

**В.В. Поддубицкий<sup>1</sup>, В.Н. Дашков<sup>2</sup>, В.П. Чеботарев<sup>3</sup>**<sup>1</sup>ГП «ИЭ НАН Беларуси»,<sup>2</sup>ГП «ИЭ НАН Беларуси»,<sup>3</sup>БГАТУ

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА ДЛЯ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ЗЕРНОСУШИЛОК

В статье представлены результаты теоретических исследований применения, а также практического использования местных видов топлива в воздухонагревателях зерносушилок.

**Ключевые слова:** воздухонагреватель, топочное пространство, колосниковая решетка, местные виды топлива, горение.

**V.V. Poddubitsky<sup>1</sup>, V.N. Dashkov<sup>2</sup>, V.P. Chebotarev<sup>3</sup>**<sup>1</sup>GP "IE NAS of Belarus",<sup>2</sup>GP "IE NAS of Belarus",<sup>3</sup>BGATU

## TO THE QUESTION OF SELECTING LOCAL FUELS FOR AIR HEATERS FOR GRAIN DRYERS

The article presents the results of theoretical studies of the application and practical use of local fuels in air heaters of grain dryers.

**Keywords:** air heater, furnace space, grate, local fuels, combustion

### Введение

Повышение эффективности послеуборочной обработки зерна при высоких урожаях зерновых и зернобобовых связано с комплексным решением вопросов разработки и внедрения новых технологий сушки зерна и соответствующих технических средств для реализации, обеспечивающих качественное и своевременное выполнение каждой технологической операции.

На сегодняшний день в сельскохозяйственном производстве применяются воздухонагреватели на твердом топливе, принципом работы которых является слоевое горения топлива. Несмотря на простоту конструкции и надежную работу, эти воздухонагреватели имеют недостатки:

- низкая тепловая мощность;
- высокая материалоемкость;
- невозможность стабильно удерживать номинальную мощность из-за цикличности загрузок топлива;
- значительные колебания температуры, низкий КПД и ручная загрузка топлива.

Решением большинства этих проблем является разработка эффективной системы подачи и распределения топлива по всему топочному пространству. Однако разработка и создание распределителей топлива, обеспечивающих равномерное распределение топлива по топочному пространству, неразрывно связана с обоснованием выбора топлива для таких устройств.

### Основная часть

В зерноочистительно-сушильных комплексах республики широкое распространение получили универсальные воздухонагреватели ВУ-Т-1,5 производства ООО «Амкодор – Можга», работающие на дровах и ВНС-1,5 разработки ОАО «Агрокомплект», работающий на рулонной соломе (Рис. 1).

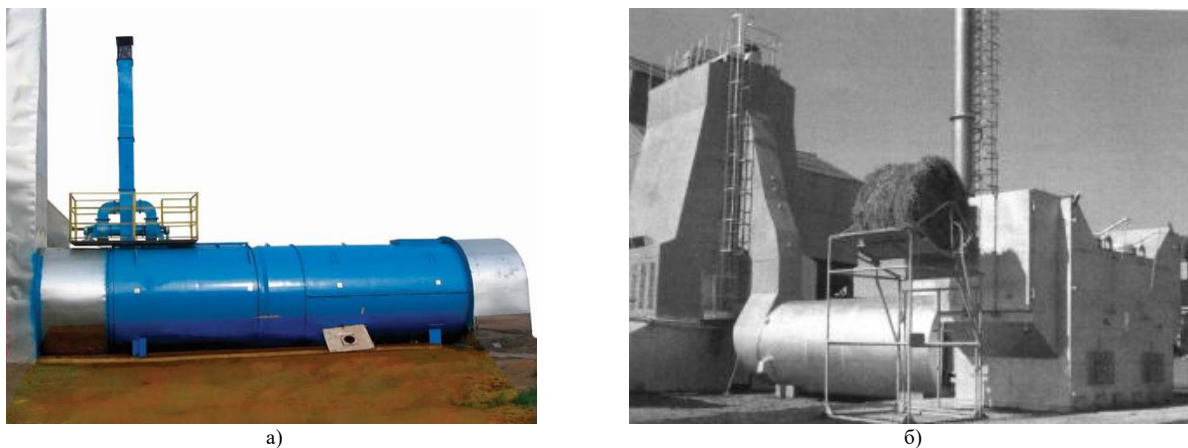


Рис. 1 Воздухонагреватели для зерносушилок на МВТ с неподвижной колосниковой решеткой

а) ВУ-Т-1,5(ООО «Амкодор-Можга»); б) ВНС-1,5(ОАО «Агрокомплект»)

Эти воздухонагреватели имеют простую и надежную конструкцию, основанную на применении неподвижной колосниковой решетки. Однако применяемое в них топливо, несмотря на свою доступность и дешевизну, обладает существенным недостатком – габаритами.

На сегодняшний день не существует способов автоматической загрузки дров или рулонов соломы в топку. Для обеспечения непрерывной работы воздухонагревателя приходится содержать дополнительный рабочий персонал, который загружает от 300 до 600 кг/ч дрова в топку ВУ-Т-1,5. Или, как в случае с ВНС-1,5, 1–2 раза в час привлекать погрузчики для загрузки 2 рулонов соломы.

Поэтому, как европейские (Heizomat (ФРГ), Ökotherm (ФРГ)) и североамериканские (Hurst (США)), так и отечественные (ООО «Амкодор-Можга») производители воздухонагревателей и котлов переходят на выпуск топков с подвижной колосниковой решеткой или конвейерного типа. Такая теплогенерирующая техника применяет мелкофракционное топливо, оснащена автоматической системой подачи и системой распределения топлива, что позволяет эффективно сжигать, учитывая, что одним из важнейших факторов, в процессе горения твердых видов топлива, является количество подаваемого в топочное пространство воздуха.

Для наиболее эффективного сжигания любого вида топлива необходимо поддерживать воздушный баланс внутри топочного пространства в течение всего процесса горения. Так, при недостаточном количестве подаваемого воздуха, будет происходить значительное дымообразование, и вместе с дымом, в атмосферу, будут выбрасываться несгоревшие пиролизные газы, то есть происходить химический недожог топлива.

При превышении допустимых значений количества воздуха, будет происходить вынос несгоревших мелкофракционных частиц в дымовую трубу. Этот процесс называется механическим недожогом. Для предотвращения химического и механического недожогов и достаточно точного определения необходимого количества воздуха вводится коэффициент избытка воздуха  $\alpha_T$ , который выбирается в зависимости от вида топлива, способа сжигания и конструкции топки. Так, оптимальное значение коэффициента избытка воздуха для твердого топлива, при слоевом его сжигании, равно 1,3–1,4. Количество необходимого воздуха для стабильного горения топлива, определяется по формуле [1]:

$$L_T = \alpha_T \cdot L_0, \quad (1)$$

где  $L_0$  - теоретическое количество воздуха, требуемого для сгорания 1 кг топлива и зависящее от низшей теплотворной способности топлива, кг/кг.

Из расчетных данных, представленных в таблице 1, следует, что для сжигания 1 кг сухой древесины, необходимо затратить в среднем 7,3 кг воздуха, а для соломы этот показатель будет равен 7,9 кг.

Т а б л и ц а 1. – Расчетные значения необходимого количества воздуха для слоевой топки

Параметр	Вид топлива	
	Солома	Древесная щепа
$L_0$ , кг/кг топлива	5,8	5,4
$L_{Tmax}$ , кг/кг топлива	8,1	7,6
$L_{Tmin}$ , кг/кг топлива	7,6	7

Основанным показателем процесса горения, на которое влияет количество подаваемого воздуха, является изменение физико-механических свойств топлива. В результате испарения влаги и отделения газовой составляющей топлива происходит уменьшение габаритов топливной частицы и ее массы. Скорость изменения массы топливной частицы (скорость выгорания), с учетом количества подаваемой массы воздуха, можно определить из уравнения:

$$\frac{dm_c}{dt} = -4\pi \left( \sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}} \right)^2 \cdot k' M c_0 \cdot \left( 1 - \frac{1}{\alpha_T} + \frac{\sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}}}{r_{c0}\varepsilon} - \frac{\sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}}}{r_{c0}\varepsilon\alpha_T} + \frac{\left( \sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}} \right)^3}{r_{c0}^3\alpha_T} + \frac{\left( \sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}} \right)^4}{r_{c0}^4\varepsilon\alpha_T} \right), \quad (2)$$

где  $m_c$  – масса топливной частицы, кг;  
 $\rho_c$  – плотность топливной частицы (удельная масса), кг/м<sup>3</sup>;  
 $k'$  – суммарная константа скорости реакции процесса, м/с;  
 $M$  – стехиометрический коэффициент реакции;  
 $c_0$  – начальная весовая концентрация газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha_T$  – коэффициент избытка воздуха, кг/кг(м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>);  
 $r_{c0}$  – начальный радиус топливной частицы, м;  
 $\varepsilon$  – отношение внешней реакционной поверхности к внутренней.

Анализ формулы (2) показывает, что важнейшей величиной, влияющей на скорость выгорания, является начальный радиус топливной частицы. Так как  $\sqrt[3]{\frac{3m_c}{4\pi\rho_c}} = r_c$  – радиус горячей топливной частицы, то, чем меньше начальный радиус топливной частицы, тем быстрее и полнее она выгорит. Это предположение можно подтвердить уравнением конечного радиуса выгоревшей топливной частицы [2]:

$$r_{чк} = r_{c0} \sqrt[3]{\frac{A^c}{100}}, \quad (3)$$

где  $A^c$  – зольность сухой массы топлива, %.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что наилучшим видом твердого топлива является мелкофракционное, вплоть до пылевидного. Однако, несмотря на достаточно высокую температуру (1800–2200 °С) в топочном пространстве, которую можно достичь, сжигая пылевидное топливо, для его применения необходимы специальные виды топок: вихревые, циклонные или применение специальных пылевых форсунок. Это делает применение такого топлива в условиях сельскохозяйственных производств нерентабельным.

Использование в качестве топлива топливных гранул (пеллет) и брикетов также является нецелесообразным для сельского хозяйства из-за высокой их стоимости.

Поэтому наилучшим топливом для твердотопливных воздухонагревателей является древесная щепа и измельченная солома. Эти виды топлива доступны и дешевы, а относительно малый размер топливных частиц позволяет эффективно и быстро их сжигать. Так для сжигания одной частицы крупной щепы [3], необходимо примерно 77 с.

Применение местных видов топлива в условиях мирового энергетического и финансового кризисов – наилучший способ экономии денежных средств для сельскохозяйственных производителей. Так среднестатистическое предприятие тратит от 4,5 до 6 % стоимости собранного урожая зерновых и зернобобовых культур на приобретение и использование в воздухонагревателях традиционных углеводородных видов топлива. Применение местных видов

топлива позволит сократить затраты на топливо в 3–5 раз. В тоже время, широко используемые воздухонагреватели с неподвижной колосниковой решеткой, работающие на дровах и рулонах соломы не являются оптимальным решением для замены традиционных воздухонагревателей на природном газе и дизельном топливе. Это является следствием необходимости содержать увеличенный обслуживающий персонал и низким качеством топлива, вызванного хранением его под открытым небом.

Несмотря на относительно высокую стоимость, такие воздухонагреватели окупаются достаточно быстро. Так разработанный Государственным предприятием «ИЭ НАН Беларуси» совместно с ООО «Амкодор-Можя» агрегат топочный АТ-2, при стоимости порядка 190 тыс. руб. имеет срок окупаемости всего 1,2 года [4].

### **Заключение**

Таким образом, наилучшими видами топлива для сельскохозяйственного производства, в частности зерносушилок, являются древесная щепа и измельченная солома зерновых и масличных культур. Такие виды топлива позволяют создать воздухонагреватели с автоматической системой подачи и распределения топлива, что дает возможность контролировать стабильную работу агрегата. Автоматическая система подачи также позволяет сократить обслуживающий персонал зерноочистительно-сушильного комплекса до одного оператора и не привлекать для загрузки дополнительную технику.

### **Список использованных источников**

1. Красниченко, А.В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2-х томах. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы/ А.В. Красниченко. – Москва, 1961. – 862 с.

2. Конторович, Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Конторович. – М. : Издательство академии наук СССР, 1958. – 601 с.

3. Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 1. Общие требования: ГОСТ 33103.1 – 2017 (ISO 17225-1:2014). – Введ. 30.01.2017. – М. : Стандартинформ, 2017. – 57 с.

4. Дашков, В.Н. Экономические аспекты применения твердотопливных воздухонагревателей и местных видов топлива для сушки зерна / В.Н. Дашков, В.П. Чеботарев, Н.Е. Шевчик, В.В. Поддубицкий, В. Романюк // Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: монография / Институт технологических и естественных наук в Фалентах, отделение в Варшаве. – Варшава, 2018. – С. 38–40.