

УДК 621.574.

Л. И. Морозюк, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина

ТРИГЕНЕРАЦИЯ – ИСТОЧНИК ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе рассмотрены вопросы энергосбережения в аграрном производстве, использующем малые энергетические установки, путем организации системы тригенерации – круглогодичного производства электроэнергии, тепла и холода.

Ключевые слова: энергосбережение; аграрное производство; тригенерация.

Л. І. Морозюк, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

ТРИГЕНЕРАЦІЯ – ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ У МАЛІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ ДЛЯ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

В роботі розглянуто питання енергозаощадження в аграрному виробництві, яке використовує малі енергетичні установки, шляхом впровадження системи тригенерації – цілорічного виробництва електричної енергії, тепла та холоду.

Ключові слова: енергозаощадження; аграрне виробництво; тригенерація.

DOI: 10.15673/0453-8307.4/2015.39273



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие и строительство новых малых аграрных производств и фермерских хозяйств за пределами населенных пунктов сдерживаются техническими сложностями и высокой стоимостью строительства линий централизованного энерго- и теплоснабжения и подключением новых потребителей к ним.

При наличии на местах источника первичной энергии и его эксплуатация с помощью компактного автономного оборудования отпадает необходимость осуществлять его доставку к месту выработки энергии более высокого иерархического уровня (электрической и тепловой).

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии является одним из наиболее современных технологических решений для повышения эффективности малых энергетических установок и уменьшения экологических проблем при обеспечении энергией фермерских хозяйств как государственного, так и частного сектора [8].

Аграрное производство нуждается не только в электроэнергии и тепле, но и в холоде - энергопреобразующем эффекте, обеспечивающем сохранность выращенных продуктов питания [3].

Современное массовое производство генераторов дает возможность создавать на их основе новые, интересные решения, используя при этом

тот источник энергии, который существует рядом, но невостребованный до настоящего времени [2].

Современная энергетическая промышленность выпускает газопоршневые (ГПУ) и газотурбинные (ГТУ) малые электростанции, вырабатывающие электроэнергию. Их применение в сельском хозяйстве вполне логично, используя в качестве топлива для двигателей биогаз, природный газ пропан, факельный газ, газ сточных вод, газ мусорных свалок, коксовый газ, попутный газ, что быстро окупит вложенные инвестиции в его выработку, обеспечит долгосрочную прибыль и улучшит экологическую обстановку окружающей среды. Немаловажным фактором для временного и постоянного использования малых энергетических установок является возможность эффективной эксплуатации при разных температурах [5].

Себестоимость 1 кВт/часа, произведенного при помощи газовой электростанции, может быть в 2 и более раз ниже себестоимости сетевой электроэнергии. Электрические КПД установок, в зависимости от мощности установки и производителя разнятся и колеблются от 35 до 42 %. Вторичным продуктом, делающим их применение еще более выгодным, является использование тепла, выделяемого в процессе работы двигателя, т.е. когенерация [4].

Это позволяет довести КПД использования топлива (первичной энергии) до 80-90% в установках мощностью от десятков кВт до десятков МВт.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Тригенерация является децентрализованной энергопреобразующей системой, в которой один вид первичной энергии одновременно трансформируется в три полезных энергетических эффекта – электроэнергию, тепло и холод.

Схематически энергетический баланс простейшей системы тригенерации представлен на рисунке 1. В системе главной является энергетическая установка (ЭУ) с производством электроэнергии (ЭЭ): газопоршневая, газотурбинная, двигатель внутреннего сгорания, микротурбина, топливный элемент, солнечные батареи и др. Первичной энергией (ПЭ) является топливо (твердое, жидкое, газообразное, биогаз и т.д.).

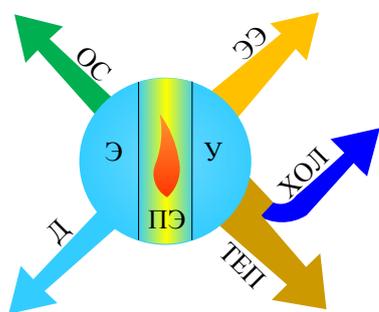


Рисунок 1 – Схема энергетического баланса системы тригенерации.

Система имеет два обязательных сброса в окружающую среду (ОС) – в энергетической установке и холодильной, и внутренние необратимые потери в системе – Д (деструкция энергии). Соотношение производительностей полезных эффектов системы когенерации полностью определяется термодинамическим совершенствованием энергетической установки.

Бросовое высокотемпературное тепло утилизируется для получения двух эффектов – тепла (ТЭП) и холода (ХОЛ). Для получения холода используют часть тепла, а систему комплектуют теплоиспользующей холодильной машиной. Теоретически в холод можно преобразовать до 80% получаемой тепловой производительности энергетической установки.

Соотношение производительностей и температурных режимов установок производства тепла и холода полностью определяются конкретным потребителем.

В общем виде энергетический баланс системы тригенерации можно представить математическим выражением:

$Q_{пэ} = Q_{ээ} + Q_{вс} + Q_{д} + Q_{теп} / \text{COP}_{теп} + Q_{хол} / \text{COP}_{хол}$,
где $\text{COP}_{теп}$ – коэффициент преобразования теплового насоса (производство тепла); $\text{COP}_{хол}$ – коэф-

фициент преобразования холодильной машины (производство холода).

Степень утилизации тепла зависит от потребностей производства, а для сельского хозяйства напрямую определяется годовыми колебаниями температуры наружного воздуха.

Тригенерация обеспечивает использование генерирующего устройства круглый год, тем самым не снижая высокого КПД энергетической установки. В летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле $Q_{теп}$ падает, увеличивается потребность в холоде $Q_{хол}$. Таким образом, величины двух последних слагаемых в уравнении изменяются при сохранении общего энергетического баланса. Создание системы тригенерации для малого аграрного производства на базе малой энергетической установки покажем на частном примере (рисунок 2).

III. ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ТРИГЕНЕРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Рассмотрим небольшое фермерское хозяйство, которое включает жилой дом общим объемом 600 м^3 , хозяйственно - административное здание объемом 1000 м^3 , теплицу объемом 120 м^3 и хранилище для продуктов фермерского производства, состоящее из трех самостоятельных помещений общим объемом 750 м^3 . Таким образом, хозяйство имеет одновременную и постоянную потребность в определенных объемах электрической энергии, холода для целей хранения продуктов сельскохозяйственной деятельности, и тепловой энергии – для отопления и хозяйственно - бытовых нужд (рисунок 2).

Основные климатические и технические данные, принятые в качестве расчетных:

- температура наружного воздуха в зимний период: $t_{нз} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура наружного воздуха в летний период: $t_{нл} = 28,6 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура наружного воздуха в весенне - осенний период: $t_{нво} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура воздуха в жилых помещениях: $t_{ж} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- температура в охлаждаемом объекте: $t_{к} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура воздуха в теплице: $t_{тл} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура горячей воды: $t_{гв} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура водопроводной воды: $t_{вв} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Утилизация тепла отработавших газов малой энергетической установки происходит в котле - утилизаторе, тепло передается промежуточному теплоносителю (воде). Основные температурные данные, принятые в качестве расчетных [6]:

- температура отработавших газов: $t_{ог} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$;

– температура входящего теплоносителя:
 $t_{\text{вх}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$;
 – температура выходящего теплоносителя:
 $t_{\text{вых}} = 140 \text{ }^\circ\text{C}$.
 Потребность в тепле в зимний период года:
 – на отопление домов объемом 600 м^3 и 1000 м^3 :

$Q_{\text{от}} = q_{\text{от}} \cdot V \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{нз}}) = 0,52 \cdot 600 \times (20 - (-10)) = 9,36 \text{ кВт}$;
 $Q_{\text{от}} = q_{\text{от}} \cdot V \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{нз}}) = 0,52 \cdot 1000 \times (20 - (-10)) = 15,6 \text{ кВт}$,
 где $q_{\text{от}} = 0,52 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ – удельная отопительная характеристика зданий указанных объемов [6];

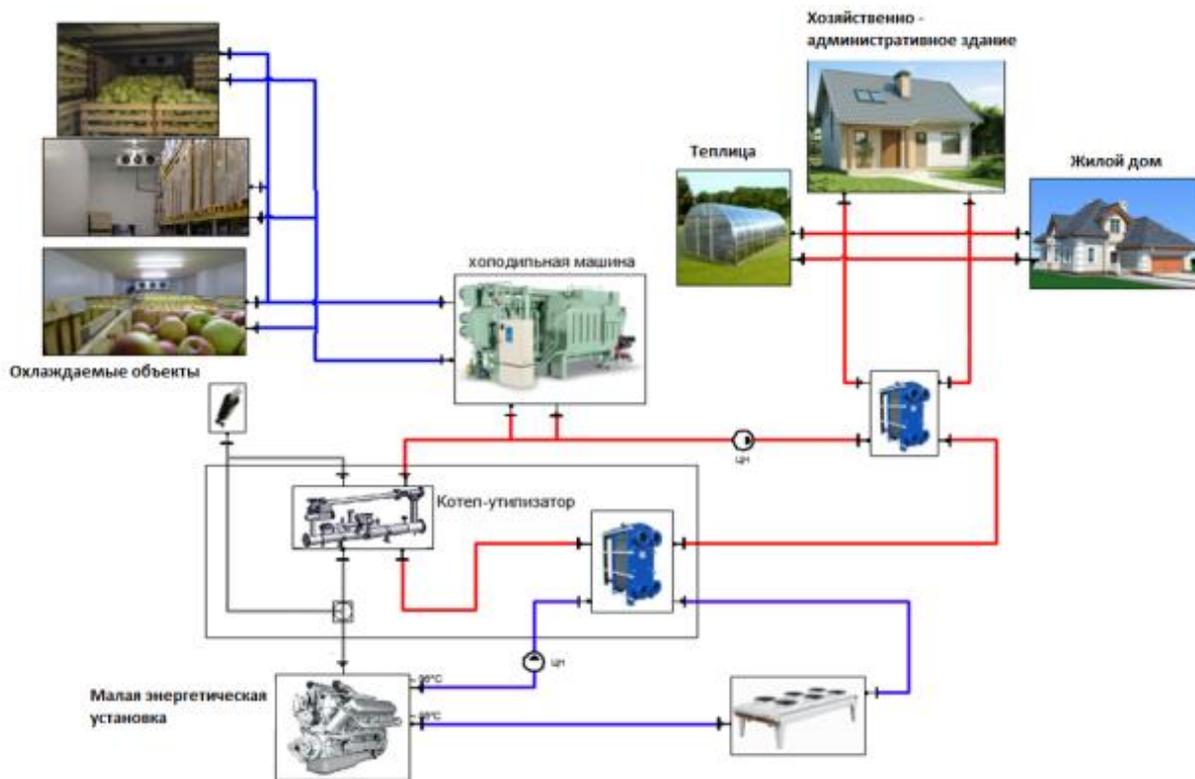


Рисунок 2 – Распределение утилизированного тепла малой энергетической установки

– на обогрев теплицы площадью наружного ограждения $F = 200 \text{ м}^2$:

$$Q_{\text{Тл}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{Тл}} - t_{\text{нз}}) = 5,5 \cdot 200 \times (15 - (-10)) = 27,5 \text{ кВт},$$

где $k = 5,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ – коэффициент теплопередачи для теплиц со стеклянным покрытием;

– для поддержания температурного режима в трех охлаждаемых объектах общей площадью наружной охлаждающей поверхности 810 м^2 :

$$Q_{\text{хол}} = 3 \cdot k \cdot F \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{нз}}) = 3 \cdot 0,6 \cdot 270 \times (4 - (-10)) = 6,804 \text{ кВт},$$

где $k = 0,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ – коэффициент теплопередачи для ограждающих конструкций помещений хранения растительного сырья [6].

Следует отметить, что тепло $Q_{\text{хол}}$ необходимо для отопления охлаждаемых объектов во избежание подмерзания сохраняемых продуктов.

– на хозяйственно-бытовые нужды.

$$Q_{\text{хб}} = a \cdot m \cdot c_{\text{в}} \cdot \rho \cdot \beta \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ВВ}}) \cdot (1 - K) \cdot 10^{-3} = 0,0141 \cdot 10 \cdot 4,19 \cdot 1000 \cdot 0,8 \cdot (70 - 20) \times (1 - 0,35) \cdot 10^{-3} = 15,36 \text{ кВт},$$

где $a = 0,0141 \text{ м}^3 / \text{чел}$ – норма расхода горячей воды на 1 человека в соответствии с [6]; $m = 10$ –

количество человек, пользующихся водой; $\beta = 0,8$ – коэффициент изменения среднего расхода воды; $K = 0,35$ – коэффициент, учитывающий потери тепла трубопроводами горячего водоснабжения.

Аналогично осуществляется расчет потребности в тепле в летний и осенне-весенний период года.

Потребность в тепле в весенне-осенний период года:

– на отопление домов: $Q_{\text{от}} = 12 \text{ кВт}$;

– на технологические нужды теплицы:

$$Q_{\text{Тл}} = 11 \text{ кВт};$$

– для поддержания температурного режима в трех охлаждаемых объектах:

$$Q_{\text{хол}} = 3 \cdot k \cdot F \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{нво}}) / \text{COP}_{\text{хол}} = 3 \cdot 0,6 \cdot 270 \times (5 - 4) / 0,5 = 0,972 \text{ кВт},$$

где $\text{COP}_{\text{хол}} = 0,5$ – коэффициент преобразования цикла абсорбционной теплоиспользующей холодильной машины [1].

– на хозяйственно-бытовые нужды:

$$Q_{\text{хб}} = 15,36 \text{ кВт}.$$

Потребность в тепле в летний период года:

– на отопление домов $Q_{от} = 0$ кВт;
 – на технологические нужды теплицы:
 $Q_{тл} = 0$ кВт;
 – на хозяйственно-бытовые нужды
 $Q_{хб} = 15.36$ кВт;
 – для поддержания температурного режима в
 трех охлаждаемых объектах: $Q_{хол} = 24$ кВт;
 – для обеспечения кондиционирования воз-
 духа в жилых помещениях: $Q_{хол} = 35$ кВт.

Для дальнейшего анализа результаты расчетов приведены в графической форме на рисунке 3.

В соответствии с расчетами потребность в тепле в зимний период составляет 75 кВт, что

является максимальной тепловой производительностью энергетической установки.

В весенне-осенний период потребность в тепле составляет 40 кВт. Резерв по теплу в количестве 35 кВт может быть востребован при температурах наружного воздуха, отличных от расчетных, как для отопления жилых помещений и теплицы (при понижении температуры), так и для поддержания температурного режима в охлаждаемых помещениях (при повышении температуры).

В летний период потребность в тепле составляет 40 кВт. Резерв по теплу в количестве 35 кВт может быть направлен на кондиционирование воздуха в жилых помещениях.

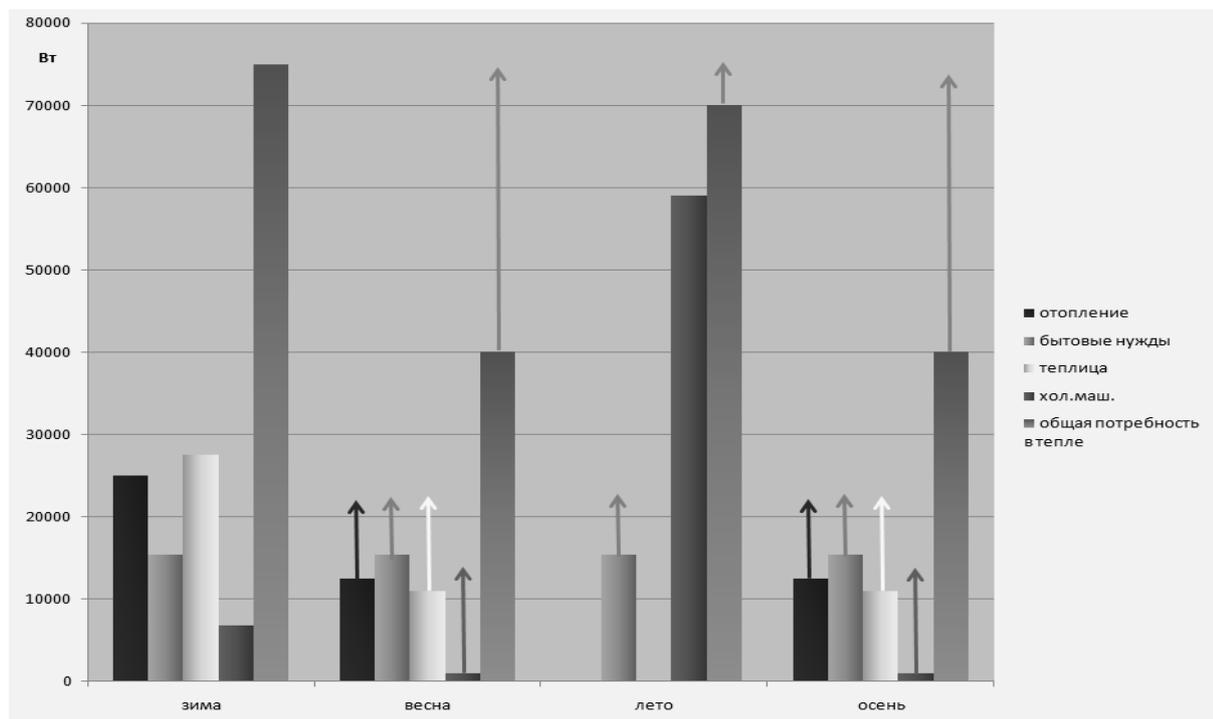


Рисунок 3 – Сезонная потребность в тепле.

IV. ВЫВОДЫ

Система тригенерации в аграрном производстве обеспечивает круглогодичное функционирование малой энергетической установки в номинальном режиме, благодаря непрерывному технологическому процессу с сезонной сменой температурных режимов. Смену определяют природные процессы выращивания, сбора урожая с последующим хранением и переработкой сырья и круглогодичное обеспечение населения продуктами питания.

Результаты расчетов показывают важность предварительной оценки характеристик системы тригенерации для аграрного производства, энергетическое хозяйство которого обеспечивается автономными установками малой энергетики.

На основании полученных данных можно осуществить подбор энергетической установки и холодильной машины.

В качестве генератора холода обязательное применение теплоиспользующих холодильных машин любого типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадьлькес И. С. Абсорбционные холодильные машины. [Текст] // И. С. Бадьлькес, Р. Л. Данилов / М., Пищепромиздат, 1966. – 356 с.
2. Боровков, В. М. Основные направления развития мини-ТЭЦ на основе современных парогазовых технологий [Текст] / В. М. Боровков, Л. В. Зысин // Изв. АН. Энергетика. – 2001. – № 1. – С. 100–105.
3. Галимова Л.В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы: учеб. пособие [Текст] / Л.В. Галимова, Астрахань: АГТУ, 1997. – 226 с.
4. Долінський А. А. Комунальна теплоенергетика Укр-раїни: стан, проблеми, шляхи модернізації. Т. 1-2. [Текст]: монографія / А. А. Долінський, Б. І.

- Басок, Е. Т. Базеев, І. А. Пироженко. – Київ, 2007. – 828.
5. **Клименко В. Н.** Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Ч. 1-3 [Текст]: справ. пос. / В. Н. Клименко, А. И. Мазур, П. П. Сабашук. – Киев, 2008. – 560 с.
6. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. Изд. 4-ое. М.: 2002. – 89 с. Одобрено: Научно-техническим советом Центра энергоресурсосбережения Госстроя России (протокол № 5 от 12.07.2002 г.)
7. **Фиалко, Н. М.** Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа [Текст] / Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, А. И. Степанова и др. // *Пром. теплотехника*. – 2008. – Т. 30, № 3. – С. 68–76.
8. **Шубенко А. Л.** Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности [Текст] / А. Л. Шубенко, В. А. Маляренко, А. В. Сенцкий, Н. Ю. Бабак. – Институт проблем машиностроения НАН Украины, 2014. – 320 с.

Отримана в редакції 20.05.2015, прийнята до друку 03.07.2015

L.I. Morosuk, S.V. Gaiduk, B.G. Grudka

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya str., Odessa, 65039, Ukraine

TRIGENERATION – SOURCE OF ENERGY SAVING IN LOW-POWER ENERGETICS FOR AGRICULTURAL PRODUCTION

Development of small agricultural production outside the settlements is constrained by the technical difficulties of implementation and cost of centralized power and heat supply. Low power energetics is capable for combined production of electricity and heat in a cogeneration system. Further energy efficiency increase of a small power plant is provided by trigeneration, wherein one kind of primary energy is transformed simultaneously in the three beneficial effects: electricity, heat and cold, which are equally needed to agricultural production. In the particular example of the farm, which has quarters, greenhouse and cold storages, the needs of recovered heat during the year were calculated, set a reserve and recommendations for its redistribution between the two beneficial effects: heat and cold, in accordance with the technological process of agricultural production were made. It is shown that the trigeneration system is capable of providing high energy efficiency of small autonomous power plant in the agricultural sector.

Keywords: energy saving; agricultural production; trigeneration.

REFERENCES

1. **Badil'kes, I. S., Danilov, R. L.** 1966. Absorbicnnye holodil'nye mashiny. M.: Pischepromizdat, 356. (in Russian)
2. **Borovkov, V. M., Zysin, L. V.** 2001. Osnovnye napravleniya razvitiya mini-TJeC na osnove sovremennyh parogazovyh tehnologij [The main directions of development of CHP on the basis of modern combined cycle technology]. Moscow: AN. Energetika, 1, 100–105. (in Russian)
3. **Galimova, L.V.** 1997. Absorbicnnye holodil'nye mashiny i teplovye nasosy: uchebnoye posobie. Astrahan': AGTU, 226. [in Russian]
4. **Dolinski, A. A., Basok, B. I., Bazeev, E. T., Pirogenko, I. A.** 2007. Komunalna teploenergetika Ukraini: stan, problem, shlyakhi modernizatsii. Kyiv, 828. (in Ukrainian)
5. **Klimenko, V. N., Mazur, A. I., Sabashuk, P. P.** 2008. Kogeneratsionnye sistemy s teplovymi dvigatelyam. Kyiv, 560. (in Russian)
6. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu rashodov toplyva, elektroenergiyi i vodi na virabotku teploty otopitel'nimy kotel'nimi kommunal'nyh teploenergeticheskyyh predpriyatij. Yzd. 4-oe. M.: 2002. 89 s. Odobreno: Nauchno-tehnicheskym sovetom Centra energoresursoberezheniya Gosstroya Rossii (protokol № 5 ot 12.07.2002 g.). (in Russian)
7. **Fialko, N. M., Serenkovskii, Yu. V., Stepanova, A. I.** 2008. Effektivnost system utilizatsii teploty otkhodyashchikh gazov energeticheskikh ustanovok razlichnogo tipa. *Prom. teplotekhnika*, 30 (3), 68–76. (in Russian)
8. **Shubenko, A. L., Maljarenko, V. A., Senckij, A. V., Babak, N. Ju.** 2014. Kogeneracionnye tehnologii v energetike na osnove primeneniya parovyh turbin maloj moshhnosti [Cogeneration energy technologies based on the use of steam turbines of low power]. Kharkiv: Institut problem mashinostroeniya NAN Ukrainy, 320. ([in Russian])

Received 20 May 2015

Approved 03 July 2015

Available in Internet 30.08.2015