

СОЛОМА КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВИД ТОПЛИВА ДЛЯ СУШИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В.П. Чеботарев,

профессор каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Н.П. Гурнович,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.А. Радишевский,

доцент каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.Н. Бондаренко,

ст. преподаватель каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ

В статье проведен анализ основных характеристик соломы, используемой в качестве альтернативного вида топлива для воздухонагревателей при сушке зерна в зерносушилках. Представлена конструкция и описан технологический процесс подогрева воздуха на воздухонагревателе АТС-1,0.

Ключевые слова: местные виды топлива, солома, воздухонагреватель, сушка, энергия, температура.

The article presents an analysis of the main characteristics of straw as an alternative fuel for air heaters when drying grain in grain dryers. The design and technological process of air heating on the ATS-1.0 air heater are presented.

Keywords: local fuels, straw, air heater, drying, energy, temperature..

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос снижения себестоимости производимой сельскохозяйственной продукции, что позволит ей конкурировать на рынках. Одним из путей снижения себестоимости является уменьшение затрат на энергетические источники, используемые при производстве сельскохозяйственной продукции.

Сушка – одна из самых энергоемких операций в технологических процессах производства зерна (35...50 % от всех затрат). Применяемые в настоящее время в Республике Беларусь сушильные комплексы используют жидкое топливо, газ или местные виды топлива. Однако складывающаяся в мире ситуация с энергопотреблением требует использования возобновляемых источников тепла, таких как дрова, торф, солома, которые являются наиболее распространенными и доступными энергоресурсами в Беларуси [1, 2].

Использование местных видов топлива в сушильных агрегатах позволит снизить себестоимость производимой сельскохозяйственной продукции. В Республике Беларусь сельскохозяйственным предприятиям целесообразно использовать торфяные брикеты, дрова и отходы выращиваемых сельскохозяйственных культур (костру, отходы после уборки кукурузы и солому) [3]. Наиболее перспективным видом топлива в условиях сельскохозяйственного предприятия является солома, так как часть ее не используется в животноводстве.

Исследования в области использования местных видов топлива в сушильных агрегатах по сушке зерна освещены в работах В.П. Чеботарева, В.Н. Дашкова, С.М. Карташевича, И.В. Барановского, А.В. Новикова и др. [1-3; 6].

Целью статьи является обоснование эффективности применения соломы как местного вида топлива в сушильных агрегатах по послеуборочной обработке зерна.

Основная часть

Одним из важнейших источников повышения эффективности хранения зерна является сушка. Зерно после процесса скашивания имеет влажность от 16 % до 24 % в зависимости от убираемой культуры и погодных условий. Хранить зерно при такой влажности не рекомендуется. При повышенной влажности в процессе хранения из зерна выделяется влага и повышается температура, что способствует развитию плесени и гибели зародышей и теряется качество посевного материала. Сушка зернового материала позволяет снизить влажность до кондиционных значений и сохранить урожай без потерь, кроме того, под воздействием температуры некоторые вредители погибают.

Для сушки зерна используют различные процессы взаимодействия теплоносителя и зерновой смеси. Наиболее широкое применение в конструкциях сушильных агрегатов получил конвективный способ, при котором зерновая масса контактирует с теплоносителем, за счет которого снижается наличие влаги в зерне [3, 4].

В процессе сушки влага из зерна удаляется в атмосферу. В зерне влага находится в двух видах: свободная влага, находящаяся в межклеточных пространствах, и связанная влага внутри клеточных структур. Для удаления свободной влаги из зерна расход теплоносителя в несколько раз меньше, чем для удаления из внутриклеточных структур. При прохождении теплоносителя через слой зерна оно нагревается за счет температурного воздействия, влага из глубинных слоев перемещается к оболочке и испаряется сквозь капилляры.

В настоящее время для сушки зерна используют различные по конструктивному исполнению сушильные агрегаты, в которых процесс сушки является непрерывным. Наиболее широкое распространение получили шахтные сушильные агрегаты. Шахтный сушильный агрегат состоит из рабочей камеры, имеющей форму в виде шахты, перпендикулярно которой располагаются короба, через которые подается теплоноситель [5]. Для обеспечения нагрева воздуха, который используется в качестве теплоносителя, применяются различные нагревательные устройства. Топочные камеры нагревательных устройств в зависимости от использованного вида топлива отличаются по форме и объему [5].

В зерносушильных комплексах производства Республики Беларусь применяют теплогенераторы, использующие газ, печное бытовое и местные виды топлива.

Использование дров в качестве топлива для сушки зерна сопряжено с целым рядом проблем для высокопроизводительных зерносушилок. В первую очередь, необходим значительный объем твердого топлива. Так, для зерносушилки производительностью 20 пл. т/ч требуется около 700 кг/ч или 1,5 м³/ч дров, а за сезон (при нормативной наработке зерносушилки 400 часов) более 600 м³, что связано с большими затратами труда и финансовых средств на подготовку, хранение и сжигание такого объема топлива. Тем не менее, дрова как топливо для зерносушилок малого и среднего классов являются доступным альтернативным источником тепловой энергии. Задача состоит в создании эффективных топков для ее получения [2].

Однако использование газа или печного топлива оказывает большое влияние на себестоимость процесса сушки зерна. Поэтому одним из важнейших источников снижения себестоимости процесса сушки является использование в топочных агрегатах для получения тепловой энергии местного вида топлива и, в частности, соломы.

В Западной Европе, США и Канаде солому давно используют в качестве топлива. Однако в силу своих физико-механических свойств солома при сжигании создает целый ряд специфических проблем, так как она чрезвычайно гигроскопична и способна поглотить воды в 7...10 раз больше, чем ее собственный вес. В то же время эта влага при нагревании высво-

бождается в десятки раз быстрее по сравнению с древесной, что является существенным положительным свойством использования соломы как источника топлива. Кроме того, потенциал соломы в качестве топлива оценивается таким показателем, как количество энергии, которое может быть получено при сжигании 1 кг сухой (до 7 % влажности) соломы, и составляет 3300 ккал, что вдвое меньше, чем в угле, и втрое меньше, чем в дизельном топливе. Солома, как и древесина, создает температуру горения на уровне 1000...1200 °С, чего достаточно для обеспечения такого процесса, как подогрев наружного воздуха, используемого в качестве теплоносителя для сушки зерна. Большим преимуществом соломы является практически полное отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений. В то же время сжигание неподготовленной соломы в неприспособленных топках снижает ее удельную энергопроизводительность до 100 ккал/кг, что крайне неэффективно. Одним из основных преимуществ соломы как вида топлива является ее достаточное количество, ежегодная возобновляемость и сравнительно небольшие расстояния для перевозки. В последние годы в Республике Беларусь заготавливается около 9 млн тонн соломы [2].

Среднегодовое производство и структура использования соломы в Республике Беларусь представлены в таблице 1.

Таблица 1. Среднегодовое производство и заготовка соломы в Республике Беларусь [2]

Наименование культуры	Уборочные площади, тыс. га	Биологическая урожайность, т/га	Производство, млн т	Заготавливается, млн т
Рожь озимая	400	3,6	1,44	0,72
Ячмень	560	3,2	1,79	1,25
Овес	170	3,3	0,56	0,48
Пшеница озимая	320	3,5	1,12	0,67
Пшеница яровая	150	3,4	0,51	0,31
Тритикале	450	3,6	1,62	0,81
Рапс	350	3,8	1,33	0,4
Прочие	200	3,2	0,64	0,45
Всего	2600	3,47	9,01	5,09

Исходя из структуры использования, приведенной в таблице 2, при полном исключении применения для укрытия буртов и силосования на сушку зерна (без ущерба другим направлениям применения) может быть использовано около 1 млн тонн соломы. С учетом того, что в каждом сельскохозяйственном предприятии Республики Беларусь имеется в наличии необходимая техника для заготовки соломы в тюках или рулонах, она должна рассматриваться в ближайшей перспективе как основное местное топливо для зерносушилок. Технико-экономическая эффективность использования соломы в качестве топлива характеризуется показателями: теплотворная способность соломы (влажностью не более 18 %) составляет в среднем около 2773 ккал/кг. Поэтому 1 кг жидкого топлива может быть заменен 3,5 кг соломы. Удельный расход соломы (при КПД воздушнонагре-

Таблица 2. Объемы использования соломы в Республике Беларусь

Назначение	Фактически используется		Прогнозируемое использование	
	объем, млн т	структура, %	объем, млн т	структура, %
На корм, всего	3,20	32,92	3,00	25,00
В том числе:				
– для силосования;	0,60	6,17	0,60	5,00
– использование в животноводстве	2,60	26,75	2,40	20,00
На подстилку (приготовление компостов)	0,51	5,25	2,40	20,00
Для укрытия буртов	0,70	7,20	0	0
Для реализации фермерам и населению	1,20	12,38	0,84	7,00
На топливо для зерносушилок	0,20	2,07	0,96	8,00
Использование в качестве удобрения	3,90	40,18	4,80	40,00
Всего	9,71	100,00	12,00	100,00

вателя, равном 0,88 по отношению к воздухонагревателю, работающему на жидком топливе) в среднем составит 27 кг/пл. т [3].

Теплотворная способность соломы зависит от ее влажности. В качестве топлива солому необходимо использовать влажностью до 20 %, при которой удельная теплотворная способность составляет: $Q_c = 4000$ ккал/кг, а при влажности 40...45 % - $Q_c = 1500...1800$ ккал/кг соответственно. Поэтому солому необходимо хранить в местах с определенной влажностью, позволяющей использовать ее в качестве топлива.

Необходимое количество соломы для сушки годового объема зерна:

$$G = (M \cdot \Delta W \cdot 1000 \cdot q) / \eta \cdot Q_c,$$

где G – необходимое количество соломы для сушки зерна, кг;

M – масса зерна, $M = 1000$ т;

ΔW – разница влажности зерна до сушки и после ($\Delta W = 22 - 16 = 4$ %);

q – удельная теплота испарения влаги ($q \approx 540$ ккал/кг) [8];

η – КПД зерносушилки ($\eta = 0,75$) [8];

Q_c – теплотворная способность соломы ($Q_c = 4000$ ккал/кг) [3].

$$G = (1000 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot 540) / 0,75 \cdot 4000 = 720 \text{ т}$$

В период сезонной работы зерносушилки по сушке 1000 т зерна затраты при использовании соломы в качестве топлива (8,5 у.е./т) составят 6120 у.е., или 47,3 % по сравнению с использованием в воздухонагревателе газа в качестве топлива [3].

Поэтому использование соломы в качестве топлива для воздухонагревателей экономически более выгодно для сельскохозяйственных предприятий и способствует снижению стоимости сушки зерна.

Использовать солому в качестве топлива можно только в специальных топках воздухонагревателей и с ее подготовкой к сжиганию, состоящей из приго-

товления брикетов, рулонов или тюков, сформированных пресс-подборщиками. Кроме того, для интенсификации процесса горения соломы необходимо обеспечить подачу вторичного воздуха температурой 500...600 °С для дожигания вредных летучих горючих веществ, так как солома по своей структуре препятствует интенсивному горению. Целесообразно использовать рекуперацию воздушного потока [7].

Для использования соломы в качестве топлива предпочтительно применять топку прямого горения с теплообменниками, в которых лучше, чем в других, используется тепловой потенциал сжигаемого топлива. Для сжигания соломы необходимо применять топочные агрегаты цилиндрической формы. Топочные агрегаты такой формы имеют ряд преимуществ: во-первых, они позволяют использовать солому в виде рулонов, во-вторых, наиболее целесообразно используется металл и поверхность топки.

В Республике Беларусь для сжигания соломы в топках разработан и изготовлен топочный агрегат АТС-1,0 (ОАО «Мозырьсельмаш») (рис. 1) [15].



Рисунок 1. Общий вид воздухонагревателя АТС-1,0

Технологический процесс сжигания соломы в качестве топлива в воздухонагревателе АТС-1,0 (рис. 2) происходит в следующей последовательности. Рулоны соломы закладываются в камеру сгорания 1 и поджигаются. Включается вентилятор подачи надувочного воздуха и вентилятор подачи теплоносителя 7. После прогрева в воздухонагревателе и достижения температуры теплоносителя, необходимого для обеспечения удаления влаги, он подается в сушилку. В сушилке за счет температуры теплоносителя зерно нагревается и отдает влагу. Использованный теплоноситель повторно поступает в воздухонагреватель [7].

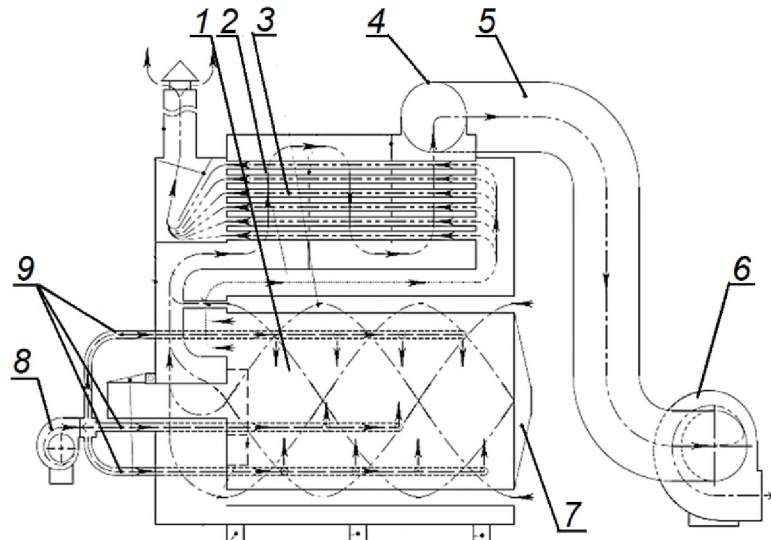


Рисунок 2. Воздухонагреватель АТС-1,0:

- 1 – камера сгорания; 2 – камера дожигания; 3 – теплообменник; 4 – короб; 5 – воздуховод; 6 – топка;
7 – распределительные воздуховоды; 8 – вентилятор подачи наддувочного воздуха;
9 – подача теплоносителя;
— наддувочный воздух; - - - теплоноситель; ····· дымовые газы; ······ дожигаемые продукты горения

Заключение

1. В связи с повышением стоимости энергоносителей и нестабильностью поставок на рынок использование соломы в качестве местного вида топлива для сжигания в топочных зерносушильных агрегатах является экономически выгодным.

2. Применение соломы в качестве топлива в топочных агрегатах позволяет снизить себестоимость процесса сушки зернового вороха в сравнении с использованием газа на 47,3 % и повысить КПД воздухонагревателя до 0,75 при снижении потерь теплоты на 13,2 %.

3. Преимуществом использования соломы в качестве топлива является отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений, что не оказывает негативного влияния на экологию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Послеуборочная обработка зерна в республике / А.В. Новиков [и др.] // Актуальные проблемы повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., 24-26 ноября 2010 г., г. Минск: в 2 ч./ Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Н.В. Казаровец [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – Ч. 2. – С. 129-132.

2. Использование местных видов топлива в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь / В.П. Чеботарев [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., 21-22 октября 2009 г., г. Минск: в 2 т. / НАН Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 33 – 37.

3. Сравнительный анализ местных видов топлива / В.П. Чеботарев [и др.] // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. статей междунар. науч.-практ. конф.: в 2 т., 17 – 19 октября 2007 г., г. Минск / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 214-218.

4. Чеботарев, В.П. К вопросу об использовании местных видов топлива / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, О.С. Дубровский, А.В. Искрицкий // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – Минск, 2009, № 7. – С. 40-42.

5. Chebotarev, V.P. Wspolczesne urzadzenia suszactwo do pozbirowej obrabki ziana stosowane na Bialorusi / V.P. Chebotarev, I.V. Barfgjvsky, A.A. Kniazev // Ekologiczne aspekty mechnizacji pprodukcji roslinnej: XII Miedzynarodowe Sympozjum, Warszawa, 21-22 wrzesgif 2006. – Warszawa, 2006. – S. 75-79.

6. Дашков, В.Н. К обоснованию основных параметров теплогенератора на местных видах топлива для зерносушилок / В.Н. Дашков, А.С. Тимошек, В.П. Чеботарев // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды III-й междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. /ВИЭСХ. – М., 2003. – Ч. 2. – С. 269-275.

7. Чеботарев, В.П. Анализ современных конструктивно-технологических схем воздухонагревателей, работающих на соломе / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, А.С. Тимошек, А.В. Новиков, Д.В. Мельник, О.С. Дубровский // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. /РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Вып. 41. – С. 272-281.

8. Дашков, В.Н. Обоснование и расчет параметров топки к зерносушилке на местных видах топлива / В.Н. Дашков, С.М. Карташевич, А.С. Тимошек [и др.]

др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. в 2 т. – Минск: РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси», 2003. – Вып. 37. – Т. 1. – С.119-124.

9. Концепция развития парка зерноочистительного и сушильного оборудования в Республике Беларусь/ В.П. Дашков [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб./ Нац. академия наук Беларуси, РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси». – Минск, 2004. – Вып. 38. – С. 98 -101.

10. Дубовский, О.С. Анализ современных конструктивно-технологических схем агрегатов топочных на местных видах топлива /О.С. Дубовский [и др.] //Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси». – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 206-212.

11. Чеботарев, В.П. К вопросу использования местных видов топлива / В.П. Чеботарев [и др.] // Сельскохозяйственная науч.-техн. и рыночная информация. – Минск, 2009. – № 7. – С. 40-42.

12. Киршер, О. Научные основы техники сушки / О. Кришер (пер. с нем. Д.М. Левина); под ред. А.С. Гинзбурга. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1961. – 535 с.

13. Акулич, П.В. Термогидродинамические процессы в технике сушки / Н.В. Акулич. – Минск: Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2022. – 268 с.

14. Ткачев, С.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для сушки зерна / С.М. Ткачев [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2003. – № 9. – С. 24-27.

15. Евразийский пат. 016089, МПК F24H 3/00. Воздухонагреватель: № ЕА 200801726; заявлено 19.06.2008; опубл. 28.02.2012 / В.П. Чеботарев, В.Г. Самосюк, И.В. Барановский, Д.В. Мельник, А.В. Новиков, О.С. Дубовский, А.В. Искрицкий; заявитель: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» // Бюллетень Евразийского патентного ведомства. – 2012. – № 2. – С. 421-429.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 11.05.2026

Независимая навеска и система стабилизации штанги опрыскивателя «Мекосан-2500-18»

Предназначена для снижения амплитуды колебаний штанги и повышения надежности ее несущей конструкции.

Применение разработки позволяет эффективно гасить колебания штанги, возникающие вследствие движения колес опрыскивателя по неровности поверхности поля, что обеспечивает высокую равномерность распределения пестицидов по обрабатываемому объекту, а также повышение надежности несущей конструкции штанги.



Основные технические данные

Марка машины	Мекосан-2500-18
Производительность за 1 час времени, га:	
- сменного	10,9
- эксплуатационного	10,7
Система навески штанги на остов опрыскивателя	Независимая
Способ крепления рамки штанги к остоу опрыскивателя	Параллелограммная навеска
Амплитуда колебаний краев штанги, м	до 0,1
Рабочая скорость движения, км/ч	9-12
Качество выполнения технологического процесса:	
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не более	15
- снижение неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не менее	5
Габаритные размеры опрыскивателя в транспортном положении, мм, не более	6045x2425x2215
Габаритные размеры опрыскивателя в рабочем положении (при высоте установки штанги 600 мм), мм, не более	6045x18250x2215
Дорожный просвет, мм	350
Увеличение массы опрыскивателя, кг	на 120