

УДК 631.365

**В.П. Чеботарев, Н.Д. Лепешкин,
И.В. Барановский, В.В.Чумаков**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации
сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**В.Б. Ловкис, А.В. Новиков,
Т.А. Непарко**

*(УО «БГАТУ»,
г. Минск, Республика Беларусь)*

**К ВОПРОСУ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИМЕНЕНИЯ
СОЛОМЫ ДЛЯ
СУШКИ ЗЕРНА**

Введение

Вследствие высокой стоимости традиционных видов топлива – жидкого и газа, во многих странах интенсивно разрабатываются конструкции воздухонагревателей, работающих на местных видах топлива: дровах, щепе, торфобрикетах, соломе, костре, стержнях початков кукурузы. Использование местных видов топлива особенно актуально для сушки зерна, являющейся самым энергоемким процессом во всей технологической цепочке его производства [1].

Основная часть

Дрова, солома, торфобрикеты при использовании в качестве топлива имеют целый ряд недостатков: большую нестабильность и инерционность горения, их необходимо дополнительно готовить к сжиганию. Существенное влияние на теплотворную способность дров или соломы оказывает их влажность: чем она выше, тем меньше тепла они выделяют, тем сложнее их сжигать. Сжигание местных видов топлива в простых топочных агрегатах сопровождается резкими перепадами уровня достигаемых температур: в начале горения, в середине и при догорании. Компенсируется эта нестабильность забрасыванием новых порций топлива и регулировкой подачи воздуха в топочное пространство. Но даже в идеальных случаях нестабильность горения остается высокой. Другим недостатком является сложность агрегатов для сжигания местных видов топлива, их стоимость и металлоемкость в несколько раз выше, чем воздухонагревателей, работающих на традиционных видах топлива. Кроме того, использование, например, дров для сушки зерна на высокопроизводительных зерносушилках сопряжено с целым рядом проблем. В первую очередь – это значительный объем твердого топлива. Так, для зерносушилки производительностью 20 т/ч требуется около 700 кг/ч, или 1,5 м³/ч, дров, а за сезон (при нормативной наработке у 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 клас-

сов являются доступным альтернативным источником тепловой энергии. Задача состоит в создании эффективных топок для ее получения [2].

Другим важным источником получения тепловой энергии для сельскохозяйственного производства является солома. За рубежом, в том числе в Западной Европе, США, Канаде, солому давно используют как топливо. Но в то же время, в силу своих природных свойств, солома при сжигании создает целый ряд специфических проблем. Солома чрезвычайно гигроскопична, она способна поглотить воды в 7–10 раз больше собственного веса. В то же время эта влага, по сравнению, например, с древесной, в десятки раз быстрее высвобождается при нагревании. Это является существенным положительным свойством соломы как топлива. Кроме того, потенциал соломы как топлива можно оценить таким показателем: количество энергии, которое может быть получено из 1 кг сухой (до 7 % влажности) соломы, составляет 3300 ккал, что вдвое меньше, чем в угле, и втрое меньше, чем в дизельном топливе. Солома, как и древесина, развивает теоретическую температуру горения на уровне 1000...1200 °С, чего вполне достаточно для обеспечения такого процесса, как подогрев наружного воздуха с целью сушки зерна. Большим достоинством соломы является практически полное отсутствие в дымовых газах серы и ее соединений. В то же время сжигание неподготовленной соломы в неприспособленных топках может понизить ее удельную энергопроизводительность до 100 ккал/кг, что крайне неэффективно. Одними из основных достоинств соломы как топлива являются ее достаточное количество, ежегодная возобновляемость и сравнительно небольшие расстояния для перевозки. Информация о среднегодовом производстве и структуре использования соломы в Республике Беларусь приведена в таблицах 1 и 2. В последние годы в республике выращивается около 9 млн тонн соломы и заготавливается примерно 5 млн тонн (таблица 1).

Исходя из структуры использования (таблица 2), при полном исключении ее расходования для укрытия буртов и силосования, на сушку зерна, без

Таблица 1. – Среднегодовое производство и заготовка соломы в республике

Наименование культуры	Уборочная площадь, тыс. га	Биологическая урожайность, т/га	Производство, млн т	Заготовка, 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

ущерба другим направлениям применения, может быть использовано около 1 млн тонн. С учетом того, что в каждом сельскохозяйственном предприятии республики имеется в наличии необходимая техника для заготовки соломы в тюках или рулонах, она должна рассматриваться в ближайшей перспективе как основное местное топливо для зерносушилок. Техничко-экономическая эффективность использования соломы в качестве топлива имеет следующие показатели. Теплотворная способность соломы (влажностью не более 18 %) составляет в среднем около 2773 ккал/кг. Следовательно, 1 кг жидкого топлива может быть заменен 3,5 кг соломы. Удельный расход соломы (при КПД воздухонагревателя, равном 0,88 относительно воздухонагревателя, работающего на жидком топливе) в среднем составит 27 кг/мл. т.

Таблица 2. – Среднегодовые объемы использования соломы в республике

Назначение	Фактически используется		Прогнозируемое использование	
	Объем, млн т	Структура, %	Объем, млн т	Структура, %
На корм, всего	3,21	35,6	3,0	25
В том числе:				
– для силосования;	0,6	6,7	0,6	5
– для приготовления кормосмесей	2,6	28,9	2,4	20
На подстилку (приготовление навоза)	0,51	5,7	2,4	20
Для укрытия буртов	0,7	7,8	0	0
Для реализации фермерам и населению	1,2	13,3	0,84	7
На топливо для зерносушилок	0	0	0,96	8
Запашка	3,92	43,5	4,8	40
Всего	9,01	100	12	100

При стоимости соломы 8,5 у.е./т и сезонной выработке зерносушилкой 4000 мл. т стоимость топлива, израсходованного за сезон, составит 918 у.е. – 47,3 % от стоимости газа, используемого как топливо воздухонагревателя. Таким образом, по своим технико-экономическим показателям солома имеет существенные перспективы использования для сушки зерна. Однако она требует обязательной подготовки к сжиганию. На месте использования соломы необходимо организовать навесы для хранения, обеспечить вспомогательными механизмами доставку и загрузку ее в топку.

За рубежом одним из самых перспективных направлений работ по созданию воздухонагревателей на местных видах топлива является разработка агрегатов, работающих на соломе. Широкое использование соломы для производства энергии в Европе началось в 70-х годах прошлого столетия. Наибольших успехов в этом достигли Германия и Дания. В 1997 г. в сельском хозяйстве Дании, например, уже функционировало около 10 тысяч котлов и теплогенераторов.

ров, в которых применяется в качестве топлива солома, спрессованная в тюки или брикеты. Это позволило включить в энергетический баланс страны новый вид энергоносителя на уровне 1,4 % от общего энергопотребления. Естественно, большая часть этой энергии была выработана и потреблена в сельском хозяйстве: на обогрев помещений и сушку сельскохозяйственных материалов.

Вместе с тем оказалось, что целенаправленное сжигание соломы в больших количествах имеет целый ряд научно-технических проблем. Обеспечить требуемый процесс горения соломы можно лишь в специальных топках и только в том случае, если она будет особым образом (спрессованием, брикетированием) подготовлена к сжиганию. Процесс горения также имеет свои особенности. Солома по своей структуре препятствует интенсивному горению и требует подачи так называемого вторичного воздуха для дожига образующихся при горении летучих горючих веществ (окиси углерода, водорода). При этом вторичный воздух должен быть подогрет до температуры 500–600 °С. Кроме того, теплотворная способность соломы, как и дров, очень сильно зависит от ее влажности. Например, при влажности 20 % (наиболее пригодной для сжигания) ее удельная теплотворная способность составляет около 4000 ккал/кг, тогда как при влажности 40–45 % (обычно наблюдаемой во время уборки) она понижается до 1500–1800 ккал/кг. Поэтому для целей сжигания необходимо проводить заготовку соломы оптимальной влажности. Хранить солому, предназначенную для применения в качестве топлива, необходимо в складах, в которых не допускается ее увлажнение.

Развивая направление использования соломы как топлива в сельскохозяйственном производстве, ученые РУП «НПЦ НАН Беларуси по меха-

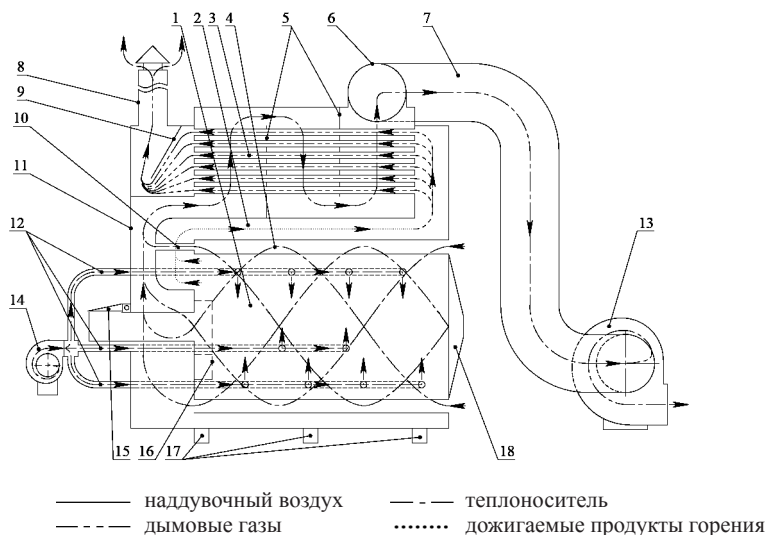


Рисунок 1.— Общий вид воздухонагревателя АТС-1,0

низации сельского хозяйства» разработали и ОАО «Мозырьсельмаш» изготовило точный агрегат АТС-1,0 (рисунок 1). Особенностью конструкции этого агрегата стал повышенный объем камеры сгорания, увеличенная поверхность теплоотдачи топки и теплообменника. На агрегате был установлен более мощный вентилятор. Конструктивно-технологическая схема воздухо-

нагревателя АТС-1,0 представлена на рисунке 2. Приемочные испытания воздухонагревателя АТС-1,0 производства ОАО «Мозырьсельмаш» проводились на испытательном полигоне этого завода в период с 10 по 30 октября 2008 года. Воздухонагреватель АТС-1,0 состоял из следующих основных узлов: камеры сгорания, камеры дожигания, теплообменника, многоходового калорифера, перегородок, короба, воздуховода, дымовой трубы, отражателя, перепускного коллектора, кожуха топки, распределительных воздухопроводов, вентилятора подачи теплоносителя, вентилятора подачи наддувочного воздуха, взрывного клапана, упорной решетки, опор, загрузочной двери.

Воздухонагреватель АТС-1,0 работал следующим образом. Рулоны соломы закладывались в камеру сгорания и поджигались. Дверца топки закрывалась и включался вентилятор подачи наддувочного воздуха и вентилятор подачи теплоносителя. После прогрева воздухонагревателя и достижения заданной температуры теплоносителя номинальный режим работы поддерживался управлением вентилятором подачи наддувочного воздуха. Технические параметры воздухонагревателя АТС-1,0 представлены в таблице 3. При проведении приемочных испытаний получены теплотехнические показатели работы воздухонагревателя, представленные в табли-



1 – камера сгорания; 2 – камера дожигания; 3 – теплообменник; 4 – калорифер;
 5 – перегородки; 6 – короб; 7 – воздухопровод; 8 – дымовая труба; 9 – отражатель;
 10 – перепускной коллектор; 11 – кожух топки; 12 – распределительные воздухопроводы;
 13 – вентилятор подачи теплоносителя; 14 – вентилятор подачи наддувочного воздуха;
 15 – взрывной клапан; 16 – упорная решетка; 17 – опоры; 18 – загрузочная дверь

Рисунок 2. – Конструктивно-технологическая схема воздухонагревателя АТС-1,0

це 4. Основные теплотехнические показатели воздухонагревателя АТС-1,0 по результатам испытаний оказались на уровне серийных зарубежных аналогов такой мощности: удельный расход условного топлива – $0,15 \text{ кг/кВт}$, удельный расход электроэнергии – $0,024 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кВт}$.

Удельная масса данного воздухонагревателя составила $10,46 \text{ кг}\cdot\text{ч/кВт}$, что существенно превышает показатели, например, воздухонагревателей на дровах – $4...7 \text{ кг}\cdot\text{ч/кВт}$. Температура теплоносителя на выходе существенно колебалась и находилась в пределах $103...107 \text{ }^\circ\text{C}$, что в основном определялось качеством используемых рулонов соломы и их влажностью.

Таблица 3. – Основные технические параметры воздухонагревателя АТС-1,0

Наименование показателя	Значение
Марка воздухонагревателя	АТС-1,0
Вид топлива	солома
Тепловая мощность, кВт	1000
Интервал регулирования температуры теплоносителя, $^\circ\text{C}$	40...120
Расход топлива, кг/ч	320
Мощность установленного электрооборудования, кВт	23,5
Производительность вентилятора теплоносителя, $\text{м}^3/\text{ч}$	32000
Объем топочной камеры, м^3	6,7
КПД воздухонагревателя	0,78
Габаритные размеры: длина, ширина, высота, мм	6050x5670x7780
Масса, кг	9500

Таблица 4. – Теплотехнические показатели работы воздухонагревателя АТС-1,0

Наименование показателя	Значение
Расход топлива, кг/ч	320
Потребляемая электрическая мощность, кВт	21,7
Достигнутая тепловая мощность, кВт	908
Температура теплоносителя на выходе, $^\circ\text{C}$	105,3
Степень нагрева наружного воздуха, $^\circ\text{C}$	95,3
Подача нагретого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	27400
Температура уходящих дымовых газов, $^\circ\text{C}$	280
Потери теплоты, %:	
от химической неполноты сгорания	4,3
от механической неполноты сгорания	12,2
в окружающую среду с уходящими газами	1,4
Удельный расход топлива, кг/кВт	0,352
Удельный расход условного топлива, кг у. т./кВт	0,15
Удельный расход электроэнергии, $\text{кВт}\cdot\text{ч/кВт}$	0,024
Удельная масса, $\text{кг}\cdot\text{ч/кВт}$	10,46
КПД агрегата	0,75

Суммарные потери теплоты составили 17,9 %, что на 13,2 % меньше, чем у воздухонагревателя на дровах. Следует отметить также, что температура уходящих дымовых газов не превышала 280 °С, что на 16,4 % ниже, чем при использовании дров. Это подтверждает эффективную работу созданного для воздухонагревателя теплообменника. Удельный расход условного топлива при использовании соломы был на 11,8 % ниже, чем у дров. Поэтому КПД агрегата достигал величины 0,75.

Выводы

Результаты проведенных исследований подтвердили, что использовать солому в качестве топлива для сушки зерна технически возможно и экономически целесообразно. Применение в воздухонагревателе в качестве топлива соломы по сравнению дровами позволило повысить КПД до 0,75, снизить суммарные потери теплоты на 13,2 %, температуру дымовых газов – на 16,4 % и удельный расход условного топлива – на 11,8 %.

18.06.2015

Литература

1. Чеботарев, В.П. Использование местных видов топлива в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь / В.П. Чеботарев, И.В. Барановский, С.Г. Кривонос, О.С. Дубровский, А.В. Искрицкий // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 21–22 окт. 2009 г. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»: в 2 т. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 33–37.
2. 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: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 214–218.
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. 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.
6. Дашков, В.Н. Обоснование и расчет параметров топки к зерносушилке на местных видах топлива / В.Н. Дашков, С.М. Каргашевич, А.С. Тимошек, С.А. Куksа, В.П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб.: в 2 т. Т. 1. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2003. – Вып. 37. – С. 119–124.