревателей, чтобы на их основе можно было построить требуемый типаж, повысить эффективность и конкурентоспособность разработок [8, 9].

Воздухонагреватели предназначены для производства и передачи тепла агенту сушки. Основным параметром воздухонагревателя является его теплопроизводительность (тепловая мощность), которая определяется согласно следующей зависимости:

$$Q_{\text{тп}} = q_{\text{чт}} Q_{\text{н}}^{\text{п}},$$

где $q_{\text{чт}}$ – часовой расход топлива, кг/ч , $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг , кДж/м^3 .

На основании заданной тепловой производительности воздухонагревателя определяются базовые параметры его топочной камеры. Объем топочного пространства, исходя из предельного теплового напряжения топочного пространства для конкретного вида воздухонагревателя

$$V_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{тп}}}{q_{\text{v}}},$$

где q_{v} – предельное тепловое напряжение топочного пространства, кВт/м^3 .

Для слоевых топок также определяется площадь зеркала горения на основе предельного теплового напряжения зеркала горения:

$$F_{\text{R}} = \frac{Q_{\text{тп}}}{q_{\text{R}}},$$

где q_{R} – предельное тепловое напряжение зеркала горения, кВт/м^2 .

Важным показателем работы топки воздухонагревателя является ее коэффициент полезного действия:

$$\eta_{\text{т}} = 100 - \eta_{\text{x}} - \eta_{\text{м}},$$

где η_{x} , $\eta_{\text{м}}$ – потери теплоты от химического и механического недожога, %.

Выводы

Таким образом, для существенного снижения возникающих при работе воздухонагревателя зерносушилки колебаний тепловой мощности, передаваемой агенту сушки, его газовые и воздушные потоки должны иметь взаимоувязанные компенсационные режимы, определяемые параметрами горючих газов и наружного воздуха, а также пройденным ими путем в газо- и воздуховодах, в соответствии с зависимостями (4) и (9).

13.06.2016

Литература

1. Дашков, В.Н. Концепции развития парка зерноочистительного и сушильного оборудования в Республике Беларусь / В.Н. Дашков, В.П. Чеботарев, А.С. Тимошек, А.А. Князев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. – Минск, 2004. – Вып. 38. – С. 98–101.
2. Казакевич, П.П. Основные направления технического обеспечения послеуборочной обработки зерна в Республике Беларусь / П.П. Казакевич, В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.А. Князев // Усовершенствование технологий и оборудования производства продукции животноводства / Вестник Харьковского НТУСХ им. П. Василенка. – Харьков, 2007. – Вып. 62. – С. 74–77.
3. Ловкис, В.Б. О критериях энергетической эффективности сельскохозяйственных технологий / В.Б. Ловкис, В.А. Колос // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2008. – Вып. 42. – С. 13–19.
4. Колос, В.А. Анализ энергетической эффективности технологии производства картофеля в Северо-Западном регионе России / В.А. Колос, В.Б. Ловкис // Картофелеводство: сб. науч. тр. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», 2009. – Т. 16. – С. 292–297.
5. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов [и др.]. – М.: ДеЛи принт, 2010. – 696 с.
6. Фролов, В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. – Л.: Химия, 1987. – 218 с.
7. Mathematical simulation of mass and heat transfer in high moisture foods / A. Husain [et al.] // Transactions of the ASAE. – 15 (1972). – № 4. – Pp. 732–736.
8. Parti, M. Selection of mathematical models for drying grain in thin-layers / M. Parti // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1993. – № 54. – Pp. 339–352.
9. Matthies, H.J. Ausbau eines Verfahrens zur Berechnung des Stromungswiderstandes ruhender kornformiger Schuttguter / H.J. Matthies, H. Petersen // Grundlagen der Landtechnik. – 1973. – № 2. – S. 50–53.
10. Чеботарев, В.П. Сравнительный анализ местных видов топлива / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.С. Тимошек, А.В. Новиков, Д.В. Мельник, О.С. Дубровский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. статей междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–19 октября 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 214–218.
11. Чеботарев, В.П. Анализ конструкций топочных агрегатов на традиционных видах топлива / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.К. Борис, О.С. Дубровский // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. статей междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–19 октября 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 218–220.
12. Дашков, В.Н. Обоснование и расчет параметров жидкотопливного агрегата АТ-0,7 / В.Н. Дашков, С.М. Карташевич, А.С. Тимошек, С.А. Кукса, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2003. – Вып. 37. – Т. 2. – С. 136–145.
13. Дашков, В.Н. Экспериментально-теоретические исследования автономных газовых воздухонагревателей / В.Н. Дашков, С.М. Карташевич, А.С. Тимошек, С.А. Кукса, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2003. – Вып. 37. – Т. 2. – С. 145–152.

14. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод / Под ред. Н.В. Кузнецова. – М.: Энергия, 1973. – 232 с.
15. Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П.В. Акулич. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 443 с.
16. Чеботарев, В.П. Сушка зерна. Теория, расчет, эксперимент / В.П. Чеботарев, И.В. Чеботарев. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – 520 с.

УДК 631.363

П.В. Авраменко, Ю.М. Урамовский, Т.В. Бойко
*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*
П.В. Яровенко
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ И
СПОСОБАХ ВНЕСЕНИЯ
ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ
ПРИ ЗАГОТОВКЕ КОРМОВ ИЗ
ТРАВ И СИЛОСНЫХ КУЛЬТУР**

Введение

Известно, что заготовка силосованных кормов с применением консервантов является одной из составляющих современного высокотехнологичного кормопроизводства.

Эффективность применения консервантов при строгом соблюдении технологического регламента заготовки корма зависит от качества внесения их в измельченную растительную массу, которое должно соответствовать действующим агротребованиям [1, 2]:

- отклонение от заданной дозы не должно превышать 20 %;
- консервант должен быть распределен в кормовой массе равномерно (допустимая неравномерность не должна превышать 20 %).

Основная часть

Внесение консервантов в кормовую массу может осуществляться двумя основными методами:

- на кормоуборочных машинах или транспортерах-загрузчиках в траншейных, башенных и других видах хранилищ в движущийся кормовой поток;
- в транспортных емкостях, на площадках промежуточного хранения, загрузочных пандусах или непосредственно в наземных или заглубленных хранилищах.

В первом случае внесение консервантов осуществляется без вмешательства в технологический процесс заготовки консервированных сочных кормов и не оказывает заметного влияния на его основные технико-экономические показатели (производительность, энерго- и материалоемкость, удельные трудозатраты).

Во втором случае внесение консервантов происходит в стационарных условиях и является самостоятельной технологической операцией, существенно влияющей на технико-экономические показатели процессов полевого кормопроизводства.

Такое достаточно условное деление тем не менее позволяет четко классифицировать методы внесения консервантов по их технологической и экономической привлекательности для потребителя.

Техническая реализация указанных методов может осуществляться различными способами, в зависимости от расположения дозирующего устройства относительно объекта обработки:

- внешнее внесение (опрыскивание) (рисунок 1а), при котором распылитель находится на определенном расстоянии от обрабатываемой поверхности корма;