

УДК 621.165

Андреев Сергей Юрійович, канд. техн. наук, проф., генеральний директор КП «Харківські теплові мережі», вул. Доброхотова, 11, м. Харків, Україна, 61037. Тел. + (057) 758-84-07, E-mail: hte@vl.kharkov.ua

Маляренко Віталій Андрійович, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедрою електропостачання міст Тел. + 0955414992, E-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua

Темнохунд Інна Олександрівна, асистент кафедри електропостачання міст Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, вул. Революції 12, м. Харків, Україна, 61002. Тел. + 0971536783, E-mail: innatemnokhud@mail.ru

Немировський Ілля Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та енергоменеджменту

Харківський Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Фрунзе, 21 м. Харків, Україна 61002, Тел. +0667555299, E-mail: alikhnem@ukr.net

КОГЕНЕРАЦІЯ У МУНІЦИПАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

Розглянуто основні складові муніципальної енергетики та її роль у забезпеченні життєдіяльності суспільства, окремо виділені проблеми теплопостачання.

На підставі енергоекономічного аналізу структури формування тарифів показано що споживання електричної енергії посідає друге місце після палива у витратах на виробництво теплової енергії.

Представлено аналіз когенераційних установок, вимоги до їх вибору. Запропоновано технологічні схеми для виробництва електричної енергії з використанням когенерації, показана економічна доцільність використання когенерації в котельнях і ТЕЦ муніципальної енергетики в залежності від вартості первинного палива.

Ключові слова: когенерація, енергозбереження, ТЕЦ, біопаливо, газотурбінна устаткування, газопоршневий двигун, техніко-економічне обґрунтування, комунальна енергетика, парова турбіна.

Андреев Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, проф. генеральный директор КП «Харьковские тепловые сети», ул. Доброхотова, 11, г. Харьков, Украина, 61037. Тел. + (057) 758-84-07, E-mail: hte@vl.kharkov.ua.

Маляренко Виталий Андреевич, д - р техн. наук, проф. заведующий кафедрой электроснабжения городов. Тел. + 0955414992, E-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua.

Темнохунд Инна Александровна, ассистент кафедры электроснабжения городов Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова, ул. Революции 12, г. Харьков, Украина 61002. Тел. + 0971536783, E-mail: innatemnokhud@mail.ru

Немировский Илья Абрамович, канд. техн. наук, доцент кафедры электрических станций и энергоменеджмента

Харьковский Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Фрунзе, 21 г. Харьков, Украина 61002. Тел. + 0667555299, E-mail: alikhnem@ukr.net.

КОГЕНЕРАЦИЯ В МУНИЦИПАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Рассмотрены основные составляющие муниципальной энергетики и ее роль в обеспечении жизнедеятельности общества, отдельно выделены проблемы теплоснабжения.

На основании энергоэкономического анализа структуры формирования тарифов показано что потребление электрической энергии занимает второе место после топлива в затратах на производство тепловой энергии.

Представлен анализ когенерационных установок, требования к их выбору. Предложены технологические схемы для производства электрической энергии с использованием когенерации, показана экономическая целесообразность использования когенерации в котельных и ТЭЦ муниципальной энергетики в зависимости от стоимости первичного топлива.

Ключевые слова: когенерация, энергосбережение, ТЭЦ, биотопливо, газотурбинная устаткування, газопоршневой двигатель, технико-экономическое обоснование, коммунальная энергетика, паровая турбина

Andreyev Sergey Yurievich, Candidate of Engineering Sciences, Prof., General Manager of Municipal Enterprise «Kharkiv Heating Systems», Dobrohtova Str.,11, Kharkiv City, Ukraine, 61037. Tel. +(057) 758-84-07, E-mail: hte@vl.kharkov.ua

Malyarenko Vitaliy Andreyevich, Doctor of Engineering Sciences, Prof., Chairman Of City Electric Supply Division Tel. + 0955414992, E-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua

Temnokhud Inna Alexandrovna, Assistant of City Power Supply Division, National Beketov O.M. University of Urban Economy in Kharkiv, Revolutsii Str., 12, Kharkiv City, Ukraine, 61002. Tel. + 0971536783, Email:innatemnokhud@mail.ru

Nemirovskiy Ilya Abramovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Power Stations and Power Management Division

Kharkiv National Technical University «Kharkiv Polytechnical Institute», Frunze Str., 21 Kharkiv City, Ukraine, 61002, Tel. +0667555299, E-mail: aliknem@ukr.net

COGENERATION AS A CONCEPT OF MUNICIPAL POWER SUPPLY

The basic constituent parts and the role of Municipal Power Supply in provision of vital functions of society have been considered.

The problems of City Heat Supply have been accentuated. On the basis of power and economic analysis of patterns of tariff arrangement on enterprises has been shown that the power use occupies the second position after consumption of electric energy as a fuel production input.

The analysis of cogeneration installations and the basis for their choice has been made. The power production technologies with the use of cogeneration have been proposed. The economic expediency for the use of cogeneration in boiler-houses and thermal electric plants of Municipal Power Supply industry depending on the cost of the primary fuel and tariff reduction has been shown.

Keywords: cogeneration, energy saving of TEP, biofuel, technical and economic expediency, gas-piston turbine motor, gas turbine installation, Municipal Energetics, steam turbine

Введение

Муниципальная энергетика – комплекс объектов, обеспечивающих жизнедеятельность административных территорий и их инфраструктуру: население, предприятия и организации различных форм собственности, расположенные на территории административной единицы.

Основная задача муниципальной энергетики – надежное, бесперебойное, доступное и в необходимом количестве соответствующего качества обеспечение всеми видами конечных энергоресурсов. К предприятиям муниципальной энергетики, в первую очередь, относятся поставщики энергетических услуг: электроэнергии, теплоты, воды, газа.

Особенностью муниципальной энергетики в Украине является многообразие форм собственности и подчинения. Часть этих предприятий по форме собственности являются акционерными с 51 % долей государственных акций (поставщики электроэнергии и природного газа), или коммунальными (тепло- и водоснабжение).

Все предприятия являются монополистами в своих сферах услуг. В целом ряде случаев возникает несогласованность целей, задач и методов их решения, в едином комплексе на основе государственного менеджмента. Это порождает взаимные задолженности и претензии, основная проблема которых лежит в области постоянно растущих тарифов на энергоносители. В то же время, сдерживающие факторы необходимости поддержания должного уровня жизни населения не позволяют обеспечить реальную стоимость услуг, создавая разрыв в рентабельности предприятий, отсутствии оборотных средств, накладывая ограничения в повышении энергоэффективности, соответствующей европейскому уровню.

Одним из направлений, получившем, на современном этапе распространение в энергетике является создание мини-ТЭЦ на базе когенерационных установок, их реализация для решения задач энергоснабжения [1-3].

Цель настоящей работы – анализ типов когенерационных установок и структуры затрат предприятий теплоснабжения, разработка предложений по снижению затрат на энергоносители за счет внедрения когенерационных установок для покрытия, в первую очередь, собственного потребления электроэнергии.

Когенерация и основы выбора когенерационных установок

Когенерация – это совместная выработка тепловой и электрической энергии. К мощным когенерационным установкам относятся ТЭЦ, обеспечивающие выработку электроэнергии в теплофикационном режиме, использующие газообразное или твердое топливо. Учитывая постоянно растущие тарифы на электроэнергию многие предприятия стремятся перейти на выработку электроэнергии на собственных источниках, что снижает стоимость 1 кВт.ч электроэнергии в 2-4 раза. В муниципальной энергетике (а это в основном объекты до 25 МВт электрической и 20 МВт тепловой мощности) в основном применяются следующие типы когенерационных установок (табл. 1).

Таблица 1

Типы ТЭЦ на основе когенерации

| Тип ТЭЦ | Краткая характеристика |
|---------------------------------|--|
| Традиционные технологии | |
| Теплоэлектро-централь (ТЭЦ) | ТЭЦ на основе паровых или парогазовых циклов с использованием органического топлива (в большей части – прородного газа), и с выработкой электроэнергии в теплофикационном, либо противодавленческом цикле |
| Газотурбинная ТЭЦ | ТЭЦ на основе одной или нескольких газотурбинных установок, с выработкой тепла и электроэнергии. Мощность единичного агрегата до 25 МВт. |
| Газопоршневая ТЭЦ | ТЭЦ на основе одного или нескольких газопоршневых двигателей с выработкой тепла и электроэнергии (дополнительно – холода). Мощность единичного агрегата до 16 МВт (э/э). |
| Перспективные технологии | |
| Твердотопливная установка | Установка использует в качестве топлива газ получаемый путем газификации твёрдых видов топлива – древесины, торфа, угля. Получаемый газ сжигается в газопоршневой установке. |
| Установка на биогазе | Топливо – биогаз, получаемый путем переработки биомассы всех веществ растительного и животного происхождения. Коэффициент использования биогаза при выработке тепловой энергии 85%, при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии 80-84%. |

При выборе когенерационной установки предварительно необходимо располагать следующей информацией:

- вид первичного энергоносителя (топлива) и его наличие;
- графики тепловой и электрической нагрузки (суточные и годовые);
- объекты энергопотребления выработанной энергии (тепловой и электрической), их удаленность от источника генерации; экологическая характеристика.

В рассматриваемом случае в качестве первичного энергоносителя (топлива) используется газ. Поэтому наиболее целесообразно применение газотурбинных и газопоршневых (ГПД) двигателей, на кратком анализе преимуществ и недостатков которых остановимся ниже.

Анализ технических характеристик данных энергоустановок показывает, что для объектов теплоснабжения наиболее приемлемы ГПД, имеющие следующие преимущества:

- более высокий КПД по (сравнению с газотурбинными);
- широкий диапазон рабочих режимов – от 15–20 % до 110 % процентов номинальной мощности при пропорциональном расходе топлива, незначительное снижение КПД при снижении электрической нагрузки в диапазоне регулирования (рис. 1);
- стабильность КПД газопоршневой установки при изменении параметров окружающей среды;
- меньшая чувствительность (по сравнению с газотурбинными установками) к частым пускам и остановкам;
- простота обслуживания газопоршневых Мини-ТЭЦ (техобслуживание и ремонт газопоршневых генераторов проводится по месту установки, тогда как газовых турбин - на заводе изготовителе);
- более высокий моторесурс (по сравнению с газотурбинными);
- низкая удельная стоимость установленной мощности (\$ 250–500 за 1 кВт) низкая себестоимость электроэнергии.

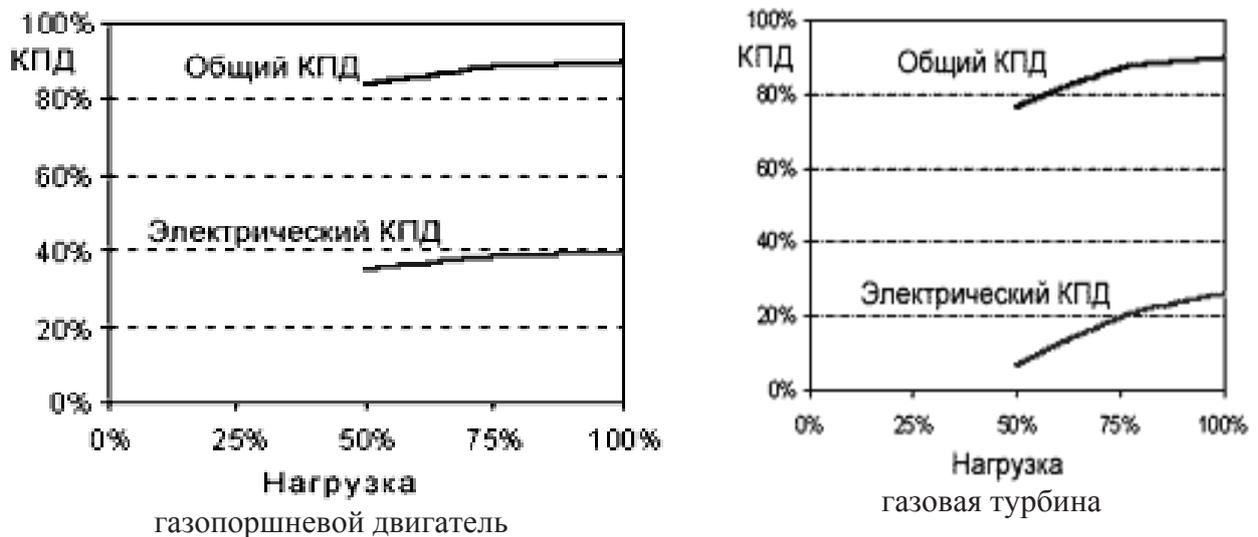


Рис. 1. Графики зависимости КПД от нагрузки

Для электрических мощностей до 10 МВт-э газопоршневые когенерационные установки эффективнее всех других технологий, особенно в диапазоне от 3 кВт-э до 5 МВт-э.

К недостаткам ГПД можно отнести относительно низкий температурный потенциал выхлопных газов (до 600⁰С), что затрудняет получение пара высоких параметров.

Отмеченные выше преимущества ГПД способствовали их использованию в составе мини-ТЭЦ на промышленных объектах и объектах бюджетной сферы, в первую очередь, основе источников генерации электроэнергии на собственные нужды. Одна из типовых принципиальных схем установки когенерации представлена на рис. 2. На рис. 3 распределение энергии по видам и источникам при работе ГПД в когенерационном цикле.

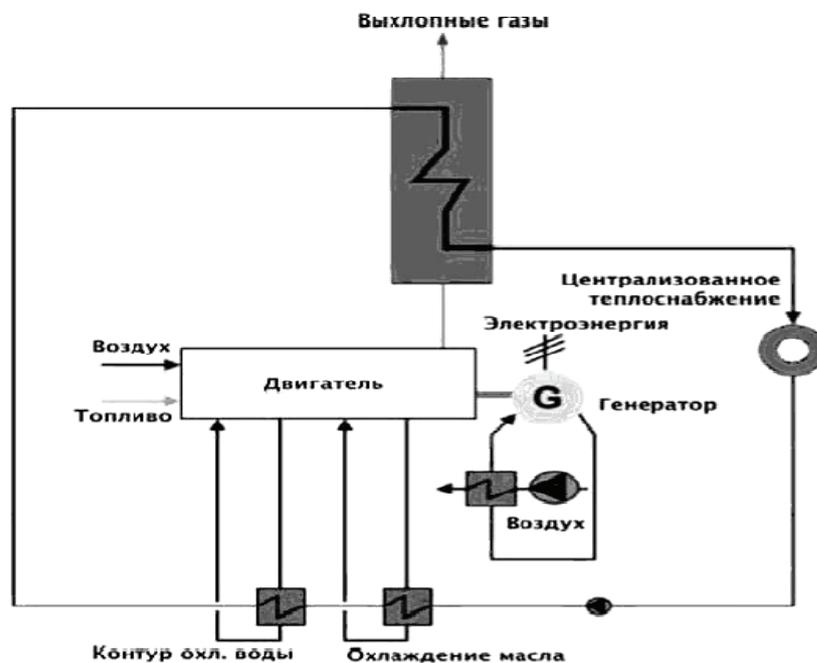


Рис. 2. Принципиальная схема газопоршневой когенерационной установки

Передача выработанной электроэнергии на сторону внешнему потребителю или в существующую электросистему связана со значительными трудностями не столько техническими сколько организационными.

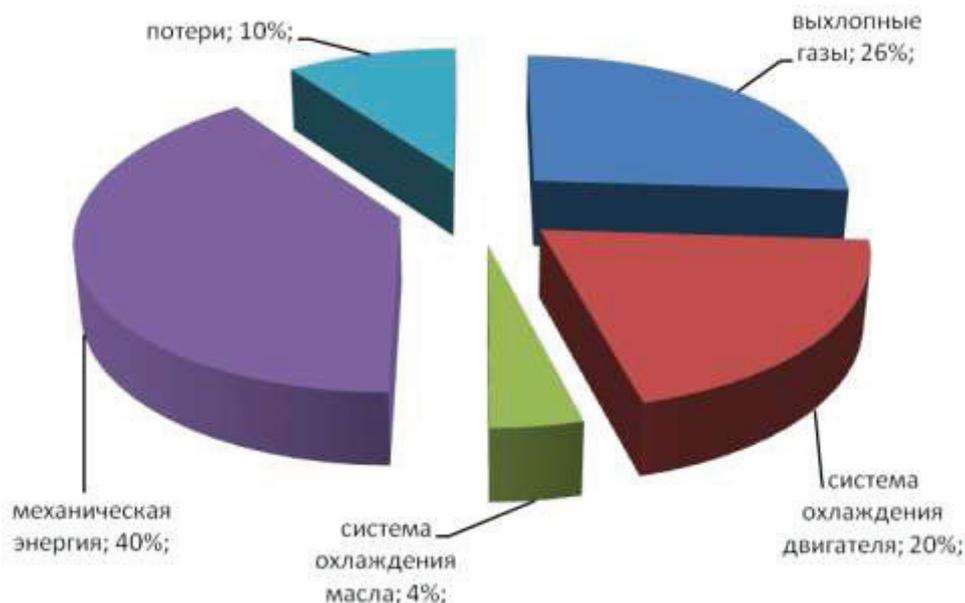


Рис. 3. Распределение возможного потенциала получения энергии от ГПД

Сложно поддерживать высокое качество электроэнергии, постоянство объемов производства, весьма затратные технические условия на подключение к существующим сетям. Отсюда следует, что использование когенерационных установок наиболее эффективно в качестве объектов с круглогодичным потреблением электрической и тепловой энергии. Именно к таким объектам относятся промышленные предприятия и предприятия теплоснабжения.

Анализ особенностей работы предприятий теплоснабжения

Рассмотрим одну из районных котельных предприятия «ХТС» с установленной тепловой мощностью – 400 Гкал/ч и суммарной электрической нагрузкой электропотребляющего оборудования – 5829 кВт. В составе котельной четыре водогрейных котла ПТВМ-100 с КПД – 91 %, удельные нормы расхода энергоносителей следующие: топливо – 155,82 кг у.т./Гкал, электроэнергия – 19,7 кВт/Гкал. Суммарная присоединенная нагрузка составляет – 277,392 Гкал/ч, в том числе: отопление и вентиляция – 161,566, ГВС – 115,828 Гкал/ч. Отапливаемая площадь – 2217,3 тыс. м², из которых население – 1927,3 м²; бюджет – 2073 м²; прочие – 82,1 м²; потребителей с приборами учета – 20 % (главным образом, население).

Структура присоединенной нагрузки по отоплению и вентиляции имеет вид, представленный на рис. 4.

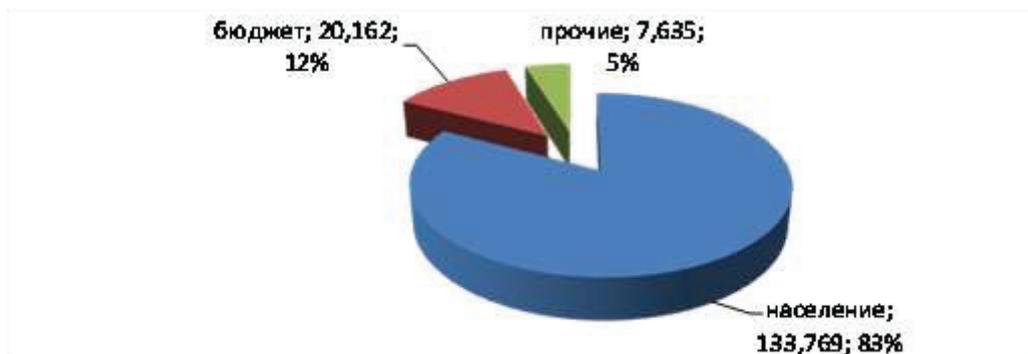


Рис. 4. Структура нагрузки по отоплению и вентиляции

Аналогичный вид имеет и структура горячего водоснабжения, показанная на рис. 5. Отметим, что на технологические нужды в последнее время тепловая энергия не отпускается (рис. 5). Таким образом, основным потребителем является население: 83 % – в отоплении и 94 % – в горячем водоснабжении.

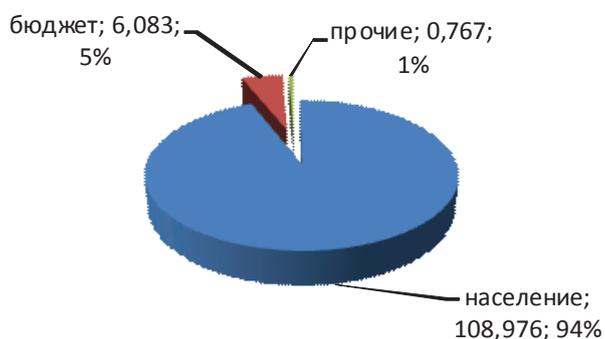


Рис. 5. Структура распределения потребления горячей воды

Максимальное суточное потребление электроэнергии и выработки тепловой энергии приведено в табл. 2.

Таблица 2

Суточные показатели потребления и производства

| № п/п | Наименование показателей | Един. изм. | к-во |
|-------|---|----------------|-------|
| 1 | Установленная мощность электропотребляющего оборудования | кВт | 5829 |
| 2 | Суточное потребление максимум зимнего периода | январь 2013г. | 70697 |
| | | декабрь 2013г. | 93686 |
| 3 | Суточное потребление максимум летнего периода (июнь 2013г.) | кВт·ч | 48362 |
| 4 | Аварийная бронь | зима | 2781 |
| | | лето | 100 |
| 5 | Максимальная суточная выработка тепловой энергии, Гкал | зима | 4102 |
| | | лето | 666 |

Суточный максимум потребления электроэнергии в контрольные дни:

– летнего периода – 62 кВт·ч активной энергии при среднесуточной нагрузке – 20 кВт, минимум – 10 кВт; реактивная энергия максимальная – 29 кВАр, за сутки – 62 кВАр·ч;

– зимнего периода – 2928 кВт·ч при минимальной нагрузке – 2722 кВт активной энергии и среднесуточной – 2810 кВт. Максимальное суточное потребление реактивной энергии – 764 кВАр·ч.

На рис. 7 а, б, представлены суточные графики потребления электроэнергии в контрольные дни летнего и зимнего периода.

Следует отметить, что в летний период 2013 года данная котельная практически не работает. Это связано с особенностью ЦТС г. Харьков: ввиду закольцовки котельных и ТЭЦ в общую сеть горячее водоснабжение в летний период осуществляется в основном от ТЭЦ-5. Однако в 2014 году из-за остановки ТЭЦ-5 в летний период котельная работала на обеспечение горячего водоснабжения, которое составило 72 % от отопительной нагрузки.

Результат анализа данных «ХТС» за 2013 год, а именно – доли составляющих затрат по видам энергоносителей и в себестоимости тепловой энергии, отпускаемой потребителям от котельной, представлен на рис. 8, 9.

Как видно из диаграммы рис. 8, газ занимает 83 % в общих затратах на энергоносители. В то же время, в себестоимости тепловой энергии (114,9 млн грн) энергоносители занимают 88 %. (см. диаграмму рис. 9). Затраты на электроэнергию составляют 11 % себестоимости (10,97 млн грн), т. е. является второй по величине затрат составляющей общих затрат.

График потребления электроэнергии в 2013 году, представленный на рис. 10, наглядно свидетельствует, что в летний период расход электроэнергии связаны, с ремонтными работами.

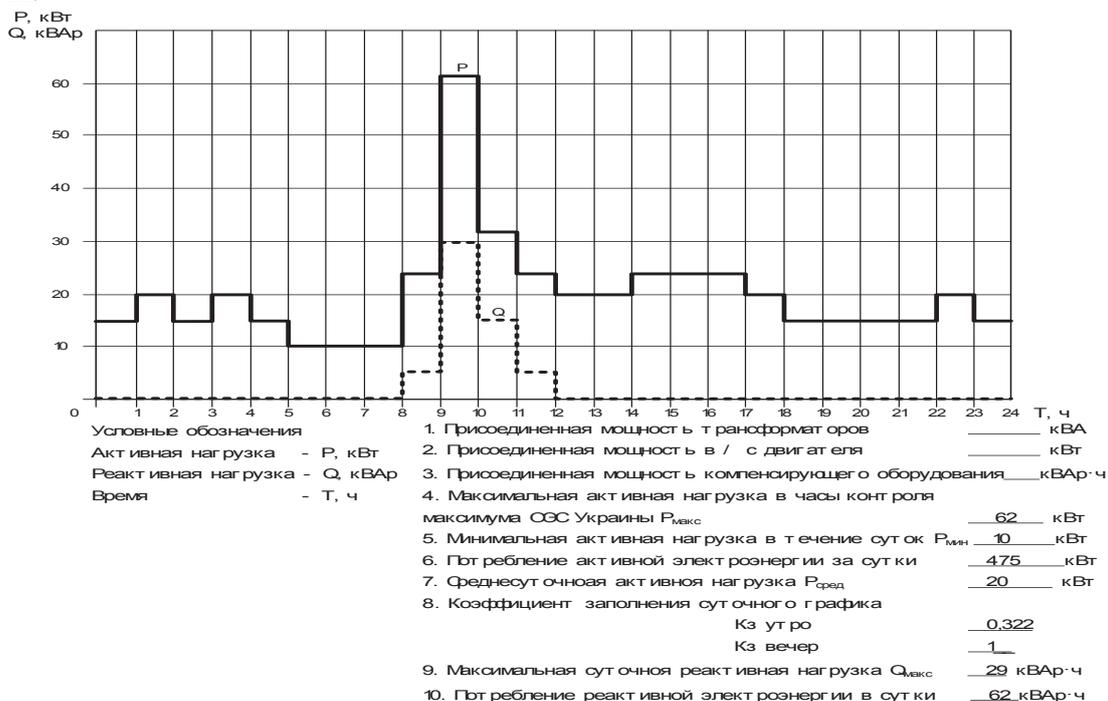


Рис. 7, а. Суточный график летнего периода

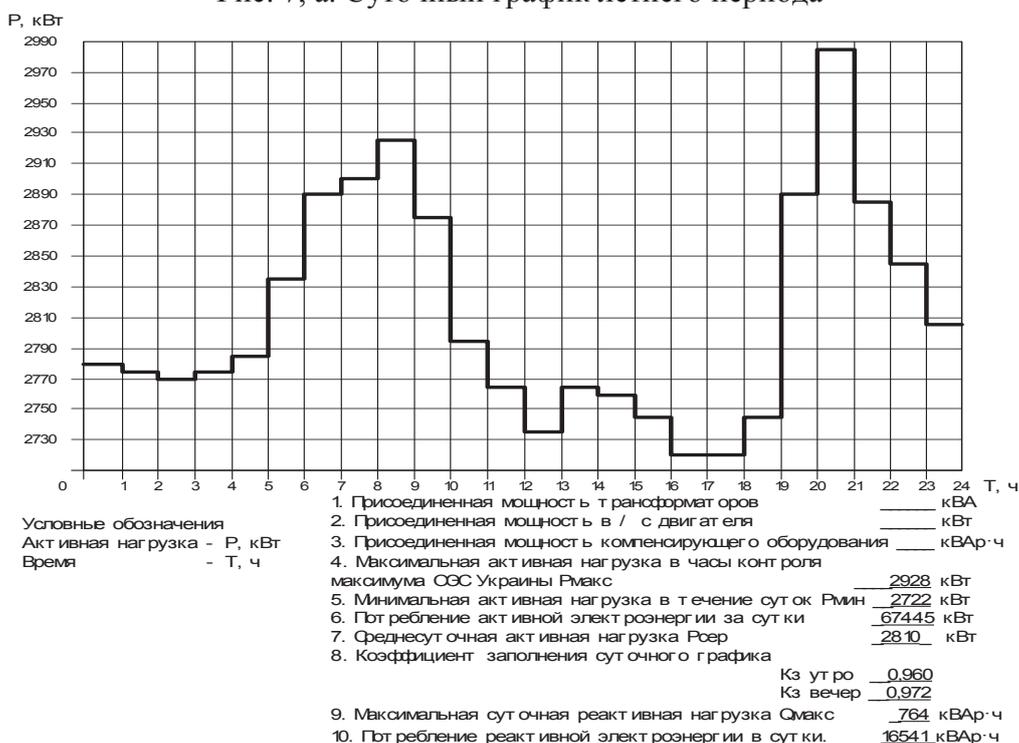


Рис. 7, б. Суточный график зимнего периода

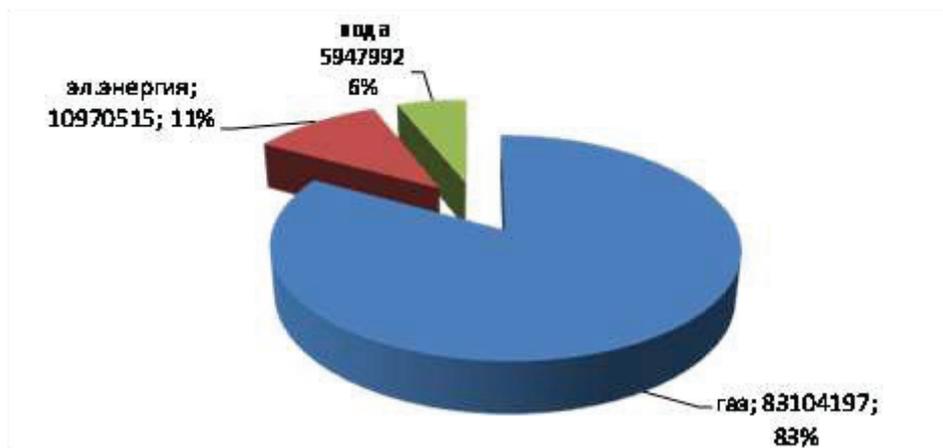


Рис. 8. Соотношение затрат по видам энергоносителей

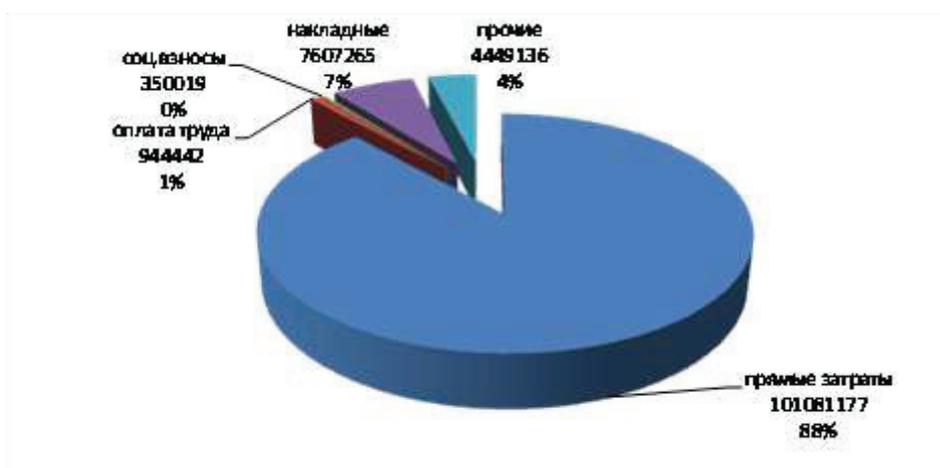


Рис. 9. Соотношение затрат в себестоимости тепловой энергии

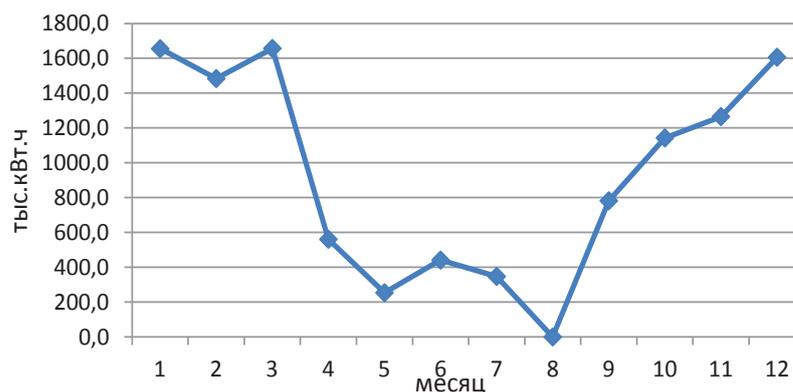


Рис.10. Динамика потребления электроэнергии

Анализ потребления электроэнергии данным предприятием «ХТС» и потребления электроэнергии позволяют выбрать необходимую электрическую мощность ГПД при переводе котельной в режим когенерации, исходя из среднего часового электропотребления зимнего периода. Остановимся на данном вопросе более детально.

Технологическая схема и выбор ГПД

Рассмотренная водогрейная котельная имеет среднесуточную зимнюю электрическую нагрузку 2,8 МВт. В условиях летнего периода в случае обеспечения горячего водоснаб-

жения нагрузка может составлять до 50 % зимней.

Основные параметры работы котельной представлены в табл. 3

Таблица 3

Основные технологические показатели

| Показатель | Выраб отка всего | Соб ст. нуж. | Собст. нуж. | Хоз. быт | Прис. нагр. | В т. ч. отопл. | Ср. тем-ра | | Мах.сут. выр-ка | |
|-------------|------------------------|--------------------|----------------|--------------|----------------|-------------------|---------------|----------|--------------------|----------|
| | | | | | | | зим | лет н | зимн | летн |
| Размерность | Тыс. Гкал | Тыс. Гкал | % | Тыс. Гкал | Гкал/ч | Гкал/ч | °С | | Гкал | Гка л |
| Значение | 471,8 | 6,3 | 1,3 | 2,2 | 277,39 2 | 161,56 6 | -2,1 | 4,2 | 4102 | 666 |

Исходя из анализа существующей номенклатуры дизель-генераторных установок, целесообразно иметь три однотипных установки ГПД электрической мощностью по 1,0 МВт. В качестве такой может быть использована установка типа G3512E с установленной номинальной мощностью: электрической – 975 кВт и тепловой – 1100 кВт. В качестве топлива используется природный газ с расходом 250 м³/ч. Температура источника низкопотенциального тепла – 85 °С, выхлопных газов – 400 °С, объем уходящих газов на выхлопе – 74 м³/мин. Теплота системы охлаждения составляет 400 кВт, выхлопных газов – 720 кВт.

Таким образом, при работе трех установок на номинальном режиме возможно обеспечить 2,9 МВт электрической энергии от низкопотенциальной теплоты охлаждения – 1200 кВт (1,032 Гкал/ч), а от выхлопных газов – 2160 кВт (1,86 Гкал/ч) тепловой энергии.

Рассмотрим варианты использования тепловой энергии

1-й сценарий – всю полученную от ГПД теплоту использовать на покрытие собственных нужд.

Из табл. 3 следует, что суммарно за сезон будет выработано тепловой энергии 471,8 тыс. Гкал, в то время как расход тепла на собственные нужды составит 6,3 тыс. Гкал. Следовательно, среднечасовая потребность в теплоэнергии на собственные нужды составит – 1,366 Гкал/ч., производительные – 0,48 Гкал/ч. Таким образом, система охлаждения ГПД, без учета теплоты выхлопных газов, покрывает потребность в собственных нуждах котельной в виде тепловой энергии на 90 %.

Теплота выхлопных газов является избыточной и может быть использована на дополнительную выработку тепловой энергии.

При себестоимости одной Гкал (согласно данным ХТС) – 294,23 грн/Гкал и расходе на собственные и производственные нужды – 8500 Гкал за год, экономия в денежном выражении составит 8500 x 294,23 x 0,9 = 2250859,5 грн за год.

Использование избыточной теплоты выхлопных газов дополнительно дает экономию 2517431,88 грн в год, т. е. суммарная экономия составит 4768291,38 грн в год.

За счет полного обеспечения собственной электроэнергией (израсходовано 13979.9 тыс. кВт·ч) экономия составит – 10979055 грн (затраты 2013 года на электроэнергию). В результате, суммарная экономия в год составит:

$$4768291,38 + 10979055 - 4000000 = 11747346 \text{ грн.}$$

Для использования теплоты выхлопных газов в когенерационной установке применен теплообменник типа котла-утилизатора, что несколько увеличивает капитальные затраты.

2-й сценарий – на покрытие собственных нужд использовать только низкопотенциальную теплоту систем охлаждения, а выхлопные газы сбросить в котлы. Это позволит сэкономить часть топлива (газа), подаваемого в котлы: – 227 м³/ч или – 1044200 м³ в год. Кроме того, снижаются капитальные затраты, связанные с исключением из технологической схемы котла-утилизатора, т. е. фактически снижаются затраты топлива на выработку электроэнергии при сохранении производительности котельной по теплу.

Выводы

Эффективность внедрения когенерационных установок на объектах теплоснабжения муниципальной энергетики в условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию может стать одним из наиболее эффективных средств снижения тарифов на производимую тепловую энергию.

Предложенные технологические схемы когенерационных установок могут быть использованы при модернизации других типов водогрейных котельных.

При наличии в котельных паровых котлов целесообразно применять паровые турбины малой мощности низкого давления.

Список использованной литературы:

1. Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности / А. Л. Шубенко, В. А. Маляренко, А. В. Сенецкий, Н. Ю. Бабак // НАН Украины, Институт проблем машиностроения. – Харьков, 2014. – 320 с.
2. Маляренко В. А. Перевод котельных в режим когенерации путем внедрения турбин малой мощности [Текст] / В. А. Маляренко, И. А. Темнохун, А. В. Сенецкий, А. Ю. Петров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Васеленка – 2014. Харків: ХНТУСГ № 153. – С. 110–111.
3. Маляренко, В. А. Тенденции модернизации объектов малой энергетики на базе когенерации [Текст] / В. А. Маляренко, А. Л. Шубенко, А. В. Сенецкий, И. А. Темнохун. – Ползуновский вестник. – 2013. Вып. № 4–3. – С. 131–137.

References:

1. Cogeneration technologies in the branch of power industry based on the low-power steam turbine use [Kogeneratsionnye tekhnologii v energetike na osnove primeneniya parovykh turbin maloy moshchnosti] / A. L. Shubenko, Malyarenko V. A., A. V. Senetskiy, N. U. Babak // NAS of Ukraine, Mashine-building Institute. – Kharkiv, 2014. – 320 p.
2. Malyarenko V. A., Boiler-house mode changing for cogeneration by way of low-power turbine introduction [Perevod kotelnykh v rezhim kogeneratsii putem vnedreniya turbin maloy moshchnosti] [Script] / Malyarenko V. A., I. A. Temnokhud, A. V. Senetskiy, A. U. Petrov // The Bulletin of Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Rural Economy – 2014. Kharkiv: KPVNTURE № 153. – P. 110–111.
3. Malyarenko V. A., Streamlining tendencies of small power facilities on the cogeneration basis [Tendentsii modernizatsii obektov maloy energeniki na baze kogeneratsii] [Script] / Malyarenko V. A., A.L. Shubenko, A. V. Senetskiy, I. A. Temnokhud. – The Polzunoff Bulletin. – 2013. Ed. № 4–3. – P. 131–137.

Поступила в редакцию 03.02 2015 г.