

Інноваційні технології в АПК

УДК 631.365

Чеботарев В., д-р техн. наук (УО «Беларусский государственный аграрный технический университет»)

Анализ эффективности применения соломы для сушки зерна

В статье изложен анализ перспективы использования соломы для сушки зерна и представлены результаты испытаний разработанного опытного образца воздухонагревателя, использующего в виде топлива рулоны соломы. Основными узлами топочного воздухонагревателя АТС-1 являются камера сгорания, камера дожигания, теплообменник, многоходовой калорифер, короб, воздуховод, дымовая трубка, перепускной коллектор, распределительные воздуховоды, вентиляторы, взрывной клапан, загрузочная дверь. Имеет тепловую мощность 908 кВт; потребляемую электрическую мощность 21,7 кВт; расход топлива – 320 кг/час; КПД – 0,75.

Ключевые слова: солома, сушение зерна, зерносушилка.

Вступление. 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. Особенно актуально использование местных видов топлива на сушке зерна, которая является 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 догорания. 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 местных видов топлива является то, что агрегаты для их сжигания – сложнее, в несколько раз выше по стоимости и металлоемкости,

© Чеботарев В., 2017

чем воздухонагреватели, работающие 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 пл.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 классов являются доступным альтернативным источником тепловой энергии. Задача состоит в создании эффективных топков 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 древесиной, в десятки раз высвобождается быстрее 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, что 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 непригодных топках может понизить ее удельную энергопроизводительность до 100 ккал/кг, что крайне неэффективно. Одним из основных достоинств соломы как топлива, является 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 получают около 9 млн. тонн соломы и заготавливают примерно 5 млн. тонн (таблица 1). Исходя из структуры использования (таблица 2) при полном исключении ее применения на укрытии буртов и силосовании, на сушку зерна, без ущерба другим направлениям использования, 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 по отношению к воздухонагревателю, работающем на жидком топливе) в среднем составит 27 кг/пл.т. При стоимости соломы 8,5 у.е./т и сезонной выработке зерносушилкой 4000 пл.т стоимость топлива, израсходованного за сезон, составит 918 у.е., что составляет 47,3 % по отношению к использованному топливу воздухонагревателем, работающем на газу. Таким образом, по своим технико-экономическим показателям солома имеет существенные перспективы использования на сушке зерна. Однако, она требует обязательной подготовки к сжиганию.

Там, где будет использоваться солома, 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-е годы 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,

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

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

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	9,53	105,9	12,0	100

Вместе с этим 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 дожигания образующихся при горении летучих горючих веществ (окиси углерода, водорода). При этом вторичный воздух должен быть подогрет до температуры 500-600 °С. Кроме того, теплотворная способ-

ность 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 случающейся во время уборки) она понижается до 1500-1800 ккал/кг. Поэтому, для этих целей необходимо проводить заготовку соломы оптимальной влажности. Хранить солому, предназначенную для применения в качестве топлива, необходимо в складах, не допускающих ее увлажнения.

В развитии направления по использованию соломы как топлива в сельскохозяйственном производстве РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был разработан и заводом ОАО «Мозырьсельмаш» изготовлен топочный агрегат АТС-1 (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 воздухонагревателя АТС-1,0 представлена на рисунке 2. Приемочные испытания воздухонагревателя АТС-1,0, изготовленного ОАО «Мозырьсельмаш», проводились на испытательном полигоне этого завода. Воздухонагреватель АТС-1,0 состоит 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.

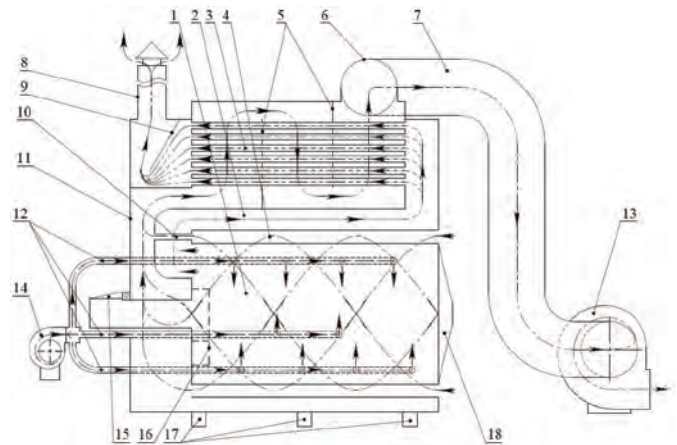


Рис. 1 – Общий вид воздухонагревателя АТС-1,0

Воздухонагреватель АТС-1,0 работает следующим образом. Рулоны соломы закладываются в камеру сгорания и поджигаются. Дверца топки закрывается и включается вентилятор подачи наддувочного воздуха и вентилятор подачи теплоносителя. После прогрева воздухонагревателя и достижения заданной температуры теплоносителя номинальный режим работы поддерживается управлением вентилятором подачи наддувочного воздуха. Технические параметры воздухонагревателя АТС-1,0 представлены в таблице 3.

При проведении приемочных испытаний получены теплотехнические показатели работы воздухонагре-

вателя, представленные в таблице 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 кг/кВт, удельный расход электроэнергии 0,024 кВт ч/кВт. Однако, удельная масса данного воздухонагревателя составила 10,46 кг ч/кВт, что существенно превышает показатели, например, воздухонагревателей на дровах – 4...7 кг ч/кВт. Температура теплоносителя на выходе существенно колебалась и находилась в пределах 103...107 °С, что в основном определялось качеством используемых рулонов соломы и их влажности. Суммарные потери теплоты составили 17,9 %, что на 13,2 % меньше чем у воздухонагревателя на дровах. Следует отметить также то, что температура уходящих дымовых газов не превышала 280 °С, что 16,4 % ниже чем при использовании дров и, следовательно, это подтверждает эффективную работу созданного для воздухонагревателя теплообменника.



— — — надувочный воздух; — — — теплоноситель; — — — дымовые газы; ······ дожигаемые продукты горения
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
Рис. 2 – Конструктивно-технологическая схема воздухонагревателя АТС-1,0

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, С	40..120
Расход топлива, кг/ч	320
Мощность установленного электрооборудования, кВт	23,5
Производительность вентилятора теплоносителя, м ³ /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, °С	105,3
Степень нагрева наружного воздуха, °С	95,3
Подача нагретого воздуха, м³/ч	27400
Температура уходящих дымовых газов, °С	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, кВт ч/кВт	0,024
Удельная масса, кг ч/кВт	10,46
КПД агрегата	0,75

Удельный расход условного топлива при использовании соломы был на 11,8 % ниже, чем у дров. Поэтому, также, 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 виде топлива соломы, по сравнению с 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 %.

Литература

1. Чеботарев, В.П. Использование местных видов топлива в сельско-хозяйственном производстве Республики Беларусь /В.П.Чеботарев, И.В.Барановский, С.Г.Кривонос, О.С.Дубровский, А.В.Искрицкий] // Научно-технический прогресс в сельско-хозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практич. конф. (Минск, 21-22 октября 2009 г.) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». В 2 т.: Т.2. - Минск, 2009. - 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 сельско-хозяйственном производстве. Сб. статей междунар. науч. – практич. конф. Минск, 17 – 19 октября 2007 г./ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». В 2 т. Т.2. – Минск, 2007. - С.214–218.

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

4. Дашков В. Н. К обоснованию основных парамет-

ров теплогенератора на местных видах топлива для зерносушилок./В.Н. Дашков, А.С.Тимошек, В.П. Чеботарев// Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 3-й Междунар. науч.-технич. конф. / ВИЭСХ. Ч.2.– М., 2003 г. – С.269-275.

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: межведомств. 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.Карташевич, А.С.Тимошек, С.А.Кукса, В.П.Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. межведомств. тематич. сб. / РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». В 2 т. Том 1. Минск, 2003. - Вып.37. - С.119-124.

Анотація. У статті викладено аналіз перспективи використання соломи для сушіння зерна та представлені результати випробувань розробленого дослідного зразка повітрянагрівача, який використовує як паливо рулони соломи. Основними вузлами топкового повітрянагрівача АТС-1 є камера згоряння, камера допалювання, теплообмінник, багатоходовий калорифер, короб, повітропровід, димова трубка, перепускний колектор, розподільні повітроводи, вентилятори, вибуховий клапан, завантажувальні двері. Має теплову потужність 908 кВт; споживану електричну потужність – 21,7 кВт; витрата палива 320 кг / год; ККД – 0,75.

Summary. The article presents an analysis of the prospects for the use of straw for drying grain and presents the results of testing the developed prototype of an air heater using straw as a fuel. The main components of the ATS-1 combustion air heater are a combustion chamber, a post-combustion chamber, a heat exchanger, a multi-way heater, a duct, a smoke pipe, a bypass manifold, air distribution ducts, fans, an explosive valve, a loading door. It has a heat output of 908 kW; consumed electrical power 21.7 kW; fuel consumption 320 kg / hour; The efficiency is 0.75.

Стаття надійшла до редакції 14 вересня 2017 р.