

К ВОПРОСУ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

В. В. ПОДДУБИЦКИЙ, В. Н. ДАШКОВ, Л. Ф. МИНЬКО, А. Н. АСАДЧИЙ

РНПУП «Институт энергетике НАН Беларуси»,
г. Минск, Беларусь, 220072, e-mail: vitali.poddubitski@gmail.com, asadchyi@tut.by

В. П. ЧЕБОТАРЕВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Беларусь, 220012

(Поступила в редакцию 18.01.2017)

В статье представлены теоретические и экспериментальные исследования влияния влажности топлива на его теплотворную способность, а также на тепловую мощность и геометрические параметры топочных агрегатов, которые могут использоваться в качестве топок воздухонагревателей для зерносушилок. При сборе зерновых порядка 7–8 млн тонн, на сушку ежегодно тратится порядка 50 млн м³ природного газа или примерно 50 тыс. тонн дизельного топлива. Это ведет к значительным экономическим затратам и отрицательно воздействует на окружающую среду. В последние годы проявилась тенденция к переходу на предприятиях АПК к воздухонагревателям, работающим на местных видах топлива, таких как дрова, щепа, опилки и солома. Широкое применения находят воздухонагреватели, работающие на щепе. Однако при их эксплуатации выяснились проблемы с колебанием заданной тепловой мощности, вследствие разницы в качестве топлива. При конструировании воздухонагревателей на местных видах топлива, в первую очередь, следует принимать в расчет влажность топлива, как основной критерий, влияющий на мощность и расход топлива.

Ключевые слова: топочный агрегат, возобновляемое топливо, влажность, теплотворная способность.

The article presents theoretical and experimental studies of the influence of fuel humidity on its calorific value, as well as on the thermal power and geometric parameters of combustion plants that can be used as furnaces of air heaters for grain dryers. When the harvest of grain is about 7-8 million tons, about 50 million m³ of natural gas or about 50 thousand tons of diesel fuel are used for drying each year. This leads to significant economic costs and negatively impacts the environment. In recent years, there has been a trend in agro-industrial enterprises towards switching over to air heaters operating on local fuels such as firewood, chips, sawdust and straw. They widely use air heaters that work on chips. However, during their operation there occurred problems with the fluctuation of specified thermal power, due to the difference in the quality of fuel. When designing air heaters working on local fuels, fuel humidity should be taken into account first of all as the main criterion affecting the power and fuel consumption.

Key words: combustion plant, renewable fuel, humidity, calorific value.

Введение

Развитие энергетики в Республике Беларусь показало все более возрастающую роль местных видов топлива как дешевую и более экологически чистую альтернативу ископаемым топливам, таким как нефть и газ [1]. Наибольшее распространение получают энергетические системы, использующие в качестве топлива древесину в различном виде (дрова, щепа, опилки). Наличие в республике большого количества отходов древесины, а также простота конструкции топочных агрегатов работающих на твердом топливе, позволяют создавать топочные агрегаты относительно большой мощности с наибольшим экономическим эффектом от использования дешевого топлива.

Однако при конструировании топочных агрегатов, работающих на древесине, конструкторы сталкиваются с проблемами неравномерного горения и подачи топлива. Это существенно уменьшает тепловую мощность воздухонагревателя.

Основная часть

Воздуонагреватели, работающие на крупнокусковой древесине (дровах), имеют большие габариты и требуют постоянного присутствия дополнительного персонала, так как автоматизировать процесс подачи дров в топку, на малых предприятиях, практически невозможно. Такие воздухонагреватели имеют относительно малую мощность вследствие неоднородности топлива как по плотности, так и по влажности, а так же учитывая человеческий фактор (усталость работников, которые загружают агрегат вручную).

Воздуонагреватели, работающие со щепой и опилками, имеют большую степень автоматизации загрузки, что исключает наличие дополнительного обслуживающего персонала, а габариты топлива позволяют подавать его в топку непрерывно и равномерно. Это позволяет избежать колебания мощности воздухонагревателя из-за отсутствия цикличности загрузки. Однако большую проблему по-прежнему играет влажность топлива, которая влияет на теплотворную способность топлива, а следовательно, и на мощность воздухонагревателей.

При конструировании всех видов воздухонагревателей основным параметром является часовой расход топлива применительно к мощности агрегата. Часовой расход топлива для воздухонагревателей на местных видах топлива, определяется по формуле [2]:

$$B_m = \frac{W_B}{Q_H^P} \cdot 3600, \text{кВт} / \text{ч},$$

где W_B – номинальная мощность воздухонагревателя, кВт; Q_H^P – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг.

В свою очередь от количества подаваемого топлива зависят габаритные параметры топок воздухонагревателей, такие как длина (L_m), ширина ($Ш_m$) и высота (H_m), которые рассчитываются по следующим формулам [3, 4]:

$$L_m = \frac{V_m}{S_2}, \text{ м};$$

$$Ш_m = \frac{S_2}{L_m}, \text{ м};$$

$$H_m = \frac{V_m}{S_2}, \text{ м},$$

где V_m – объем топочного пространства, м^3 ; S_2 – площадь зеркала горения, м^2 .

Объем топочного пространства V_m , в котором происходит горение топлива, рассчитывается по следующей зависимости [4]:

$$V_m = \frac{B_m \cdot Q_H^p}{Q_v}, \text{ м}^3,$$

где Q_v – рекомендуемая величина теплового напряжения топочного объема, $Q_v=250000 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}$ ($1046700 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{ч}$) [3].

Площадь зеркала горения S_2 рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$S_2 = \frac{B_m \cdot Q_H^p}{Q_2}, \text{ м}^2,$$

где Q_2 – величина теплонагрузки зеркала горения, $Q_2=500000 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ ($2093400 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч}$) [4]

Расчетные параметры воздухонагревателя мощностью 100 кВт в идеальных условиях с применением сухой щепы с низшей теплотворной способностью = 18700 кДж/кг [5]:

часовой расход топлива:

$$B_m = \frac{100}{18700} \cdot 3600 = 19,3, \text{ кг/ч};$$

объем топочного пространства:

$$V_m = \frac{19,3 \cdot 18700}{1046700} = 0,3, \text{ м}^3;$$

площадь зеркала горения:

$$S_2 = \frac{19,3 \cdot 18700}{2093400} = 0,17, \text{ м}^2.$$

Таким образом, геометрические параметры топки будут следующими:

$$L_m = \frac{0,3}{0,17} = 1,8 \text{ м};$$

$$Ш_m = \frac{0,17}{1,8} = 0,09 \text{ м};$$

$$H_m = \frac{0,3}{0,17} = 1,8 \text{ м}.$$

Объектом исследования являлась крупная щепа лиственных пород древесины (береза) [6], проверяемая на влажность методом высушивания [7, 8] и на теплотворную способность при различной влажности с использованием калориметра.

В результате измерений была установлена низшая теплотворная способность щепы отличная от значения по ГОСТ и приближающаяся к высшей теплотворной способности [6], а также соответствующая следующим значениям (табл. 1).

Таблица 1. Экспериментальные данные по низшей теплотворной способности и влажности топлива

Влажность пробы, %	Низшая теплотворная способность в кДж/кг	Низшая теплотворная способность в ккал/кг
0	19724,5	4711,1
16,6	17115,1	4087,9
54,4	10830,3	2586,8

В результате проведенных исследований была установлена линейная зависимость конструктивных параметров топок воздухонагревателей от влажности топлива. При установлении зависимости теплотворной способности от влажности экспериментально было установлено, что снижение теплотворной способности местных видов топлива, в частности щепы, при повышении влажности от 0 до 17 % не является существенным и составляет порядка 13%.

Топливо приобретает влажность 17 % при хранении в необорудованном помещении, защищенном от атмосферных осадков. Такие помещения есть на любом предприятии. При неправильном хранении топлива – под открытым небом, его влажность может достигнуть 50–55 %, что существенно снижает теплотворную способность топлива (более 45 % от теплотворной способности абсолютно сухой щепы и 37 % от теплотворной способности топлива при 16 % влажности). При конструировании воздухонагревателей на местных видах топлива, а именно на щепе, следует принимать влажность топлива при нормальных условиях хранения – 17 %. При пересчете первой формулы было установлено, что при использовании топлива с влажностью 17 %, его количество для поддержания мощности в 100 кВт увеличится на 1,7 кг/ч по сравнению с абсолютно сухим топливом, а при использовании щепы влажностью 55 % – на 14 кг/ч.

Таким образом, установлено, что значительное понижение тепловой мощности воздухонагревателя напрямую связано с уменьшением теплотворной способности топлива. Увеличение часового расхода топлива B_m влечет за собой необходимость увеличивать геометрические размеры топочных агрегатов (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость геометрических параметров от часового расхода топлива

Параметры	$L_m, м$	$Ш_m, м$	$H_m, м$
$B_m=19,3$ кг/ч	1,8	0,09	1,8
$B_m=33,24$ кг/ч	2	0,15	2

При нормальной влажности в 17 % данное увеличение габаритов приведет к перерасходу топлива порядка 10 кг/ч и повышению мощности на 58 %, что может привести к поломке воздухонагревателя вследствие превышения допустимых значений заложенных при конструировании.

Заключение

Одной из актуальных проблем современной энергетики АПК, является создание воздухонагревателей на местных видах топлива, в которых колебания тепловой мощности будут минимальны.

При конструировании воздухонагревателей, работающих на местных видах топлива, в частности, – древесной щепе, следует учитывать влажность топлива, от которой зависит теплотворная способность и, следовательно, тепловая мощность, а также часовой расход топлива. Необходимо при расчетах принимать среднюю влажность топлива в 17 %. Такая влажность будет соответствовать правильному хранению топлива в помещении, защищенном от атмосферных осадков. Но, с целью компенсации приемлемых колебаний влажности различных пород древесины и различных партий топлива, следует увеличивать геометрические параметры топок воздухонагревателей на 20–25 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дашков, В. Н. К вопросу использования местных видов топлива в сельском хозяйстве [Текст] / В. Н. Дашков, В. В. Поддубицкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47, т. 2. – С. 10–16.
2. Хзмалян, Д. М. Теория горения и топочные устройства / Д. М. Хзмалян, Я. А. Каган. – М.: Энергии, 1976. – 487 с.
3. Сабуров, Э. Н. Аэродинамика и конвективный теплообмен в циклонных нагревательных устройствах / Э. Н. Сабуров. – Л.: Изд. ЛГУ, 1992. – 240 с.
4. Щеголев, М. М. Топливо, топки и котельные установки / М. М. Щеголев // Тепловые электрические станции. – М., 2006.
5. Красниченко, А. В. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. В 2-х томах. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – М., 1961. – 862 с.
6. ГОСТ Р 54220-2010 (ЕН 14961-1: 2010). Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 1. Общие требования. Стандартиформ. – М., 2010.
7. ГОСТ Р 54186-2010 (ЕН 14774-1: 2009). Биотопливо твердое. Определение влаги высушиванием. Часть 1. Общая влага. Стандартиформ. – Москва 2010.
8. ГОСТ Р 54192-2010 (ЕН 14774-2: 2009). Биотопливо твердое. Определение влаги высушиванием. Часть 2. Общая влага. Ускоренный метод. Стандартиформ. – М., 2010.