

Таблица 1. Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле суглинистых почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	24,5	1202	10	122	74	996
	0 - 40	47,2	1765	19	188	173	1386
	0 - 100	98,6	4091	62	436	438	3155
Пашня	0 - 20	74,7	2685	33	209	257	2189
	0 - 40	81,4	4517	64	360	425	3667
	0 - 100	102,8	6022	104	493	612	4811
Огород	0 - 20	199,1	4624	69	370	550	3636
	0 - 40	204,4	8703	131	700	895	7265
	0 - 100	235,0	11950	258	1014	1250	9914

Таблица 2. Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле супесчаных почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	37,8	1419	13	82	117	1208
	0 - 40	46,9	1866	28	143	280	1414
	0 - 100	72,8	2891	59	193	467	2172
Пашня	0 - 20	41,1	1904	23	217	104	1556
	0 - 40	57,7	2551	35	293	181	2042
	0 - 100	84,9	3505	70	409	321	2706
Огород	0 - 20	151,2	5342	53	376	554	4361
	0 - 40	221,6	7910	100	567	845	6398
	0 - 100	260,7	9395	227	698	1299	7170

Таблица 3. Запас и закономерности распределения содержания азота в профиле песчаных почв

Угодье	Мощность слоя, см	Гумус, т/га	Азот общий, кг/га	Соединения азота, кг/га			
				минеральные	легкогидролизующие	трудногидролизующие	негидролизующие
Лес	0 - 20	9,8	340	13	71	64	192
	0 - 40	13,6	631	20	142	127	342
	0 - 100	22,8	1333	58	295	288	692
Пашня	0 - 20	46,4	1623	24	199	140	1252
	0 - 40	59,4	2292	43	326	269	1654
	0 - 100	86,4	3453	89	472	575	2318

Изучение данного вопроса приобретает практически важное значение, так как даже небольшой процент аккумуляции нитратов кислотных дождей, выпадавших в результате их образования при взаимодействии окислов азота продуктов сгорания при сжигании органического топлива в энергоустановках с молекулой воды атмосферы, в почве может в совокупности с остальными условиями оказать отрицательное воздействие на состояние почвы.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ровинский Ф.Я., В.И. Егоров. Озон, окислы азота и серы в нижней атмосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 185 с.
 2. Израэль Ю.А., И.М. Назаров. Кислотные дожди. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 269 с.

3. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
 4. Д.С. Орлов. Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
 5. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. – М.: Колас, 1982. – 247 с.
 6. Помазкина Л.В. Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, 1985. – 176 с.
 7. Кудуяров В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений. – М.: Наука, 1989. – 215 с.
 8. Семенов Н.Н., Невмержицкий Н.В. Азот в земледелии Беларуси. – Мн.: Бел. изд. тов-о «Хата», 1997. – 196 с.
 9. Вильдфлуш И.Р. Агрохимия. – Мн.: Ураджай, 1995. – 479 с.

Статья поступила в редакцию 14.03.2007

УДК 62-664.263

Кушнерик В.В.

ОТХОДЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭНЕРГИИ

Введение

В последнее время в Республике Беларусь уделяется огромное внимание использованию местных видов топлива для получения тепловой и электрической энергии. В данной статье рассматривается один из новых способов термической утилизации отходов растениеводства.

Задача использования отходов производства для получения пара, тепла и электроэнергии является в настоящее время крайне актуальной. В условиях постоянного удорожания энергетического топлива выгода от сжигания отходов становится существенной. Кроме того, и это в ряде случаев еще

более важно, решается задача исключения складирования, транспортировки или захоронения отходов.

Основные проблемы при сжигании отходов растениеводства

При сжигании отходов возникают, по крайней мере, три проблемы:

- как правило, химический состав отходов и их физические свойства довольно далеки от энергетических топлив, что вызывает огромные трудности (шлакование, коррозия поверхностей нагрева, низкая эффективность сжигания, загрязнение конвективных поверхностей и др.) при их сжигании традиционными способами;
- промышленность до сих пор не выпускает специализированных котлов для сжигания различных типов отходов (кроме некоторых видов древесных отходов). Требуется специфическое оборудование топочных устройств, систем подготовки и подачи топлива;
- важным является проблема газовых выбросов, так как промышленные и сельскохозяйственные отходы имеют сложный состав и могут генерировать повышенные концентрации вредных компонентов, нетипичных для традиционного сжигания.

Все указанные проблемы в наибольшей степени концентрируются при решении задачи перевода имеющихся котлов, сжигающих природный газ, на сжигание твердых отходов. В этом случае в котельных отсутствуют системы подготовки и подачи твердого топлива, золоудаления и очистки дымовых газов от пыли. Кроме того, газовые котлы наиболее компактны, а их конвективные поверхности нагрева выполнены с небольшими шагами между трубами и не приспособлены к очистке от отложений.

За рубежом, особенно в Скандинавских странах, давно обратили внимание на указанные проблемы, и к настоящему времени они в основном решены применительно к сжиганию сельскохозяйственных отходов и отходов лесопромышленного комплекса. Разработано различное оборудование, предназначенное для подготовки, подачи и сжигания таких отходов. В подавляющем большинстве случаев это новое оборудование, установленное в новых котельных (или взамен старого в существующих). Реконструкции существующих газовых котлов являются единичными. В России и странах СНГ выполнялся ряд проработок машиностроительными заводами, однако новые котлы еще широко не применяются. Реконструкции существующих котлов носят единичный характер и зачастую при удачных технических идеях несут все же кустарный характер [2].

В существующих котлах применяются различные типы колосниковых решеток: неподвижные решетки, подвижные решетки, решетки с движущимся полотном, вращающиеся решетки и вибрационные решетки. Эти технологии имеют определенные преимущества и недостатки в зависимости от свойств топлива, поэтому выбор метода сжигания топлива следует производить на основе тщательного планирования.

Колосниковые решетки предназначены для сжигания топлива из биомассы с высоким содержанием влаги, различными размерами частиц (с ограничением по нижнему пределу количества мелких частиц в топливной смеси) и высокой зольностью. Возможно использование смесей различных видов древесины, однако существующие технологии не позволяют сжигать смеси древесного топлива с соломой, зерновыми и травами из-за различий в характеристиках горения, низкой влажности и низкой точки плавления золы.

Анализ энергетического потенциала отходов растениеводства

Солома является побочным продуктом, образующимся при выращивании коммерческих культур, главным образом зерновых.

Наиболее важным аргументом использования соломы в энергетических целях является то, что она является CO_2 -нейтральным топливом. Это означает, что при сжигании соломы выделяется то же самое количество CO_2 в атмосферу, что и в процессе ее естественного разложения, не оказывая влияния на усиление парникового эффекта [5].

Удельная теплота сгорания гранул из соломы составляет 16,3 МДж/кг при влажности 8%, а плотность в 4 раза превышает плотность больших тюков соломы и составляет приблизительно 550 кг/м³ [5].

Солома зерновых и зернобобовых культур как вид топлива уже используется во многих государствах, в том числе и в Беларуси. Существующие технологии позволяют реализовать процесс получения тепла из соломы следующим образом: сначала солома сжигается при коэффициенте избытка воздуха меньше 1 в газогенераторе, затем образовавшиеся газы дожигаются в отдельной камере дожигания или жаровом канале. Конструкция таких установок довольно громоздкая – это один из недостатков существующих технологий сжигания соломы. В статье предлагается новый способ сжигания соломы, используя который можно будет сжигать солому в одном топочном устройстве. Но вначале оценим энергетический потенциал соломы.

Массу образовавшейся соломы обычно рассчитывают умножением урожайности зерновых культур на поправочные коэффициенты, которые составляют: для озимой пшеницы 1,5, для ячменя – 1,2, для озимой ржи – 2. Для оценки возьмем средний коэффициент – 1,6 [1].

По данным оперативной информации о ходе сельскохозяйственных работ в сельскохозяйственных организациях республики по состоянию на 26.09.2006г скошено зерновых и зернобобовых культур (без кукурузы) – 2130,29 тыс.га при урожайности 28,17 ц/га [1]. Рассчитаем массу образовавшейся соломы $28,17 \times 1,6 = 45,07$ ц/га. Тогда с 2130,29 тыс.га получится $2130290 \times 45,07 = 96016431$ ц. или примерно 9,6 млн. тонн., что эквивалентно 4,9 млн. т у.т. Удельная теплота сгорания соломы при влажности 20% составляет примерно 15 МДж/кг. Тогда общий энергетический потенциал соломы составит: $15 \text{ МДж/кг} \times 9,6 \text{ млн. тонн} = 0,14 \text{ ТДж}$.

Физико-математическая модель горения отходов растениеводства

Химический состав соломы в сухом виде в % к массе следующий: зола – 4,5; летучие – 75-81; водород (H_2) – 5,9; углерод (C) – 47,5; азот (N) – 0,3-1,5; сера (S) – 0,15; хлор (Cl) – 0,4; кремний (Si) – 0,8; алюминий (Al) – 0,005; железо (Fe) – 0,01; кальций (Ca) – 0,4; магний (Mg) – 0,07; натрий (Na) – 0,05; калий (K) – 1,0; фосфор (P) – 0,08 [2].

Как видно из химического состава, при сжигании соломы обычным способом выделится определенное количество NO_x , CO_2 , CO и др. Для улавливания таких веществ, как правило, необходимы дополнительные механизмы, что приводит к усложнению конструкции топочного устройства. Применение прерывистой подачи воздуха в топку позволит упростить конструкцию топочного устройства.

Для математического описания процесса горения необходимо совместное рассмотрение уравнений баланса энергии для конденсированной и газовой фаз [6].

Уравнение сохранения энергии в общем случае:

$$c_g g \left(c_k \rho_k + c_{dpr} \rho_{dpr} \right) \frac{\partial T_k}{\partial t} = \lambda \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(\frac{\rho_k}{\rho_{k0}} \right)^n \frac{\partial T_k}{\partial x} \right) - \frac{\partial \rho_k}{\partial t} Q - \alpha S_{ss} (T_k - T_g). \quad (1)$$

Уравнение сохранения энергии в газе:

$$c_g g_g \frac{\partial T_g}{\partial x} = -(1-\nu) \frac{\partial \rho_k}{\partial t} c_g (T_k - T_g) + \alpha S_{ss} (T_k - T_g). \quad (2)$$

Уравнение сохранения массы газа:

$$\frac{\partial g_g}{\partial x} = -(1-\nu) \frac{\partial \rho_k}{\partial t}, \quad g_g = \rho_g V_f. \quad (3)$$

Кинетические уравнения реакции:

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial t} = -\rho_k w, \quad \frac{\partial \rho_{dpr}}{\partial t} = \nu \rho_k w, \quad (4)$$

$$\rho_k w = \begin{cases} \rho_k k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT_k}\right) & \text{при } \rho_k > 0; \\ 0 & \text{при } \rho_k = 0. \end{cases}$$

Скорость образования газа в единице объема будет определяться следующим уравнением:

$$-\frac{\partial (\rho_k + \rho_{dpr})}{\partial t} = -(1-\nu) \frac{\partial \rho_k}{\partial t} = (1-\nu) \rho_k w. \quad (5)$$

Также необходимо равенство, следующее из закона сохранения вещества:

$$\rho_{dpr} = \nu (\rho_{k0} - \rho_k). \quad (6)$$

Предполагается, что коэффициент теплообмена α зависит от скорости выделения газа следующим образом:

$$\alpha(\rho_k w) = \begin{cases} 0 & \text{при } (1-\nu) \rho_k w \geq \varepsilon; \\ \alpha & \text{при } (1-\nu) \rho_k w < \varepsilon. \end{cases} \quad (7)$$

где ε – некоторая малая константа по сравнению с $\rho_k w T_c$.

Систему уравнений (1)-(7) нужно дополнить граничными и начальными условиями:

• начальные условия:

$$x = 0, \quad 0 \leq t \leq t_{ig} : T_k = T_{ig};$$

$$x = 0 : G = G_0 = 0, \quad x = l : \frac{\partial T_k}{\partial x} = 0.$$

• граничные условия:

$$t = 0, \quad 0 \leq x \leq l, \quad T = T_0, \quad \rho = \rho_{k0},$$

$$x = 0, \quad t \geq t_{ig} : \frac{\partial T_k}{\partial x} = 0; \quad x = 0 : T_g = T_k(x = 0).$$

Здесь T_k – температура пористого вещества; T_g – температура газа; ρ_k , ρ_{dpr} – текущее количество исходного состава и конденсированных продуктов в единице объема топлива; t – время; x – пространственная координата; g_g – массовый расход газа; $\rho_g V_f$ – количество газовой фазы в единице объема топлива и скорость фильтрации газа; w – скорость реакции разложения газогенерирующего состава; k_0 , E – энергия активации и предэкспоненциальный

множитель реакции; λ – эффективный коэффициент теплопроводности; α – коэффициент теплообмена между газовой и конденсированной фазами в законе Ньютона; S_{ss} – удельная поверхность топлива; l – длина рулона; t_{ig} – длительность поджигающего импульса; T_{ig} – температура зажигания.

Решив систему уравнений (1)-(7), получим скорость горения:

$$\omega = \left(\frac{\sqrt{2}}{\theta_0 + \theta_c} \right) \exp\left(\frac{\theta_c}{2}\right),$$

где θ_c – температура конденсированных продуктов при фильтрации газа через несгоревшую часть топлива в зоне реакции, θ_0 – температура конденсированных продуктов при фильтрации газа через несгоревшую часть топлива в зоне прогрева.

Известна экспериментальная формула [7]:

$$\lg\left(\frac{k_s d}{CoD}\right) = 0,5 \left[\lg Pe + \exp(-5,5 \lg Pe) - 1 \right], \quad (*)$$

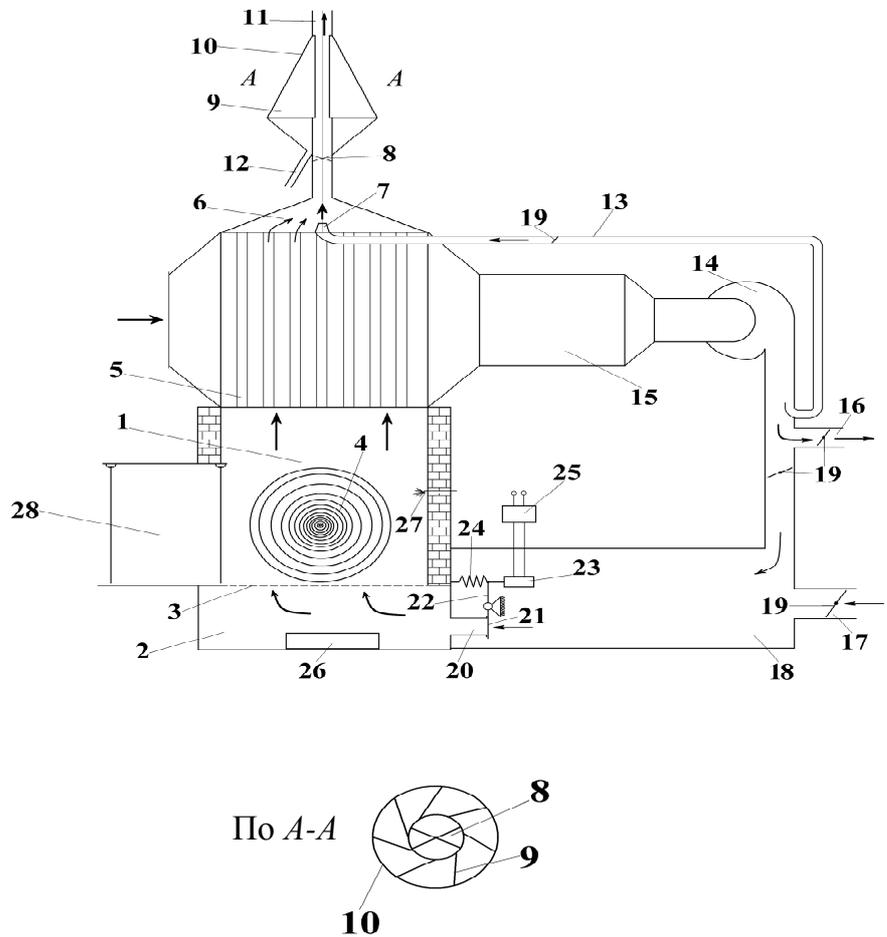


Рис. 1. Устройство для сжигания соломенных тюков. 1 – камера горения, 2 – подколосниковый короб, 3 – колосники, 4 – топливо, 5 – трубчатый воздухоподогреватель, 6 – газовый короб, 7 – сопло, 8 – завихритель, 9 – лопатка, 10 – уширение, 11 – дымовая труба, 12 – зольный канал, 13 – воздухопровод, 14 – вентилятор, 15 – утилизационный теплообменник, 16 – сбросный канал, 17 – воздушный канал, 18 – воздушный кожух, 19 – шиберы, 20 – воздушный короб, 21 – заслонка, 22 – рычаг, 23 – соленоид, 24 – пружина, 25 – блок управления, 26 – зольник, 27 – форсунка, 28 – люк для загрузки топлива

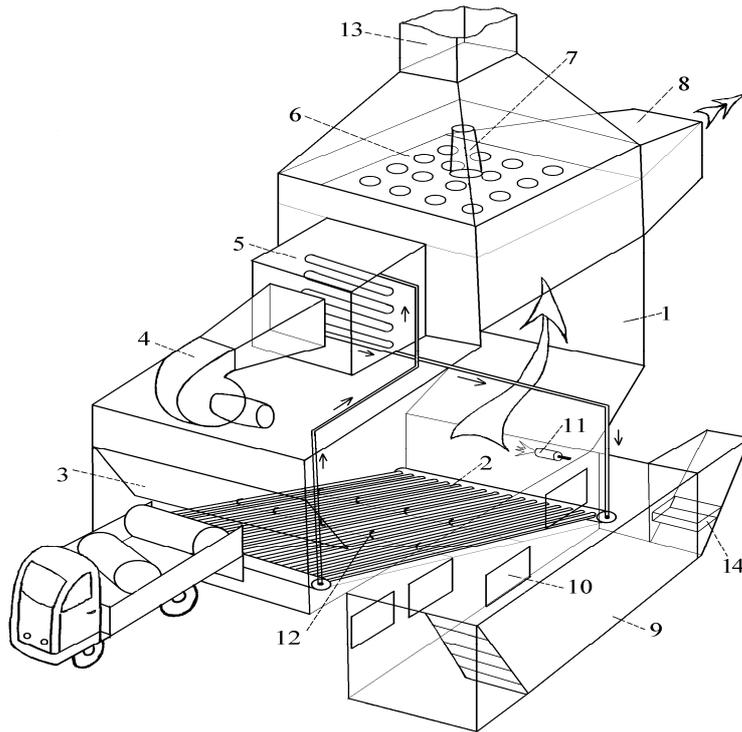


Рис. 2. Устройство для сжигания крупногабаритного топлива. 1 – корпус, 2 – колосники, охлаждаемые водой, 3 – люк, 4 – вентилятор, 5 – калорифер, работающий от нагрева колосников, 6 – воздухонагреватель, 7 – сопло, 8 – воздушный короб, 9 – прямик, 10 – шиберы, 11 – форсунка, 12 – система золоудаления, 13 – дымовая труба, 14 – зольник. Большими стрелками показано движение горячих газов, малыми стрелками – движение охлаждающей воды [8].

где $Pe = \frac{wd}{D}$ – диффузионный критерий Пекле, d – размер частицы, Co – концентрация кислорода в потоке, D – коэффициент диффузии, w – скорость обдувания, $Ks = \frac{\Delta G}{S\tau}$ – поверхностная скорость горения, ΔG – убыль веса за период, S – поверхность горения, τ – период. Из соотношения (*) можно оценить период одной пульсации, а это даст возможность определить время, в течение которого необходимо обдувать поверхность горящего вещества, сопоставляя выражения $\frac{k_s d}{CoD}$ (интенсивность выгорания) и $\frac{wd}{D}$ (аэродинамические характеристики потока).

Известно, что нестационарное обдувание горящего топлива интенсифицирует процесс горения. Это достоинство в топочном устройстве реализуется использованием прерывистой подачи воздуха в топочный объем. Оказывается, имеются такие режимы прерывистости, когда общий расход воздуха становится больше, чем при стационарной подаче, что позволяет увеличить тепловую мощность топки [4]. Кроме того, регулируя соотношение времени открытия и закрытия заслонки можно добиться такого режима горения, при котором будет происходить то газогенерация, то дожигание образовавшихся газов в одном топочном пространстве. Пока заслонка закрыта, происходит горение с коэффициентом избытка воздуха меньше 1, при открытой заслонке коэффициент из-

бытка воздуха больше 1. Таким образом, прерывистой подачей воздуха в топку можно добиться следующих эффектов:

- возможность подать больше воздуха, чем при стационарной подаче, что повысит тепловую мощность;
- улучшение доступа воздуха в слой горящего топлива;
- в одном топочном объеме можно осуществлять как газификацию твердого топлива, так и дожигание образовавшихся газов, что позволит упростить конструкцию топочного устройства.

Предлагаемые конструктивные решения

Конструкции топок для сжигания соломы в рулонах, предложенная автором совместно с научным руководителем В.С. Северяниным, изображены на рисунках 1 и 2.

Работает топка следующим образом. В камеру горения 1, на колосниковую решетку 3, через люк 28 забрасывается топливо 4 (тюки из соломы, сена, листьев, пни т.п.), которое поджигается с помощью форсунки 27 резервным топливом (газ, мазут), после чего форсунка 27 отключается. Форсунка 27 может включаться и в процессе горения основного топлива, если это необходимо (например, очень влажное топливо). Вместе с зажиганием форсунки 27 включается вентилятор 14. Сопло 7 создает эжекционный эффект в камере горения топки. Подача воздуха в камеру горения топки осуществляется с помощью поворотной заслонки 21, через воздушный короб 20 и подколосниковый короб 2. Продукты сгорания, двигаясь через трубчатый воздухонагреватель 5, нагревают поток воздуха, направленный в утилизационный теплообменник 15 вентилятором 14.

Часть воздуха, нагнетаемого вентилятором 14, подается с помощью воздуховода 13 для работы сопла 7. Часть воздуха подается в воздушный кожух 18. Продукты сгорания двигаются по дымовой трубе и получают завихрение в завихрителе 8. После завихрителя частицы продуктов сгорания улавливаются лопатками 9 и выбрасываются через зольный канал 12. Очищенные продукты сгорания выбрасываются через уширение 10 в дымовую трубу 11. Блок управления 25 периодически включает соленоид 23, который, в свою очередь, растягивает пружину 24 и закрывает заслонку 21 с помощью рычага 22. Через сбросной канал 16 удаляется лишний воздух. Воздушный канал 17 служит для подачи холодного воздуха в воздушный кожух 18. Шиберы 19 предназначены для регулирования потоков воздуха. Зола из топки удаляется через зольник 26. Таким образом, воздух в камеру горения будет подаваться прерывисто, порциями, это даст возможность большей подачи воздуха в топку, улучшение доступа воздуха к топливу и работы топки как в режиме газогенерации, так и в режиме дожигания генераторных газов.

На данную установку подана заявка на полезную модель 25.12 2006г. коллективом авторов.

Работает топка следующим образом. В корпус 1 через люк 3 забрасывается топливо (тюки из соломы, сена, листьев, пни т.п.), которое поджигается с помощью форсунки 11 резервным топливом (газ, мазут), после чего форсунка 11 отключается. При чем, форсунка 11 может включаться и в процессе горения основного топлива, если это необходимо (например, сильно влажное топливо). Вместе с зажиганием форсунки 11 включается вентилятор 4. Сопло 7 создает эжекционный эффект в камере горения топки. Подача воздуха в камеру горения топки осуществляется с помощью шиберов 10. Часть теп-

лоты, полученной при сжигании топлива, передается охлаждающей воде от колосниковой решетки 2 и отводится в калорифере 5, обдуваемом вентилятором 4. Еще часть теплоты уходит с горячими газами и передается движущемуся воздуху в воздухонагревателе 6, после чего нагретый с помощью воздухонагревателя 6 и калорифера 5 воздух по воздушному коробу 8 направляется к обогреваемому или подсушиваемому объекту. С помощью системы золоудаления 12, выполненной в виде штырей, движущихся в зазорах труб колосниковой решетки 2, (штыри закреплены на металлической планке, которая может перемещаться вдоль труб колосниковой решетки) осуществляется удаление золы из этих зазоров, что улучшает доступ воздуха к горящему топливу. Кроме того, штырями системы золоудаления 12 осуществляется передвижение топлива по колосниковой решетке 2. В приемке 9 производится регулировка подачи воздуха в камеру горения топки с помощью шиберов 10, а также извлечение золы из-под колосниковой решетки 2 и удаление ее в окружающую среду при помощи зольника 14. Продукты сгорания выбрасываются через дымовую трубу 13.

Выводы

1. В Республике Беларусь имеется нереализованный потенциал энергии отходов растениеводства.
2. Предложенная физико-математическая модель позволит определить наиболее эффективные режимы термической утилизации отходов растениеводства.
3. Разработаны схемы конструкций устройств для сжигания отходов растениеводства.

УДК 621.4:536.46

Ассад М.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ

Введение

Сегодня перед мировой экономикой серьезно встал вопрос о быстром истощении традиционных видов энергоресурсов и интенсивном загрязнении окружающей среды антропогенными вредными веществами, поэтому весьма актуальным является вопрос поиска новых более эффективных видов энергоносителей. Одним из таких видов энергоносителей является водород.

Перспективы применения водорода

Применение водорода в качестве энергоносителя для тепловых энергетических установок в значительной мере определяется возможностью его получения в больших количествах при затратах на единицу энергии, сопоставимых с затратами, имеющими место при получении современных высокооктановых бензинов. Ресурсы водорода в природе практически неисчерпаемы. Его суммарная масса составляет 1 % общей массы Земли, а число атомов – соответственно 16 %. Выбор водорода обусловлен также его экологической чистотой при сгорании. При сжигании водорода в кислороде продукты сгорания абсолютно безвредны, а его окисление в воздухе удовлетворяет самым высоким требованиям по выводу в окружающую среду. При его использовании как топлива исключается возможность образования парникового эффекта, не выделяются токсичные окиси углерода, углеводороды, сажа и канцерогенные вещества.

Водород можно рассматривать как универсальное топливо. Обладая высокой экологической чистотой, он может заменить углеводородное топливо в тепловых двигателях (поршневых с воспламенением от искры или сжатия, комби-

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернетсайт Министерства сельского хозяйства [Электронный ресурс]: www.cxsvod.by. – 26.09.2006.
2. Материалы ГНТП «Агропром комплекс – возрождение и развитие села» на 2006 – 2008 годы // Энергоэффективность. – 2006. – №8. С. 5 – 7.
3. Футько, С.И. Химическая структура волн фильтрационного горения газов в инертных пористых средах / С.И. Футько – Минск 2002. – 44с.
4. Северянин, В.С. Топка с вертикальным круговым ворошением и прерывистой подачей воздуха / В.С. Северянин, И.А. Черников // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика. – 2005, № 2(32). – С. 35-37.
5. Ивашкевич, О.А. Рапс — высокоэффективный источник возобновляемого сырья для производства топлива и химической переработки/ О.А. Ивашкевич, Г.Я. Кабо, В.В. Симирский, В.С. Крук // Энергоэффективность. – 2005. – № 6. – С.18-20.
6. Алдушин, А. П. Устойчивость стационарных волн фильтрационного горения // Физика горения и взрыва. 1981. Т. 17. №6. С. 37-49.
7. Северянин, В.С. диссертация «Исследование горения твердого топлива в пульсирующем потоке» на соискание ученой степени кандидата технических наук. Алма-Ата. Казахский научно-исследовательский институт энергетики – 1969. – 123 с.
8. Патент РБ № 3175, F 23B 1/00. 2006г.

Статья поступила в редакцию 20.02.2007

нированных, двигателях Стирлинга, газотурбинных установках и других), авиационное и ракетное топливо, кокс в металлургии, ацетилен при сварке, а также природный газ для бытовых целей. Водород может использоваться также для энергетических установок, как стационарных мощных электростанций, так и передвижных. Следует отметить возможность широкого применения работающих на водороде топливных элементов – электрохимических генераторов. Топливные элементы как источник электрической энергии имеют самый высокий коэффициент полезного использования топлива (теоретически - более 0,9, а практически не менее 0,7).

Для бытовых целей транспорт и распределение водорода могут производиться по трубопроводам аналогично природному газу. Вследствие малой плотности и вязкости по одному и тому же газопроводу и при неизменном перепаде давления водорода можно передать в 2,7 раза по объему больше, чем природного газа [1]. Возможен транспорт по трубопроводам и жидкого водорода. Водород, как и природный газ, может храниться в естественных подземных резервуарах, а жидкий водород – в криогенных емкостях, а также в гидридах металлов, и в растворах.

Такая способность водорода аккумулироваться в разных фазовых состояниях открывает новые возможности в его использовании для энергоснабжения многих потребителей.

Для тепловых двигателей, в том числе и двигателей внутреннего сгорания (ДВС), пригодность любого энергоносителя как топлива определяется его моторными свойствами. Водород в этом смысле обладает рядом преимуществ перед традиционными видами топлива. Массовая теплота сгорания водорода, составляющая 120 МДж/кг, почти в 3 раза выше по