

положительно влияет на рост температуры.

Таким образом, стало возможным определение теоретической температуры горения генераторного газа в жаровом канале для каждой из предполагаемой смеси топлива совместно с горючими отходами.

Выводы

На основании всех теоретических предпосылок проведен эксперимент по испытанию технологии сжигания местных видов топлива совместно с горючими отходами. В результате были получены следующие результаты: температура горения генераторного газа в жаровой трубе в зависимости от вида и условий сжигания топлива достигла порядка 980 °С; дымовых отходящих газов - 180 °С. Экологические показатели процесса при этом соответствовали принятым нормам. При сжигании смеси топлива с соломой наблюдалось зависание, что отрицательно сказывается на процессе газификации.

Таким образом, результаты эксперимента подтвердили увеличение температуры факела горения газа в жаровом канале на 100-150 С °. На 20–30 % повышается теплота сгорания генераторного газа, полученного из смеси топлив с полимерными отходами по сравнению с горением обычного топлива без добавок органических горючих отходов. Соответственно, увеличивается мощность газогенераторной установки. Совместное сжигание растительной биомассы и полимерных отходов в оптимальном соотношении позволит увеличить эффективность процесса газификации.

В ГНУ ИПИПРЭ НАН Беларуси и БГАТУ предложены новые технические решения по усовершенствованию отдельных узлов газогенераторов – камеры газификации, колосниковой решетки и рассекателя топлива, системы подачи топлива в камеру газификации с учетом качественных характеристик используемого топлива, что позволило интенсифицировать процесс газообразования и улучшить эксплуатационные показатели газогенераторов [8].

Литература

1. Левченко С.А. Возможности применения нетрадиционных источников энергии в Беларуси. – НАНБ, 1998.
2. Соловьев В.Н., Бида Л.А. Отработка элементов газификации местных видов топлива органических отходов в обращенном режиме. - Минск, 2003.
3. Поспелова Т.Г., Основы энергосбережения.-Мн: УП Технопринт, 2000.
4. Пат. РБ 1732. Газогенератор для твердого топлива, Лиштван И.И., Нашкевич И.С., Фалюшин П.Л. и др.; Заявл.27.02.1995; Оpubл. 30.03. 1997.
5. Пат. РБ 5032. Газогенератор для отходов растениеводства. Бохан Н.И., Фалюшин П.Л., Буслов А.В. и др.; Заявл. 11.05.1999; Оpubл.14.11.2002.
6. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования.- М.: Изд. «Наука», 1971.
7. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. -М.: Изд. «Наука»,
8. Пат. РБ 3972. Газогенератор для твердого топлива, Ловкис В.Б. , Мелещенко Б.А., Гаель И.А. Фалюшин П.Л. и др., Заявл.08.01.2007; Оpubл. 04.12.2007.

УДК 631.17:635.21

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ

Ловкис В.Б. (БГАТУ), Колос В.А., Сапьян Ю.Н. (ВИМ, г. Москва)

Изложен системный подход по определению энергоемкости процесса сушки с использованием местного и традиционного (жидкого нефтяного) топлива. Полученное выражение для оценки энергетической эффективности сушки зерна позволяет выполнять анализ целесообразности перехода на местное топливо с позиции энергосбережения.

Введение

Применяемые в настоящее время стоимостные и натуральные показатели экономической эффективности использования технологий и комплекса технических средств в сельском хозяйстве не дают полного и объективного представления о допустимом (нормативном) и фактическом уровне ресурсопотребления на выполнение заданных производственных процессов. Такие методы оценки технологии не отражают требований к ним, как с точки зрения эффективности, так и с позиции ресурсосбережения. Поэтому необходим такой подход к оценке механизированных технологий и технологических операций, при котором учитывались бы все энергетические затраты на единицу полученной продукции.

Основная часть

Энергоемкость зерна (МДж/т) при сушке с использованием местного и традиционного (жидкого нефтяного) топлива определяется соответственно по формулам:

$$\mathcal{E}^{\text{MT}} = \mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{MT}} + \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} + \mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{MT}} \quad (1)$$

$$\mathcal{E}^{\text{TT}} = \mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}} + \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} + \mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}} \quad (2)$$

где \mathcal{E}_{T} , $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}$ и $\mathcal{E}_{\text{М}}$ – составляющие полной энергоемкости от расхода топлива, электрической энергии и материалов, заключенных в сушильном оборудовании (от материалоемкости процесса), МДж/т (верхние символы «MT» и «TT» в формулах (1) и (2) обозначают сушку с использованием соответственно местного и традиционного топлива).

Обобщенный (интегральный) коэффициент энергоемкости зерна при переводе сушильной установки на местное топливо согласно [1] представляет собой соотношение:

$$K_{\text{Э}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{MT}} + \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} + \mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{MT}}}{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}} + \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} + \mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}}} \quad (3)$$

Введем частные коэффициенты изменения составляющих полной энергоемкости:

– от расхода топлива

$$K_{\text{ЭТ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{MT}}}{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}}} \quad (4)$$

– от расхода электроэнергии

$$K_{\text{ЭЭТ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}}}{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}}} \quad (5)$$

– от материалоемкости

$$K_{\text{ЭМ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{MT}}}{\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}}} \quad (6)$$

После преобразований формулы (3) с учетом (4) – (6) получим:

$$K_{\text{Э}} = K_{\text{ЭТ}} \delta_{\text{T}}^{\text{TT}} + K_{\text{ЭЭТ}} \delta_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} + K_{\text{ЭМ}} \delta_{\text{М}}^{\text{TT}} \quad (7)$$

где $\delta_{\text{T}}^{\text{TT}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}}}{\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}}} = \text{const}$; $\delta_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}}}{\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}}} = \text{const}$; $\delta_{\text{М}}^{\text{TT}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}}}{\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}}} = \text{const}$ – доли соответствующих составляющих в полной энергоемкости сушки на традиционном топливе.

Для определения коэффициента $K_{\text{ЭТ}}$ по формуле (4) значения $\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{MT}}$ и $\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}}$ рассчитываются соответственно по формулам:

$$\mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{MT}} = g_{\text{MT}} (e_{\text{MT}} + \alpha_{\text{MT}}); \quad \mathcal{E}_{\text{T}}^{\text{TT}} = g_{\text{TT}} (e_{\text{TT}} + \alpha_{\text{TT}}), \quad (8a, б)$$

где g_{MT} и g_{TT} – соответственно расход местного и традиционного топлива на сушку, кг/т;
 e_{MT} и e_{TT} – энергосодержание (низшая теплотворная способность) соответственно местного и традиционного топлива, МДж/кг;

α_{MT} и α_{TT} – энергетические эквиваленты, МДж/кг.

Расход топлива на сушку зерна определяется по формуле [2]:

$$g_T = \frac{Q_{TЭ}}{W_3 e_T \eta_{топ}}, \quad (9)$$

где $Q_{TЭ}$ – расход теплоты, МДж/ч;

W_3 – производительность сушилки по сухому, зерну, т/ч;

$\eta_{топ}$ – КПД топочного агрегата.

Для обеспечения сравнимости показателей расхода местного и традиционного топлива вместо производительности W_3 в формулу (9) подставляется значение плановой производительности $W_{пл}$ (пл. т/ч) [3]:

$$W_{пл} = W_0 K_B K_{K(H)}, \quad (10)$$

где $W_0 = W_3 \frac{(100 - \omega_3)}{100 - \omega_0}$ – производительность по сырому зерну, т/ч;

W_3 – производительность по сухому зерну, т/ч;

K_B и $K_{K(H)}$ – коэффициенты пересчета массы просушенного зерна в плановые тонны в зависимости, соответственно, от влажности зерна до сушки (ω_0) и после сушки (ω_3) и от рода и назначения зерновой культуры.

С учетом (9) и (8а, б) формула (4) для расчета частного коэффициента энергоемкости от расхода топлива примет вид:

$$K_{ЭТ} = \frac{Q_{TЭ}^{MT} e_{TT} \eta_{топ}^{TT} W_{пл}^{TT} (e_{MT} + \alpha_{MT})}{Q_{TЭ}^{TT} e_{MT} \eta_{топ}^{MT} W_{пл}^{MT} (e_{TT} + \alpha_{TT})}. \quad (11)$$

Введем частные относительные коэффициенты изменения:

– расхода тепловой энергии

$$K_Q = \frac{Q_{TЭ}^{MT}}{Q_{TЭ}^{TT}}; \quad (12)$$

– энергосодержания топлива

$$K_{eT} = \frac{e_{MT}}{e_{TT}}; \quad (13)$$

– энергетического эквивалента топлива

$$K_{\alpha T} = \frac{\alpha_{MT}}{\alpha_{TT}}; \quad (14)$$

– КПД топочного агрегата

$$K_{\eta} = \frac{\eta_{топ}^{MT}}{\eta_{топ}^{TT}}; \quad (15)$$

– плановой производительности

$$K_W = \frac{W_{\text{пл}}^{\text{MT}}}{W_{\text{пл}}^{\text{TT}}}, \quad (16)$$

а также коэффициент энергетической эффективности производства традиционного топлива

$$R_{\text{TT}} = \frac{e_{\text{TT}}}{\alpha_{\text{TT}}} = \text{const}. \quad (17)$$

Подставляя эти выражения в формулу (11) получим:

$$K_{\text{ЭТ}} = \frac{K_Q}{K_{\text{ет}} K_{\eta} K_W} \frac{(R_{\text{TT}} K_{\text{ет}} + K_{\alpha T})}{(R_{\text{TT}} + 1)} = \frac{K_Q}{K_{\text{ет}} K_{\eta} K_W} R_{\text{MT}}^{\text{TT}}. \quad (18)$$

В этой формуле элемент $R_{\text{MT}}^{\text{TT}} = \frac{R_{\text{TT}} K_{\text{ет}} + K_{\alpha T}}{K_{\text{ет}} (R_{\text{TT}} + 1)}$ для каждого возможного сочетания

заменяемого и заменяющего топлив имеет конкретное значение, которое можно вычислить по данным [4]. Например, при замене дизельного топлива торфом

$$R_{\text{MT}}^{\text{TT}} = \frac{4,27 \cdot (0,25 \div 0,34) + 0,38}{(0,25 \div 0,34) \cdot 5,27} = 1,10 \dots 1,02, \text{ а природного газа –}$$

$$R_{\text{MT}}^{\text{TT}} = \frac{3,55 \cdot (0,30 \div 0,41) + 0,64}{(0,30 \div 0,41) \cdot 4,55} = 1,25 \dots 1,12 \text{ (большее значение – для торфа}$$

кускового влажностью 40%, меньшее – 25%).

Для определения коэффициента $K_{\text{ЭЭ}}$ по формуле (5) значения $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}}$ и $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}}$ рассчитываются соответственно по выражениям:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} = \frac{(K_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} + \alpha_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}})}{W_{\text{пл}}^{\text{MT}}} \sum_j P_j^{\text{MT}} K_{Nj}^{\text{MT}}; \quad \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} = \frac{(K_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} + \alpha_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}})}{W_{\text{пл}}^{\text{TT}}} \sum_j P_j^{\text{TT}} K_{Nj}^{\text{TT}} \quad (19a, б)$$

где P_j^{MT} и P_j^{TT} – установленная мощность j -го потребителя электроэнергии в сушильной установке, работающей соответственно на местном и традиционном топливе, кВт;

K_{Nj}^{MT} и K_{Nj}^{TT} – коэффициенты использования установленной мощности.

Приняв с несущественной погрешностью, что $K_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} = K_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} = 3,6 \text{ МДж/кВт}\cdot\text{ч}$;

$\alpha_{\text{ЭЭ}}^{\text{MT}} = \alpha_{\text{ЭЭ}}^{\text{TT}} = 9,2 \text{ МДж/кВт}\cdot\text{ч}$; $K_{Nj}^{\text{MT}} = K_{Nj}^{\text{TT}}$, и подставив выражения (19a, б) в формулу (5), получим:

$$K_{\text{ЭЭ}} = \frac{K_{\text{рЭ}}}{K_W} \quad (20)$$

где $K_{\text{рЭ}} = \frac{\sum_j P_j^{\text{MT}}}{\sum_j P_j^{\text{TT}}}$ – коэффициент изменения установленной мощности сушильного

оборудования.

Для определения коэффициента $K_{\text{ЭМ}}$ по формуле (6) значения $\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{MT}}$ и $\mathcal{E}_{\text{М}}^{\text{TT}}$ рассчитываются соответственно по формулам:

$$\Xi_M^{MT} = \frac{M_c^{MT} (a_c^{MT} + r_c^{MT}) \alpha_c^{MT}}{100 W_{пл}^{MT} T_c^{MT}}; \Xi_M^{TT} = \frac{M_c^{TT} (a_c^{TT} + r_c^{TT}) \alpha_c^{TT}}{100 W_{пл}^{TT} T_c^{TT}} \quad (21a, б)$$

где M_c^{MT} и M_c^{TT} – конструктивная масса сушилки, кг;

a_c^{MT} и r_c^{MT} , a_c^{TT} и r_c^{TT} – годовые отчисления соответственно на реновацию и ремонт, %;

α_c^{MT} и α_c^{TT} – энергетические эквиваленты сушильной установки, МДж/кг;

T_c^{MT} и T_c^{TT} – годовая загрузка, ч.

Приняв с несущественной погрешностью, что $a_c^{MT} = a_c^{TT}$, $r_c^{MT} = r_c^{TT}$, $\alpha_c^{MT} = \alpha_c^{TT}$,

$T_c^{MT} = T_c^{TT}$ и подставив выражения (21a, б) в формулу (6), получим:

$$K_{эм} = \frac{K_M}{K_W} \quad (22)$$

где $K_M = \frac{M_c^{MT}}{M_c^{TT}}$ – коэффициент изменения массы сушильной установки.

Подставив выражения (18), (20) и (22) в формулу (7) получим выражение для коэффициента энергоёмкости процесса сушки при использовании местного топлива:

$$K_э = \frac{1}{K_W} \left(\frac{K_Q R_{TT}^{MT}}{K_\eta} \delta_T^{TT} + K_{рэ} \delta_{ээ}^{TT} + K_M \delta_M^{TT} \right). \quad (23)$$

Индекс уровня энергоёмкости процесса $I_э = 100 \left(\frac{1}{K_э} - 1 \right)$ (%) [5] для данного случая определится по формуле:

$$I_э = 100 \left(\frac{K_W K_\eta}{K_Q R_{TT}^{MT} \delta_T^{TT} + K_\eta (K_{рэ} \delta_{ээ}^{TT} + K_M \delta_M^{TT})} - 1 \right) \quad (24)$$

В общем случае эти показатели не являются достаточными для оценки энергетической эффективности производства зерна при переводе сушильной установки на местное топливо, поскольку характеризуют изменение только овеществленных в нем техногенных энергозатрат. В качестве более функционального критерия следует применять индекс уровня интенсификации производства продукции (%) [6]:

$$I_R = 100 \left(\frac{1}{K_R} - 1 \right) = 100 \left(\frac{1}{K_э K_e} - 1 \right), \quad (25)$$

где $K_e = \frac{e^{TT}}{e^{MT}}$ – коэффициент энергосодержания продукции, в данном случае зерна;

e^{TT} и e^{MT} – энергосодержание (энергетическая ценность) МДж/кг.

При замене топлива в топочных агрегатах сушильных установок энергосодержание зерна не изменяется, т.к. в связи с соблюдением требуемых режимов сушки остаются на прежнем уровне его качественные показатели (содержание белка, лизина, клетчатки и т.п.). Таким образом, для сушки зерна индекс уровня интенсификации равен индексу уровня энергоёмкости процесса $I_R = I_э$, определяемому по формуле (24).

Полученное выражение для оценки энергетической эффективности сушки зерна позволяет выполнять анализ целесообразности перехода на местное топливо с позиции энергосбережения.

Например, для идеального случая, когда $K_W=1, K_Q=1, K_\eta=1, K_{рэ}=1, K_M=1$, будем иметь:

$$I_R = I_3 = 100 \left(\frac{1}{R_{ТТ}^{МТ} \delta_1^T + \delta_3^T + \delta_M^T} - 1 \right).$$

Предположим, что $\delta_1^T=0,7$; $\delta_3^T=0,1$; $\delta_M^T=0,2$ (значения, близкие к реальным), тогда при замене дизтоплива торфом индекс уровня интенсификации процесса сушки будет равен:

$$I_3 = 100 \left(\frac{1}{(1,1 \div 1,02) \cdot 0,7 + 0,1 + 0,2} - 1 \right) = (-6,5\%) \div (-1,4\%),$$

т.е. энергетическая эффективность снизится незначительно, особенно в случае применения более сухого торфа.

Заключение

В действительности, по данным испытаний сушилок на разных видах топлива, проведенных на БелМИС, значения коэффициентов изменения производительности, расхода тепловой энергии, КПД топочного агрегата могут меняться в довольно широких пределах. Масса сушильной установки может также изменяться за счет установки дополнительных секций для обеспечения примерно одинаковой производительности при работе на обоих видах топлива. В этой связи показатели ресурсно-энергетической эффективности процесса сушки для каждого варианта замены традиционного топлива в топочных агрегатах на местное следует определять с учетом этих изменений по вышеприведенной методике.

Литература

1. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии сельскохозяйственного производства. – Минск: Урожай, 1994.
2. Колос В.А., Сапьян Ю.Н., Тимошек А.С. Расчет удельного расхода топлива зерносушильными установками / Сборник трудов ИМСХ НАНБ. - Минск, ИМСХ НАНБ, 2005.
3. ОСТ 10 10.1 – 2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Сушильные машины и установки сельскохозяйственного назначения. Методы оценки функциональных показателей / МСХ РФ. – М., 2002.
4. Ловкис В.Б. и др. Методика расчета и минимизации энергоемкости продукции растениеводства / «Агропанорама», №4, 2007, с.10-15.
5. Ловкис В.Б. Снижение энергоемкости производства картофеля путем оптимизации машинных технологий и комплекса технических средств. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. / БАТУ. – Минск, 2000.
6. Колос В.А., Сапьян Ю.Н. Методика сравнительной энергетической оценки технологий растениеводства / Ресурсосберегающие технологии в с.-х. производстве. Материалы международной науч.-практ. конференции, Т.1. - Минск, ИМСХ НАНБ, 2004, с. 247-251.