

УДК 621.311: 502.5

Д.А. ОРАНСКАЯ, А.И. ЯКОВЛЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ПАРОВОЙ РАДИАЛЬНОЙ ТУРБИНЫ ЮНГСТРЕМА И ОЦЕНКА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ СЖИГАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Рассмотрены различные составляющие организации процессов получения тепловой и электрической энергии для жилых и промышленных помещений с использованием котельной установки и радиальной паровой турбины Юнгстрема, с электрогенератором на постоянных магнитах. Определена себестоимость электроэнергии, вырабатываемой мини-ТЭЦ при сжигании различных органических топлив: угля, природного газа, мазута, дизельного топлива, дров, биогаза и биогранул (пиллетов). Установлено, что наименьшая себестоимость получается при применении биогранул. Показана эффективность использования спроектированной установки в сельских негазифицированных районах.

Ключевые слова: турбина Юнгстрема, мини-ТЭЦ, электроснабжение, теплоснабжение.

1. Современные проблемы и тенденции развития энергетики и их отражение в национальных и государственных программах и законах Украины

Современная жизнь невозможна без использования электрической и тепловой энергии. В условиях быстрого технического роста спрос на них постоянно увеличивается. Энерговооружённость во многом определяет технический прогресс, помогает обеспечить благосостояние и жизненный комфорт населения. Поэтому проблема создания дешёвых и экологически чистых источников энергии становится все более актуальной.

Первой и главной тенденцией современной энергетики является быстрое истощение запасов и подорожание углеродного топлива. Если раньше, еще каких-нибудь двадцать лет назад, топить мазутом было дешево и привычно, то немногие могут позволить себе эту роскошь сегодня.

Второй общей тенденцией становится комбинированное производство электроэнергии и чего-нибудь ещё – тепла, холода и так далее. Производить только электроэнергию, если можно дополнительно произвести ещё и тепло, экономически менее выгодно – и это движет когенерацию на первые места внимания собственников, политиков, финансистов и предпринимателей.

Третьей общей тенденцией является увеличение децентрализации производства энергии, его приближение к местам потребления либо производства топлива, например биотоплива в сельской местности. При этом снижаются потери, растёт заинтересованность потребителей, уменьшается их зависимость от монополистов - энергоснабжающих ор-

ганизаций. И, самое главное, снижаются платежи за энергоснабжение.

В утвержденной Верховной Радой Украины еще в 1996 г. Национальной энергетической программе Украины на период до 2010 г. предусмотрено покрытие 10% потребностей народного хозяйства в энергии за счет нетрадиционных возобновляемых и других источников энергии [1]. Однако эта программа не выполняется. Так в 2009 году потенциал биотоплива Украины используется на уровне 0,8% от общего потребления первичных энергоносителей (ОППЭ). В то время как ее экономический потенциал биоэнергетики оценивается в более чем 24 млн. т условного топлива в год.

В Украине в 2004 г принят закон "О комбинированном производстве тепловой и электрической энергии (когенерацию) и использование возобновляемого энергopotенциала".

В настоящее время Кабинет Министров Украины утвердил Концепцию Государственной целевой научно-технической программы "Развитие производства и использование биологических видов топлива".

В стадии рассмотрения находится "Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу", разработанная группой украинских ученых по Указу Президента Украины. Согласно рабочему варианту Стратегии доля биомассы в ОППЭ составит 3.4% (2.7 млн т у.т.) в 2010 г., 7.8% (6.3 млн т у.т.) в 2020 г. и 12.6% (9.2 млн т у.т.) в 2030 г.

Таким образом, существующие и разрабатываемые национальные и государственные программы и законы правильно отражают энергетическую стратегию Украины. Одними из наиболее перспек-

тивных направлений в энергетике для коммерческого использования в ближайшие годы следует считать когенерацию и биоэнергетику.

Следовательно, данный проект – мини-теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) на базе паровой радиальной турбины Юнгстрема и оценка ее эффективности при сжигании различных видов топлива, в том числе биотоплива, является актуальным.

2. Анализ исследований и разработок по малой энергетике. Цель работы

В результате проведенного анализа в публикации установлено, что малая энергетика (мини-ТЭЦ), как путь снижения коммунальных тарифов, основана на локальных источниках энергии на базе комбинированных процессов одновременного производства электроэнергии и тепла, называемых когенерационными.

Преимущества локальных когенерационных энергетических установок:

- высокий коэффициент полезного действия;
- энергетическая независимость;
- уровень тарифов на электроэнергию в 3 – 4 раза ниже, чем в системе или на оптовом рынке, причем с ростом тарифов в энергосистеме разница увеличивается;
- сравнительно короткий срок возведения, от 6 месяцев до полутора лет;
- широкий диапазон единичной мощности, от 5 кВт до 10 – 12 МВт;
- высокая экологичность.

Выбор оборудования для мини-ТЭЦ определяется максимальной величиной электрической нагрузки, режимом работы, применяемой технологией, составом потребителей, режимом эксплуатации и другими показателями.

Большинство мини-ТЭЦ основано на газовых двигателях, приводящих во вращение электрогенератор, который преобразует механическую энергию в электрическую. Так в работе [2] приводится описание газопоршневых мини-ТЭЦ. Указывается на низкую стоимость электроэнергии получаемой этой установкой, которая с учетом дополнительной экономии за счет утилизации тепла в 2 – 3 раза ниже, чем у энергоснабжающих организаций.

В работе [3] приведены схемы, параметры и характеристики мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок (ГТУ) малой мощности.

В основном мини-ТЭЦ предназначены для энерго- и теплоснабжения многоквартирных и одноквартирных домов, а также на малых промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. Для жилых домов их мощность составляет в среднем 5 кВт. Для малых предприятий – свыше 5 кВт. Ниж-

няя граница электрической мощности, при которой работает мини-ТЭЦ на базе газовых моторов, составляет модульную величину порядка 5 кВт, что является приемлемым для многоквартирных домов. А установки на базе газовых турбин, имеющие мощность порядка 500 кВт и выше, могут быть использованы для коттеджей и многоквартирных домов или для небольших производств.

Следует отметить что мини-ТЭЦ на базе газопоршневых и газотурбинных двигателей могут эффективно использоваться только в районах, где есть газоснабжение, т.к. рабочим телом этих установок является природный газ.

Учитывая то, что во многие сельские районы Украины природный газ вообще не подведен, то представляется актуальным создать мини-ТЭЦ работающую на биотопливе. Это позволит использовать ее в местах сельскохозяйственного производства, являющихся сырьевой базой биотоплива.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы является разработка проекта мини-ТЭЦ, основанной на паровой радиальной турбине Юнгстрема, и оценка ее эффективности при сжигании различных видов топлива, в том числе биотоплива.

3. Решение задачи

3.1 Устройство и принцип работы мини-ТЭЦ

Предлагаемый проект мини-ТЭЦ состоит из радиальной паровой турбины с колесами встречного вращения и из двух электрогенераторов, помещенных в одном корпусе (рис. 1). Эти турбины могут перерабатывать в 4 раза больше пара, чем осевая турбина с таким же количеством ступеней, при этом нет неподвижных направляющих лопаток, поскольку направляющими являются лопатки предыдущей ступени второго колеса. Такая турбина очень компактная, ее называют турбиной Юнгстрема [4, 5].

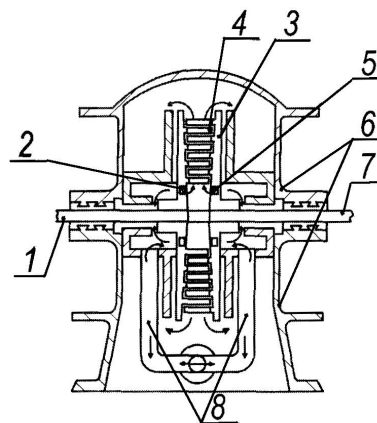


Рис. 1. Конструктивная схема турбины Юнгстрема [4]:
1, 7 – валы; 2, 5 – диски турбины;
3, 4 – рабочие лопасти; 6 – корпус; 8 – паропровод

В рассматриваемой мини-ТЭЦ применен прямоточный котел, состоящий из: топки, колосника, вентилятора, трубы с водой, паропровода, и контрольных приборов [4].

Источником тепловой энергии для получения пара в котельных установках является органическое топливо, рабочим телом является вода [5, 6].

Рабочий процесс включает горение топлива, теплопередачу от горячих дымовых газов к воде или пару, парообразование (нагревание воды до кипения и ее испарение) и перегрев насыщенного пара.

Рассмотрим работу мини-ТЭЦ на примере блока мощностью 150 кВт (рис. 2). Данной мощности достаточно для тепло и энергоснабжения не только приусадебных домов но и промышленных помещений.

В прямоточных котлах питательная вода последовательно проходит испаряющие и перегревающие поверхности за счет питательного насоса. С испарительной поверхности выходит пар, который подается на турбину. Изменение параметров питательной воды (температура, давление) и характеристик топлива учитывается в тепловом балансе, что позволяет оценить экономичность котельной установки.

Тепловой баланс составляют на основании нормативных материалов на 1 кг использованного жидкого или твердого топлива (или на 1 м³ газообразного топлива) или в процентах от подведенной теплоты (рис. 3). Тепловой баланс обуславливает между полезной $Q_{пол}$ и подведенной Q_p^p теплотой, отнесенной к 1 кг (м³) используемого в котле топлива:

$$Q_p^p = Q_{пол} + \sum Q_i, \quad (1)$$

где $Q_{пол}$ – полезная теплота, необходимая для генерации пара; $\sum Q_i$ – сумма затрат теплоты в котле.

Подведенную теплоту Q_p^p определяют как сумму сгорания топлива Q_H^p физической теплоты воздуха $Q_{ф.возд}$ и физической теплоты топлива $Q_{ф.т.}$, т.е.:

$$Q_p^p = Q_H^p + Q_{ф.возд} + Q_{ф.т.} \quad (2)$$

Если котел генерирует пар, то полезную теплоту можно определить по формуле:

$$Q_{пол} = D(h_{п.п} - h_{пв})/B, \quad (3)$$

где D – расход пара, кг/с; $h_{п.п}$ и $h_{пв}$ – энтальпия соответственно перегретого пара и питательной воды, кДж/кг; B – затрата топлива, кг/с.

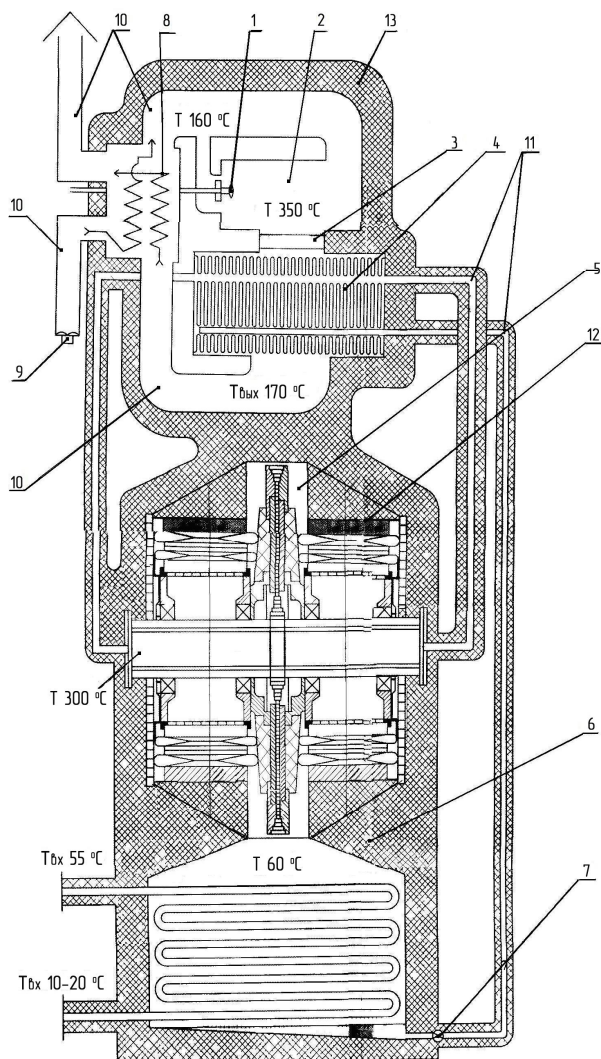


Рис. 2. Схема мини-ТЭЦ для жилого дома: 1 – камера сгорания; 2 – камера смешивания газа с воздухом; 3 – фильтр для твердых частиц; 4 – испаритель-теплообменник; 5 – турбина; 6 – конденсатор-теплообменник; 7 – насос для перекачивания конденсата; 8 – рекуператор – пластинчатый теплообменник; 9 – вентилятор подачи воздуха; 10 – газоходы и воздухоходы; 11 – трубопроводы и паропроводы; 12 – синхронный генератор; 13 – теплоизоляция

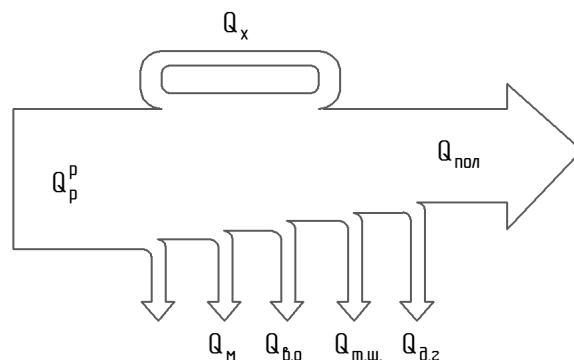


Рис. 3. Схема теплового баланса котла

Общая теплота $\sum Q_i$ состоит из суммы теплот: с дымовыми газами $Q_{д.г.} = Q_2$ химической $Q_x = Q_3$ и механической $Q_m = Q_4$ неполноты сгорания, от внешнего охлаждения $Q_{в.о} = Q_5$ и физических теплот шлаков $Q_{т.ш.} = Q_6$.

Отношение полезно использованной в котле теплоты к подведенной представляет к.п.д. брутто котла:

$$\eta_{к.а.}^{бр} = \frac{Q_{пол}}{Q_p} = 1 - \frac{(Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6)}{Q_p}, \quad (4)$$

или в процентах от полезно использованной теплоты:

$$\eta_{к.а.}^{бр} = [1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)] \times 100\%. \quad (5)$$

К.п.д. котельной установки, которая учитывает затраты котла на собственные нужды (привод насоса, вентилятора, дымососа), называют к.п.д. нетто:

$$\eta_{к.у.}^н = \eta_{к.а.}^{бр} - q_{в.п.}, \quad (6)$$

где $q_{в.п.} = 4 - 7\%$ – затрата энергии на собственные нужды, относительно теплоты сгорания топлива.

Затраты теплоты относительно химической неполноты сгорания топлива $q_3 = 100Q_3/Q_p$ возникают только, если в продуктах сгорания есть горючие газоподобные компоненты впоследствии неполного сгорания топлива в пределах топкового объема котла.

Если коэффициент избытка воздуха достаточный, и смесеобразование в топках современных котлов качественное, то потери теплоты с химической неполнотой сгорания: для камерного сжигания $q_3 = 0 - 0,5\%$; для шарового сжигания $q_3 = 0,5 - 2\%$.

Потери теплоты от механической неполноты сгорания q_4 для шаровых топок зависят от тепловой напряженности топкового объема и связаны с тем, что топливо проваливается через решетку $q_{4пр}$ попадает в шлак $q_{4шл}$ и уносится газами $q_{4ун}$. Колосниковая решетка обеспечивает уровень $q_{4пр}$ равный $0,5 - 1\%$.

В камерных топках уровень q_4 преимущественно определяется теплотой $q_{4ун}$ и находится в пределах $0 - 0,5\%$; при горении угля с большим выходом летучих уровень q_4 не превышает $0,5 - 1,5\%$.

Потери теплоты от внешнего охлаждения q_5 и потери теплоты q_6 учитывают только, если сжигают высокозольные топлива и температуру шлака принимают на уровне $600 - 700\text{ }^\circ\text{C}$.

Затрату топлива V для производства теплоносителя с заданными параметрами определяют из теплового баланса котла:

$$Q_{пол} = V \cdot Q_H^p \cdot \eta_{к.а.}^{бр};$$

$$V = \frac{Q_{пол}}{(Q_H^p \cdot \eta_{к.а.}^{бр})}, \quad (7)$$

Удельную потерю условного топлива на тонну выработанного пара данных параметров (т/т) определяют из соотношения:

$$b_{бр} = \frac{V \cdot Q_H^p}{D \cdot 29,4} 10^{-3}, \quad (8)$$

где D – количество выработанного пара, т/мес, или т/год.

Основными показателями режима работы котла является коэффициент рабочего времени η_t коэффициенты использования тепловой мощности котла $K_{исп}$ и количество часов использования установленной мощности τ_0 . Годовой коэффициент рабочего времени в процентах определяют из соотношения:

$$\eta_t = \frac{\tau_{раб}}{8760} 100\%, \quad (9)$$

С учетом (1) – (9) коэффициент использования тепловой мощности котлов в процентах определяют из соотношения:

$$K_{исп} = \frac{\sum D}{\sum D_0 \cdot \tau} 100\%, \quad (10)$$

где $\sum D$ суммарное производство пара котлами, т/год; $\sum D_0$ суммарная номинальная мощность котлов, т/год; τ – фактическое время работы котлов, год.

3.2 Расчет турбины Юнгстрема

Рассмотрим теперь работу выбранной теплофикационной паровой турбины Юнгстрема для одновременного получения электрической и тепловой энергии. В ней весь отработавший пар направляется из выпускного патрубка в отопительную систему.

Давление пара паровой турбины для отопительных целей обычно составляет $0,12 \text{ МН/м}^2$, а для технологических нужд $0,5 - 0,15 \text{ МН/м}^2$ [7].

Расчет турбины выполняют по следующим формулам:

– для скорости:

$$c = 91,5 \cdot \sqrt{(i_0 - i_1)}, \quad (11)$$

где i_0 – начальная энтальпия пара;

– для мощности идеальной турбины (в кВт, которую можно получить от турбины при расходе пара D кг/ч):

$$D = \frac{860N}{i_0 - i_1}. \quad (12)$$

Величина $i_0 - i_1$ представляет собой адиабатическое изменение энтальпии. Поэтому выражение (12) справедливо только для идеальной паровой турбины, работающей без потерь. Для мощности реальной (в кВт) турбины

$$N_e = \eta_{oe} \cdot N = \eta_{oe} \frac{D(i_0 - i_1)}{860}, \quad (13)$$

где η_{oe} – относительно эффективный к.п.д., представляющий собой отношение действительной мощности, полученной в паровой турбине, к мощности идеальной турбины

$$\eta_{oe} = \frac{N_e}{N} = \frac{860}{d_e(i_0 - i_1)}, \quad (14)$$

где d_e – расход пара в кг/(кВт·ч).

Удельный расход пара определяется экспериментально, а $i_0 - i_1$ находят по $i - s$ диаграмме.

Тепловой процесс в паровых турбинах: кинетическая энергия, приобретенная паром при его расширении, эквивалентна уменьшению его энтальпии в процессе расширения. Работа пара (в кгс·м, $1 \text{ кгс·м} = 10 \text{ Дж}$) равна

$$W = 427 \cdot (i_0 - i_1). \quad (15)$$

Паровая турбина Юнгстрема имеет поток пара, который движется в направлениях, перпендикулярных к оси турбины, т. е. радиально (рис. 2). Турбина состоит из дисков 5 и 2, расположенных на концах валов 7 и 1. На обращенных друг к другу поверхностях дисков закреплены рабочие лопатки 3, 4, собранные в кольцевых обоймах. Пар из паропровода 8 через отверстия в дисках поступает в центральную камеру, а из нее, пройдя через каналы всех рядов рабочих каналов, направляется в выхлопной патрубок корпуса 6 турбины. Расширение пара происхо-

дит в каналах всех рядов рабочих лопаток. Валы 7 и 1 вместе с насаженными на них дисками и рабочими лопатками вращаются в противоположных направлениях. Такие турбины являются чисто реактивными.

Внутренняя энергия сухого насыщенного пара для турбины

$$u'' = i'' - P\vartheta'', \quad (16)$$

где i'' – энтальпия кипящей жидкости.

Сухой насыщенный пар определяется давлением и температурой.

Удельный объем влажного пара ϑ_x – объем смеси, которая состоит из кг кипящей воды и x кг сухого пара и определяется как

$$\vartheta_x = (1 - x)\vartheta' + x\vartheta''. \quad (17)$$

Энтальпия влажного пара равна

$$i_x = i' + r_x. \quad (18)$$

Внутренняя энергия влажного пара равна

$$u_x = i_x - P\vartheta_x. \quad (19)$$

Теплота перегретого пара q_n – это количество теплоты, которую необходимо потратить на перегрев 1 кг сухого пара до необходимой температуры при постоянном давлении.

Энтальпия:

$$q_n = C_{p_m} \int_{t_n}^t (t - t_n) dt, \quad (20)$$

$$i = i' + r + C_{p_m} \int_{t_n}^t dt. \quad (21)$$

Для перегретого пара определяем: $P_2 = 1,8 \text{ МПа}$, $t_2 = 205 \text{ }^\circ\text{C}$, $i_{x2} = 2787 \text{ кДж/кг}$, $S_{x1} = 6,37 \text{ кДж/(кг·K)}$, $x = 0,99$.

Сопоставим полученные значения со значениями этих же параметров, вычисленных при помощи таблиц водяного пара и соответствующих формул. По таблице Вуколовича для пара при давлении 4 МПа находим:

$$t_{n1} = 250,33 \text{ }^\circ\text{C}; \quad v_1'' = 0,04977 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$i_1' = 1087,5 \text{ кДж/кг}; \quad r_1 = 1713 \text{ кДж/кг};$$

$$S_1' = 2,796 \text{ кДж/(кг·K)}; \quad S_1'' = 6,070 \text{ кДж/(кг·K)}.$$

Для пара при давлении 1,8 МПа находим

$$d_0 = \frac{3600}{i_1 - i_2} = \frac{3600}{2965 - 2782} = 19,67 \text{ кг/(кВт·ч)}.$$

Удельный расход теплоты на 1 кВт·час:

$$q = d_0(i_1 - i_2') = 19,72 \cdot (2965 - 844,4) = 41712,2 \text{ кДж} \cdot (\text{кВт} \cdot \text{ч}).$$

3.3 Основные характеристики синхронного генератора

В схеме мини-ТЭЦ (рис. 3) электрическая часть представлена синхронным электрогенератором с постоянными магнитами на роторе.

Генератор приводится во вращение от турбины с постоянной частотой вращения $n = 3000$ об/мин и имеет следующие исходные данные [6]:

- 1) активная мощность $P = 150\,000$ Вт;
- 2) напряжение на выходе $U = 220$ В;
- 3) чистота переменного напряжения генератора $f_1 = 50$ Гц.

Главными размерами синхронной машины являются внутренний диаметр статора D и расчетная длина l_δ магнитопровода. Их определяют из основного расчетного уравнения электрической машины. Машинная постоянная Арнольда:

$$C_a = \frac{D^2 \times l_\delta \times n}{P'} = \frac{6,1}{\alpha_\delta \times k_\phi \times k_0 \times B_\delta \times A}, \quad (22)$$

где P – расчетная мощность; α_δ – расчетный коэффициент полюсного перекрытия; k_ϕ – коэффициент формы поля; k_0 – обмоточный коэффициент обмотки статора; A – линейная загрузка статора; B_δ – максимальное значение индукции в воздушном зазоре при номинальной нагрузке.

Между главными размерами синхронного генератора существует соотношение

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau}, \quad (23)$$

где

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} \quad (24)$$

полюсное давление.

Подставляя (23) в (24), получим:

$$\lambda = \frac{2l_\delta \cdot p}{\pi \cdot D}. \quad (25)$$

Соотношение λ зависит от числа пар полюсов. Для выпускаемых в настоящее время синхронных машин это соотношение обычно лежит в пределах 1,2 ... 2,3.

3.4 Оценка себестоимости получения одного кВт·часа электроэнергии при сжигании в мини-ТЭЦ различных топлив

Количество топлива, превращенного в электроэнергию – G , кг:

$$G = P \cdot t / Q_p^p \cdot \eta, \quad (26)$$

где $P = 150$ кВт- мощность мини-ТЭЦ;
 $t = 20$ час – время работы мини-ТЭЦ в сутки;

Q_p^p – теплота сгорания топлива, кВт·час/кг;

η – к.п.д. цикла.

Себестоимость электроэнергии C_3 , грн/кВт·час:

$$C_3 = \frac{C_{\text{един}} \cdot G}{P \cdot t}, \quad (27)$$

где $C_{\text{един}}$ – цена единицы топлива, грн/кг (м^3);

Результаты расчета себестоимости электроэнергии мини-ТЭЦ при сжигании различных органических топлив по формулам (26), (27) приведены в табл. 1.

4. Основные результаты. Перспективы дальнейших разработок

Табл. 1 содержит реальные данные и результаты оценки экономической эффективности производства электроэнергии автономной мини-ТЭЦ мощностью 150 кВт. Их анализ показывает, что себестоимость производства электроэнергии на проектируемой установке работающей на биогранулах (пиллетах) составляет 0,164 грн./кВт·час, что меньше себестоимости при использовании природного газа, это является первой особенностью разрабатываемой установки.

Другая особенность – наивысший к.п.д. цикла (0,85) при ее работе пиллетах. Следовательно в этом случае установка является наиболее чистой с экологической точки зрения.

Третьей особенностью спроектированной мини-ТЭЦ является то, что она в первую очередь является источником пара, получаемого в котле установки, т.е. тепловой энергии. При расчете основных параметров пара был получен к.п.д. турбины Юнгстрема, который составляет 75 %. Кроме того, дополнительным источником тепла является энергия отработанного пара после турбины. Можно считать, что эта часть тепловой энергии является вторичным энергоресурсом, а значит – бесплатной. Это приводит к фактическому удешевлению себестоимости полученной электроэнергии (в приведенных расчетах не учитывалось).

В зависимости от требований потребителя можно в широких пределах изменять соотношение производимых тепловой и электрической энергии.

Таким образом, мини-ТЭЦ, разработанная в данном проекте, может быть эффективно использована с сельских районах, не обеспеченных природным газом. Она может применяться для тепло – и

электроснабжения, как жилых домов, так и малых сельхозпредприятий, являющихся производителями биомассы (солома, стебли, лузга и т.д.) либо биотоплива (пиллеты).

Таблица 1

Себестоимость электроэнергии мини-ТЭЦ при сжигании различных органических топлив

Топливо	Теплота сгорания топлива - Q_p^p , кВт·час/кг	к.п.д цикла - η	Количество необходимого топлива - G , кг или (m^3)	Цена единицы топлива – $C_{един}$, грн./кг (m^3)	Себестоимость электроэнергии - C_s , грн./кВт·час
Уголь	4,65	0,5	1290	0,46	0,198
Природный газ	9,89	0,6	506	1,6	0,270
Мазут	10,82	0,65	427	3,15	0,448
Дизельное топливо	11,63	0,8	322	6,78	0,729
Дрова	2,8	0,4	2679	0,32	0,286
Биогаз	5,44	0,45	1225	0,85	0,347
Биогранулы (пиллеты)	4,8	0,85	735	0,67	0,164

Примечания:

в стоимость электроэнергии не включены цеховые расходы и налоговые сборы; плотность сухого природного газа $\rho=0,7-1$ кг/ m^3 [8]. В расчетах принимаем $\rho=1$ кг/ m^3 как для природного газа так и для биогаза;

удельная теплота сгорания природного газа: 28—46 МДж/ m^3 (7,756—12,742 кВт·час / m^3) [8]; цены на все виды топлива взяты по состоянию на 1 сентября 2009 г [9].

Заключение

В работе предложен проект мини-ТЭЦ на базе паровой радиальной турбины Юнгстрема, являющейся эффективным источником тепловой и электрической энергии, при работе на биотопливе (пиллеты). Данную мини-ТЭЦ можно рекомендовать для энергообеспечения жилых домов и малых сельскохозяйственных предприятий в негазифицированных сельских районах являющихся производителями биомассы либо биотоплива.

Литература

1. Матеев А.С. Концепция развития биоэнергетики в Украине [Электронный ресурс] // Агентство по возобновляемой энергетике. – 2003. – Режим доступа к статье: <http://www.rea.org.ua/index.php?page=sources&sub=2&lang=ru>.

2. Степаненко В.А. Куда идет малая энергетика – предисловие главного редактора [Электронный ресурс] // Электронный журнал энергосервисной компаний «Экологические компании». – 2008. – Режим доступа к статье: http://www.esco.co.ua/journal/2004_8/art76.htm.

3. Евлампов А.С. Малая энергетика как путь снижения коммунальных тарифов [Электронный ресурс] // Управление ЖКХ. – 2009. – Режим доступа к статье: <http://www.g-k-h.ru/articles.php?id=2190>.

4. Нигматулин П.Н. Тепловые двигатели машин / П.Н. Нигматулин, П.Н. Шляхин, В.А. Целев. – М.: Высш. шк., 1974. – С. 7-47.

5. Маляренко В.А. Энергетичні установки. Загальний курс: навчальний посібник / В.А. Маляренко. – Х.: ХНАМГ, 2007. – 287 с.

6. Маляренко В.А. Основи теплофізики будинків та енергозбереження: підручник / В.А. Маляренко. – Х.: ХНАМГ, 2006. – 499 с.

7. Кривцов В.С. Альтернативная энергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Х.: НАУ им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", 2006. – 645 с.

8. ГОСТ 30319.0-96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. – Введ. 01.07.1997. – Минск: 2000 ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 61 с.

9. Виробництво основних видів промислової продукції по місяцях 2009 року [Електронний ресурс]: за даними звіту на початок 2010 р. / Держ. ком. статистики України; ред. О.Г. Осауленко. – 2010. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2009/pr/ovp/ovp_u/ovp2009.html.

Поступила в редакцію 12.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедри общей электротехники В.Ф. Болюх, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МІНІ-ТЕЦ НА БАЗІ ПАРОВОЇ РАДІАЛЬНОЇ ТУРБІНИ ЮНГСТРЕМА ТА ОЦІНКА ЇЇ ЕФФЕКТИВНОСТІ ПРИ СГОРЯННІ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА

Д.А. Оранська, О.І. Яковлев

Розглянуто різні складові організації процесів отримання теплової та електричної енергії для житлових та промислових приміщень з використанням котлової установки і радіальної парової турбіни Юнгстрема, з електрогенератором на постійних магнітах. Визначена собівартість електричної енергії, яку виробляє міні-ТЕЦ при згорянні різних органічних палив: вугілля, природного газу, мазуту, дизельного палива, дров, біогазу та біогренул (пілетів). Визначено, що найменша собівартість виходить при використанні біогренул. Показана ефективність використання спроектованого пристрою у сільськогосподарських негазофікованих районах.

Ключові слова: турбіна Юнгстрема, міні-ТЕЦ, електропостачання, тепlopостачання.

THE MINI HEAT-AND-ELECTRICITY CENTER BASED ON STEAM RADIAL UNGSTREM TURBINE AND IT'S EFFICIENCY ESTIMATION WITH DIFFERENT FUELS BURNING-OUT

D.A. Oranskaya, A.I. Yakovlev

There are searched different components of providing the processes of heat and electric energy produce for dwelling and industry building with use of boiler and steam radial Ungstrem turbine with power generator on permanent magnets. The prime cost is determined for electric power producing by mini heat-and-power center with burning of different organic fuels: coal, natural gas, fuel oil, diesel fuel, firewood, biogas, bio-granule. It is set that the least prime price turns out at application of biogranul. The effectiveness is shown of it's use in country-side non-gasified regions.

Keywords: Ungstrem turbine, mini heat-and-power center, power supply, heat supply.

Оранская Дарья Анатольевна – магистрант кафедри енергоустановок и двигателей летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: Aelin.elf@gmail.com.

Яковлев Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., профессор кафедри енергоустановок и двигателей летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.