

Проведено аналіз електрогенеруючих установок малої потужності, що застосовуються при переведенні існуючих котелень у міні-ТЕЦ. Представлено основні порівняльні характеристики ГПД та ГТУ для малих енергогенеруючих об'єктів. Оцінено можливість реалізації принципів когенерації на прикладі котельні КП «ХТМ». Проведено техніко-економічні розрахунки щодо реалізації ГПД надбудови, показано вплив вартості газу на термін окупності проекту

Ключові слова: когенерація, енергозбереження, міні-ТЕЦ, техніко-економічне обґрунтування, газопоршневий двигун, газова турбіна

Проведен анализ электрогенерирующих установок малой мощности, применяемых при переводе существующих котельных в мини-ТЭЦ. Представлены основные сравнительные характеристики ГПД и ГТУ для малых энергогенерирующих объектов. Оценена возможность реализации принципов когенерации на примере котельной КП «ХТС». Проведены технико-экономические расчеты по реализации ГПД надстройки, показано влияние стоимости газа на срок окупаемости проекта

Ключевые слова: когенерация, энергосбережение, мини-ТЭЦ, технико-экономическое обоснование, газопоршневой двигатель, газовая турбина

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В КОМУНАЛЬНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

С. Ю. Андрєєв

Кандидат технічних наук, генеральний директор
КП «Харківські теплові мережі»
вул. Доброхотова, 11, м. Харків, Україна, 61037

В. А. Малярєнко

Доктор технічних наук, завідувач кафедри*
E-mail: malyarenko@ksame.kharkov.ua

І. О. Темнохуд

Асистент*

E-mail: innatemnokhud@mail.ru

О. Л. Шубенко

Доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України,
завідувач відділом**

E-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua

М. Ю. Бабаєв

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник**

E-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua

О. В. Сенецький

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник**

E-mail: shuben@ipmach.kharkov.ua

*Кафедра електропостачання міст

Харківський національний університет
міського господарства ім. А. Н. Бекетова

вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, Україна, 61002

**Відділ оптимізації процесів і конструкцій турбомашин

Інститут проблем машинобудування

ім. А. Н. Підгорного НАН України

вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, Україна, 61046

1. Вступ

У галузях паливно-енергетичного комплексу найбільш енерговитратними є технологічні процеси, пов'язані з виробництвом, транспортуванням та використанням теплової енергії (теплопостачання), що одержується у виробничих та опалювальних котельнях житлово-комунального господарства (ЖКГ), яких у країні налічується більше 20 тисяч. Для збільшення ефективності та надійності теплопостачання необхідно впровадження комплексу енергоресурсозберігаючих заходів, що дозволить більш раціонально використовувати паливно-енергетичні ресурси. Досить перспективним напрямком підвищення енергетичної ефективності котелень є їх переведення у міні-ТЕЦ,

тобто в установки комбінованого виробництва теплової та електричної енергії або когенерації.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В Україні останнім часом розроблено низку нормативних документів (законів, постанов, ДСТУ тощо), що направлені на економію енергоресурсів [1, 2]. Ці закони регламентують шляхи модернізації підприємств різних галузей промисловості, зокрема ЖКГ.

В роботі, що пропонується, проведено аналіз характеристик структури, енергетичного обладнання та енергоефективності КП «Харківські теплові мережі» («ХТМ»). На цій підставі обрано котельню для прове-

дення техніко-економічних розрахунків з переведення її у міні-ТЕЦ шляхом впровадження газопоршневого двигуна (ГПД). По результатам цих розрахунків визначені перспективи впровадження когенераційної технології, що розглядається.

В технічній літературі достатньо давно і досить повно висвячені питання переведення водогрійних котелень у міні-ТЕЦ [3] як з застосуванням газотурбінних установок [4], так і ГПД [5]. В Україні відповідні завдання вирішуються досить повільно, що пов'язано з тривалим періодом переходу від планової економіки до ринкової. Під час кожних економічних потрясінь питання, які пов'язані з оцінюванням економічної ефективності технічних рішень, є досить складні, бо спираються на прогнози, але необхідні, тому що є запорукою подальшого розвитку.

Для когенерації на потужних енергоджерелах зазвичай використовуються ГПД закордонних виробників, які більш потужні та мають кращі технічні показники ніж вітчизняні. Існує досить багато пропозицій цих машин, наприклад, таких виробників як «Mitsubishi» [6], «Cummins» [7], «MAN» [8], «Jenbacher» [9], «MWM» [10], «Caterpillar» [11], та інші. Переваги при виборі ГПД надаються, як правило, більш поширеним в країні машинам та тим, що мають технічні показники, які краще відповідають потребам проекту.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження визначити в умовах сучасної України перспективність впровадження когенерації на котельнях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- визначити тенденції зміни вартості енергоносіїв в Україні на найближчі п'ять–сім років;
- охарактеризувати потужні міські теплові джерела та мережі, та визначити для яких з них найбільша перспектива впровадити когенерацію;
- порівняти когенераційні технології та вибрати з них перспективну для впровадження на потужних котельнях;
- визначити розрахунковим шляхом техніко-економічні показники (ТЕП) вибраної когенераційної технології для оцінки перспектив її впровадження.

4. Тенденції зміни вартості природного газу, теплової та електричної енергії

У 2011 році Міністерством ЖКГ України були зроблені прогнози стосовно тенденцій зміни тарифів на теплову енергію, електроенергію та газ в Україні в 2007–2032 рр. (фрагмент графічного відображення цього прогнозу на рис. 1) [12]. В 2015–2020 рр. зростання за рік вартості тепла прогнозується на 47–56 %, природного газу на 35–40 %, електроенергії на 4,8–5,6 %.

Таким чином, за прогнозами Міністерства ЖКГ України, тарифи на енергоносії в Україні будуть безупинно підвищуватися. Якщо проаналізувати тенденції зростання тарифів на різні енергоносії, не складно прийти до висновків, що тариф на електроенергію в Україні буде підвищуватися не так швидко, ніж тариф на природний газ. Доцільність впровадження когенераційних технологій у ЖКГ залежить від вартості природного газу, електричної енергії у мережі та курсу гривні.

Зростання цін, %

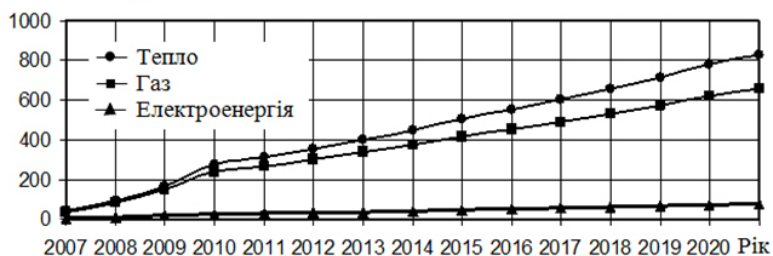


Рис. 1. Прогноз зростання вартості теплової, електричної енергії та природного газу в Україні в 2007–2021 рр.

За останні 8 років вартість електричної енергії 2 класу в електромережі зросла майже у 4 рази на рік (рис. 2). Реальні річні темпи зросту вартості електроенергії складають 7,8–14,8 %, суттєво перевищують прогнозовані (рис. 1, 2).

Кабінет міністрів України 8 квітня 2014 року затвердив поетапний графік збільшення цін на газ для населення на період 2015–2017 рр. Про це йдеться у Постанові № 106, що опублікована на Урядовому порталі [13]. Згідно з постановою, Нацкомісії регулювання енергетики рекомендується підвищити ціни на газ на 40 % з 1 травня 2015 року, на 20 % – з 1 травня 2016 та на 20 % – з 1 травня 2017 року (рис. 2).

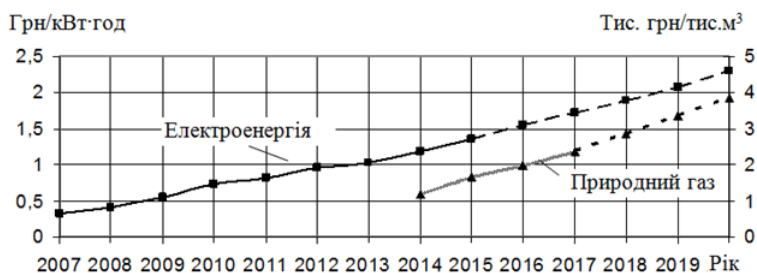


Рис. 2. Тенденція зміни вартостей електроенергії 2 класу та природного газу для населення до 2020 року.

Таким чином, за три роки ціни збільшаться у два рази в порівнянні з рівнем, встановленим на 1 травня 2014 року. З 1 травня тариф «для населення» збільшився приблизно в півтора рази і склав 1182 грн/тис. м³. Об'явлена вище тенденція підвищення вартості газу для населення до 2017 р. представлена суцільною кривою на рис. 2, на якому видно, що збільшення вартості природного газу має вигляд близький до лінійного за умови відсутності нових змін в Законодавстві України пов'язаних з переглядом тарифів.

Станом на 2014 рік вартість природного газу для промислових підприємств становить 385 дол. США за 1 тис. м³, а згідно прогнозів Міністерства ЖКГ Украї-

ни ця вартість відповідає 2019 року (рис. 1), що говорить про більш жваву тенденцію зростання вартості газу ніж електричної енергії. Це знижує економічну зацікавленість впровадження електрогенеруючих установок на основі використання природного газу, конкуренцію яким складають потужні вугільні електричні станції. У 2015 р. очікується знизка вартості газу до 345–350 дол США за 1 тис. м³.

Проведемо аналіз впровадження когенераційних установок на прикладі КП «Харківські теплові мережі».

5. Загальна характеристика теплових мереж на прикладі КП «ХТМ»

Комунальне підприємство «ХТМ», одне з найбільших підприємств комунальної енергетики не тільки в Україні, але і в Європі. Воно забезпечує централізованим тепlopостачанням більш 30,26 млн. м² площ, що опалюються (майже 8500 будівель, у т. ч. більше 5900 житлових будинків) та близько 880 тис. мешканців гарячим водopостачанням. Система тепlopостачання міста – закрита. Наряду з централізованою системою тепlopостачання, що включає найбільш великі теплогенеруючі потужності та функціонує взаємопов'язано, маються квартальні котельні, які функціонують автономно. До магістральних і розподільних теплових мереж підключені центральні та індивідуальні теплові пункти, де здійснюється підігрів гарячої води та розподіл теплоносія по внутрішньоквартальних теплових мережах до споживачів. Сумарна теплова потужність джерел тепlopостачання КП «ХТМ» становить 4500 Гкал/год.

Споживання електроенергії та фінансові витрати на її придбання займають друге місце в формуванні собівартості теплоти. При цьому слід зазначити, що в зимовий період платежі за електроенергію по відношенню до палива становлять 10–12 %, а в літній період 22–25 %. Тому питання зниження витрат на електроенергію є досить актуальним. На рис. 3 представлений помісячний графік витрати електроенергії всіма котельнями КП «ХТМ».

Слід зазначити, що в загальній сумі спожитої електроенергії (більше 150 млн. кВт·год/рік) велика частка (66 %) припадає на потужні котельні міста (понад 100 млн. кВт·год/рік), до яких відносяться котельні: по вул. Жовтневої революції, 99 (114,2 Гкал/год), по вул. Проскури, 1 (140 Гкал/год), по вул. Шекспіра, 17 (300 Гкал/год), по вул. Костичева, 2/1 (400 Гкал/год), по вул. Столітова, 6 (780 Гкал/год), ТЕЦ-4 (825 Гкал/год) та ТЕЦ-3 (880 Гкал/год).

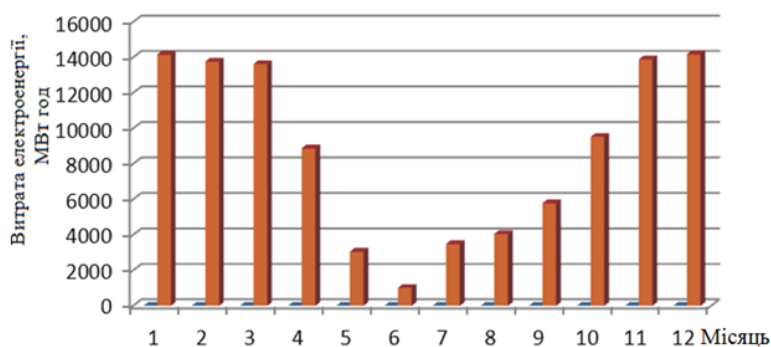


Рис. 3. Динаміка споживання електроенергії котельнями КП «ХТМ» у 2013 р.

Аналіз, проведений з метою оцінки доцільності переводу котельень в розряд міні-ТЕЦ, показав:

- усі котельні КП «ХТМ» знаходяться у рівних кліматичних умовах;

- на більшості з них встановлені водогрійні котли типу ПТВМ (необхідно відзначити, що капітальний ремонт теплогенеруючого обладнання (на котельнях, що розглянуто) проведено протягом 2010–2013 рр., тепловий ККД цих водогрійних котлів у середньому складає 93 %);

- в витратах котельень в літній період вартість палива складає ~56–58 %, а в зимовий період ~76–78 %.

- потреби в електричній потужності на самій потужній котельні не перевищують 4,0 МВт (за результатами 2013 р.).

На котельнях м. Харкова необхідно встановити наступні електрогенеруючі потужності для забезпечення власних потреб у зимовий період:

- котельня за адресою вул. Жовтневої революції, 99 – ~0,5 МВт;

- котельня за адресою вул. Академіка Проскури, 1 – ~0,8 МВт;

- котельня за адресою вул. Костичева, 2/1 – ~2,5 МВт;

- котельня за адресою вул. Шекспіра, 17 – ~2,5 МВт;

- котельня (ТЕЦ-4) за адресою пр-т Московський, 275 – ~4,0 МВт.

Створення комбінованого вироблення теплової та електричної енергії на базі існуючої котельні за допомогою ГТУ або ГПД є однією з можливостей поліпшення ТЕП вироблення теплової енергії. В залежності від прийнятої концепції в якості функції цілі можуть бути обрані різні показники, такі як: собівартість електроенергії, наведені витрати, термін окупності, прибуток за кілька років. Розраховуючи всі перераховані показники, далі при виборі раціонального варіанту розширення ТЕЦ будемо керуватися тривалістю простого терміну окупності [14].

У якості об'єкту для дослідження можливості встановлення обладнання для когенерації виберемо котельню по вул. Академіка Проскури, яка досить потужна і потребує для реалізації проекту не таких значних інвестицій.

6. Вибір електрогенеруючих установок для котельень

Вибір типу двигуна, а також їх кількості для приводу електрогенераторів будь-якої потужності є досить складною техніко-економічною задачею. Спроби порівняння між собою в якості приводу поршневих та газотурбінних двигунів найчастіше робляться за умови використання у якості палива природного газу. Їх принципові переваги та недоліки неодноразово аналізувалися в технічній літературі [5, 15], в рекламних проспектах, на сторінках Інтернету [16]. Як правило, в цих джерелах наводяться узагальнені відомості про різницю у витратах палива, у вартості двигунів без жодного врахування їх потужності та умов роботи. Слід відзначити, що реалізацію електрогенеруючого устаткування при потребі в електричній

потужності об'єкту, що розглядається, менше 10 МВт доцільно формувати на базі поршневих двигунів, а більшої потужності – на базі газотурбінних. Очевидно одне: кожен тип двигуна має свої переваги та недоліки, і при виборі приводу потрібні хоча б орієнтовні, кількісні критерії їх оцінки.

В даний час на українському енергетичному ринку пропонується досить широка номенклатура як поршневих, так і газотурбінних двигунів. Обробка наявної інформації дозволила сформуванню наведену нижче табл. 1, яка містить основні порівняльні характеристики ГПД та ГТУ. На жаль, частина характеристик взята з рекламних матеріалів, перевірити достовірність яких важко або практично неможливо.

З метою зменшення термінів окупності електрогенеруючого обладнання при виборі його потужності слід виходити з максимального навантаження протягом усього року. У зв'язку з тим, що режими роботи котельні по вул. Академіка Проскури (її переведення в міні-ТЕЦ розглядається) в зимовий та літній періоди суттєво різняться, а її потреби в електричній потужності складають 800 кВт, передбачається встановлення двох ГПД однакової потужності (по 400 кВт).

7. Розрахунок термінів окупності електрогенеруючих установок

Основними показниками, що впливають на вибір технічного рішення при переводі котельні у режим роботи міні-ТЕЦ шляхом встановлення електрогенеруючого обладнання на основі ГПД служать [15]:

- наявність на джерелі надлишкових парогенеруючих потужностей або відпускання пари споживачам після дроселювання;
- питома вартість 1 кВт встановленої потужності при реалізації кожного з розглянутих рішень (для імпортних ГПД складає 500–1000 дол. США);
- наявність вільних площ для установки (впливає на величину капітальних вкладень);
- максимальна величина електричної потужності, споживана на джерелі;
- ціна та вид споживаного палива;
- ціна електричної енергії в мережі;
- величина завантаження джерела з відпуску теплоти на протязі року;
- забезпеченість теплогенеруючими потужностями.

З урахуванням цих обмежень проведено розрахунки термінів окупності впровадження електрогенеруючого обладнання на основі ГПД.

Дослідження ринку ГПД в Україні на відповідні параметри необхідної електричної потужності 400 кВт (при реалізації 2-х ГПД), стосовно до котельні по вул. Академіка Проскури, 1, дозволило зробити висновок, що для теплового розрахунку варіантів ТЕП, що порівнюються, можуть бути обрані ГПД трьох провідних Світових виробників: «MAN Diesel & Turbo» MAN-404N (по 404 кВт) [8], «MWM» TCG 2016 V08 C (по 400 кВт), [10] «Caterpillar» CAT-400 (по 395 кВт) [11]. Інвестиційні витрати на реалізацію переведення котельні у міні-ТЕЦ шляхом впровадження 2-х ГПД близькі та в середньому орієнтовно (уточнюються після тендерних процедур) становлять 480 тис. дол. США.

При виконанні розрахункових досліджень було розглянуто два варіанти умов роботи міні-ТЕЦ: електроенергія виробляється тільки на власні потреби станції, для себе і корпоративних споживачів (влітку працює один ГПД). Розрахунки ТЕП міні-ТЕЦ виконувалися з урахуванням змін цін на природний газ, електроенергію та теплоту, які прогнозуються на протязі спливання терміну окупності проекту. В табл. 2, як приклад, наведено результати розрахункових досліджень при виробництві електричної енергії на ГПД тільки на власні потреби, при цьому було прийнято: ціни природного газу з ПДВ для населення 1182 грн/тис. м³, для бізнесу 6006 грн/тис. м³, відпускні ціни теплоти без ПДВ: для населення 312,08 грн/Гкал, для бізнесу 965,5 грн/Гкал; ціна купівлі електроенергії 2 кл. з мережі 1,1861 грн/кВт·год без ПДВ (ціни на кінець 2015 р., курс 1 дол. США=14 грн). Розрахунки проведено за умови, що 90 % природного газу закуповується згідно тарифів для населення. Коефіцієнт завантаженості електрогенеруючого обладнання 0,674.

Таблиця 1

Порівняння основних показників ГПД та ГТУ для міні-ТЕЦ

Показник	Тип двигуна	
	Поршневий	Газотурбінний
Діапазон одиничних потужностей двигуна (ISO), МВт	0,01...6,0	0,1...265,0
Необхідний тиск паливного газу, МПа	0,01...0,035	Більше 1,2
ККД по виробництву електроенергії при роботі на газі (ISO)	От 31 до 48 %	В простому циклі від 25 до 38 %
Питома витрата палива при 100 % та 50 % навантаженні	0,264...0,329 м ³ /кВт·год	0,375...0,503 м ³ /кВт·год
Зміна економічності при часткових навантаженнях	ККД більш стійкий, при зниженні навантаження на 50 % знижується на 8–10 %	ККД менш стійкий, при зниженні навантаження на 50 % знижується на 50 %
Співвідношення електричної потужності й кількості утилізованої теплоти, МВт/МВт (ISO)	1/(0,95...1,3)	1/(1,4...4,0)
Падіння напруги і час відновлення після 50 % набросу навантаження	22 % 8 с	40 % 38 с
Можливості використання утилізованої теплоти	Високопотенційну вихлопних газів – на виробництво пари для вироблення електроенергії Низькопотенційну від системи охолодження – на нагрів води до температури 90–115 С	На виробництво пари для вироблення електроенергії, холоду, опріснення води тощо; на нагрів води до температури 150 °С.
Моторесурс, годин	Більше (до 300 000 для середньоборотних двигунів)	Менше (до 100 000)
Питома витрата масла, г/кВт·год	0,3...0,4	0,05
Обслуговування	Зупинка після кожних 1000 год. роботи, заміна мастила; капітальний ремонт через 70000 год, виконується на ТЕЦ	Зупинка після кожних 2000 год.; капітальний ремонт через 30000 год, виконується на спеціальному заводі
Вартість капремонту	Дешевше	Дорожче

Згідно з результатами розрахунку собівартість вироблення 1 кВт-год електроенергії на котельні, що функціонує з навантаженням на власні потреби після переведення у міні-ТЕЦ (табл. 2), відрізняється залежно від варіанту установки і сезону, за ціни на паливо (природний газ) на кінець 2014 р.:

1) при інсталяції двох ГПД «MWM» TCG 2016 V08 C влітку 0,374 грн/кВт-год, взимку 0,231 грн/кВт-год;

2) при інсталяції двох ГПД «MAN Diesel & Turbo» MAN-404N влітку 0,337 грн/кВт-год, взимку 0,218 грн/кВт-год;

3) при інсталяції двох ГПД «Caterpillar» CAT-400 влітку 0,346 грн/кВт-год, взимку 0,225 грн/кВт-год.

Різниця в собівартості електроенергії від машин різних виробників незначна та визначається економічною ефективністю теплових процесів.

За результатами проведених розрахункових досліджень отримано, що ефективність роботи створеної міні-ТЕЦ з надбудовами ГПД фірм «MWM», «MAN» та «Caterpillar» відрізняється не настільки істотно. Термін простої окупності цих проектів при цінах на енергоносії 2014 р. відповідно складає 4,0, 3,7 та 4,1 року (без урахування зміни річних цін на природний газ та електроенергію, що прогножуються), суттєво залежить від вартості природного газу. Додаткова кількість природного газу, необхідного для спалювання в ГПД складає 631–680 тис.м³/рік.

Як показали розрахунки, при цінах 2014 р. вигреш від часткової (влітку один ГПД працює на повну потужність 400 кВт, власні потреби 250 кВт) корпоративної передачі електроенергії досліджуваної міні-ТЕЦ з надбудовами ГПД фірм «MWM», «MAN» та «Caterpillar» досить значний. Термін окупності цих установок відповідно

Таблиця 2

Результати розрахунку ТЕП проекту розширення котельні по вул. Академіка Проскури, 1 з установкою ГПД надбудови, що функціонує з навантаженням на власні потреби, при середній ціні природного газу 1387 грн/тис. м³ без ПДВ, наведена відпускна ціна теплоти 377 грн/Гкал (ціни кінця 2014 р.)

Найменування показника	До розширення котельні		Після переведення у ТЕЦ					
	ГВП	ГВП та опалення	"MWM"		"MAN"		"Caterpillar"	
			літо	зима	літо	зима	літо	зима
Електрична потужність споживання, кВт	250	800	250	800	250	800	250	800
Сумарне вироблення теплоти, Гкал/год.	4,2	33,9	4,2	33,9	4,2	33,9	4,2	33,9
Електрична потужність ГПД станції, кВт	–	–	250	800	250	800	250	790
Собівартість електроенергії, грн/кВт-год.	–	–	0,374	0,231	0,337	0,218	0,346	0,225
Сумарні витрати на ГПД станції, тис. грн/міс.	–	–	141,5	280,5	152,2	314,7	153,0	314,3
Собівартість теплоти від ГПД, грн/Гкал	–	–	507,0	314,1	457,0	295,3	469,1	305,0
Сума щомісячних витрат (без газу), тис. грн/міс.	426	1391	426	1391	426	1391	426	1391
Витрати на паливо в місяць, тис. грн/міс.	563,1	4526	534,5	4435	522,9	4398	525,1	4406
Собівартість теплоти від котлів, грн/Гкал	235,7	174,4	263,53	180,5	263,6	180,4	263,76	180,5
Місячні витрати на котельні, тис. грн/міс.	823,7	5781	838	5318	817	5269	821	5281
Собівартість теплоти на ТЕЦ, грн/Гкал	235,7	174,4	274,3	183	276,3	183,4	276,5	183,5
Прибуток за сезон від виробітку електроенергії власного споживання, тис. грн/сез.	0	0	839	3536	877	3587	868	3561
Прибуток за сезон від продажу теплоти, тис. грн/сез.	1846	27769	1654	29655	1668	29742	1647	29597
Прибуток ТЕЦ за рік з урахуванням витрат на утримання теплових мереж, тис. грн/рік.	29615		31310		31410		31244	
Економічний ефект от встановлення ГПД, тис. грн/рік.			1695		1795		1629	
Інвестиції, тис.грн / Простий термін окупності, рік			6720 / 4,0		6720 / 3,7		6636 / 4,1	

буде складати 3.1, 2.9 та 3.1 року, що на 0,9–1 рік менше ніж у випадку роботи ТЕЦ тільки на власні потреби. Це станеться за рахунок підвищення річного прибутку, який досягнуто за рахунок збільшення генерації електричної потужності влітку, що призвело до зниження собівартості електроенергії в цей період до 0,272–0,296 грн/кВт-год (взимку без змін). Коефіцієнт завантаженості ГПД при корпоративній передачі електроенергії 0,764, він більше ніж у випадку роботи тільки на власні потреби.

Розрахункове дослідження також показало, якщо врахувати зміну курсу гривні у 2015 р. (1 дол. США=24 грн) та річні зміни цін у 2015–2020 рр. відповідно прогнозу на газ, електроенергію (рис. 2), та теплоту для міні-ТЕЦ по вул. Академіка Проскури, 1, то раніше вказані терміни окупності надбудов ГПД при корпоративній видачі електроенергії збільшаться більш ніж у два рази, складуть відповідно 6,9; 6,7 та 7,7 роки. Останнє пов'язано з ростом інвестиції та вартості комерційного газу відповідно росту курсу гривні, а також більш високими темпами подорожання природного газу ніж електричної енергії.

Потрібно зазначити, що для більш потужних котелень ТЕП переведення їх у міні-ТЕЦ будуть не набагато кращі, оскільки постійна частина накладних витрат при рості вартості газу складає 5–10 %, що призведе до відповідного незначного зменшення собівартості електроенергії, а з нею і терміну окупності.

8. Висновки

1. Реальні річні темпи зросту вартості енергоносіїв складають:

- природного газу до 40 %, що близько до прогнозованих змін;
- електроенергії 7,8–14,8 % що суттєво перевищує прогнозовані 4,8–5,6 %.

Це разом з падінням курсу гривні з кінця 2014 р. майже у два рази суттєво ускладнює впровадження проектів з когенерації в Україні.

2. Міські котельні великих міст України мають великий потенціал з точки зору впровадження проектів з когенерації, що видно на прикладі м. Харкова. П'ять найпотужніших котельень цього міста потребують для власних потреб до 10,3 МВт електричної потужності.

3. Рішення задачі виробництва власної електричної енергії на котельнях м. Харкова з підвищенням їх ТЕП доцільно здійснити організацією надбудови у вигляді декількох енергетичних ГПД сумарною потужністю ~0,8–4,0 МВт. Ці машини обладнані системами утилізації тепла продуктів згорання, які використовуються для підігріву води на опалення та гаряче водопостачання. Тепловий ККД реалізації такої міні-ТЕЦ змінюється незначно, щоб чинити вплив на ефективну роботу станції при існуючих цінах на енергоносії.

4. Аналіз ТЕП на прикладі переведення котельні по вулиці Академіка Проскура, 1 у міні-ТЕЦ шляхом встановлення ГПД виробників «MWM», «MAN» та «Caterpillar» при електричній потужності ~0,8 МВт дозволив встановити:

- Економічна ефективність роботи міні-ТЕЦ в цілому залежить від повноти її завантаженості на

протязі року, особливо у літній період, та вартості енергоносіїв.

– Загальні інвестиції на реалізацію проекту на базі двох ГПД складають у 2015 р. ~13,5 млн. грн (~600 дол. США за встановлений 1 кВт), що пов'язано з наближено однаковою потужністю розглянутих установок.

При цінах 2014 р. без ПДВ: «промисловий» природний газ 5005 грн/тис. м³, «для населення» 985 грн/тис. м³ (90 % палива закуповується котельнями за цією вартістю), електроенергія в мережі 1,1861 грн/кВт-год, електрогенеруюча установка на міні-ТЕЦ на базі двох «MWM» TCG 2016 V08 C в зимовий період дасть змогу покривати потужність ~800 кВт електричної енергії, влітку 400 кВт (власні потреби станції 250 кВт) при собівартості 0,231 грн/кВт-год, що дозволить отримати річний прибуток від виробництва електроенергії власного споживання 1795 тис. грн. Термін простої окупності при цьому складе 2,9 року. Робота міні-ТЕЦ тільки на власні потреби менш ефективна.

При існуючому курсу гривні, збільшенні цін природного газу «для населення» та електроенергії, яке прогнозується (рис. 2), слід очікувати підвищення строку окупності проекту з когенерації до 6,9–7,7 року. Збільшення терміну окупності проекту пов'язано із низьким курсом гривні та з більшим темпом зростанням ціни на природний газ «для населення» ніж на електричну енергію. Проект буде привабливим для реалізації тільки після оздоровлення економіки України, коли співвідношення цін в країні на природний газ та електричну енергію буде відповідати такому показникові розвинутих країн.

Література

1. Закон України «Про енергозбереження» [Електронний ресурс] / Відомості Верховної Ради. – 1994. – № 30. – С. 283. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>
2. Наказ Міністерства Фінансів України «Про визначення пріоритетних напрямів енергозбереження» від 04.07.2006 № 631 [Електронний ресурс] / С. 1. – Режим доступу: www.waste.com.ua/law/nakaz_nakaz040706-631.html
3. 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.
4. Цанев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций [Текст] / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
5. Долинский, А. А. Энергоэффективность когенерационных схем, работающих на базе газо-поршневых двигателей [Текст] / А. А. Долинский, Б. И. Басок, Е. Т. Базеев, Д. А. Коломейко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2006. – № 11. – С. 16–27.
6. Mitsubishi Gas Engine [Electronic resource] / Honlin Heavy Industries Co. Ltd, Taiwan. – Available at: <http://honlin-hp.com/web/images/MitsubishiGasEngine.pdf> (Last accessed: 19.03.2015)
7. Packham Keith Evaluating cogeneration for your facility: A look at the potential energy-efficiency, economic and environmental benefits. Power topic #GLPT-5660-EN [Electronic resource] / Technical information from Cummins Power Generation – Columbus, USA, 2013. – Available at: <http://www.cummins.co.kr/board/DATA/Evaluating%20cogen%20final%20web%20A4.pdf> (Last accessed: 19.03.2015)
8. MAN gas engines for power generation in cogeneration plants [Electronic resource] / Site MAN Engines, 2014. – Available at: <http://www.engines.man.eu/global/en/power/gas-power-generation/overview/Overview.html> (Last accessed: 19.03.2015)
9. Generating power and heat, wherever you need it [Electronic resource] / On-site power supply with Jenbacher gas engines. – GE Energy. – 5 p. – Available at: http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/en/downloads/as_cogen_feb08.pdf (Last accessed: 19.03.2015)
10. Газопоршневые электростанции (ГПЭС–ГПУ) [Электронный ресурс] / Сайт ГК «Простор», Ярославль, РФ. – Режим доступа: http://prostor-vrn.ru/?page_id=595 – Загл. с экрана.
11. Газопоршневые электростанции. [Электронный ресурс]. / Сайт ИЦ «Энергия ТЭК», г. Санкт-Петербург, РФ. – Режим доступа: <http://www.energy-tek.com/oborudovanie/gazoporshnevie-elektrostancii.html> – Загл. с экрана.
12. Компанія «ПрофіК-Юг». Тарифи на електроенергію та газ в Україні (прогнози Міністерства з питань житлово-комунального господарства України) [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.profik.com.ua/2011/07/21/tarify-na-elektroenergiyu-i-gaz-v-ukraine/> – Загол. з екрану.

13. Постанова Кабінету Міністрів № 106 від 17 квітня 2014 р. Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України № 81 від 25 березня 2014 р. Про вдосконалення державної політики регулювання цін на природний газ і тарифів на теплову енергію та забезпечення посилення соціального захисту населення під час оплати житлово-комунальних послуг [Електронний ресурс] / Урядовий кур'єр. – 2014. – № 73. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/106-2014-p>
14. Раппопорт, А. Н. Практические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике (с типовыми примерами). Официальное издание [Текст] / А. Н. Раппопорт, П. В. Горюнов, Е. М. Антонова. – М.: АО «НЦПИ», 1997. – 171 с.
15. Шубенко, А. Л. Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности [Текст] / А. Л. Шубенко, В. А. Маляренко, А. В. Сенецкий, Н. Ю. Бабак // – Институт проблем машиностроения НАН Украины, 2014. – 320 с.
16. Буров, В. Д. Возможности и преимущества газопоршневых установок в когенерационных автономных электростанциях [Электронный ресурс] / В. Д. Буров, А. А. Дудолин, В. В. Макаревич, Е. В. Макаревич. – Режим доступа: <http://www.manbw.ru/analytics/gazoporshnevyye-installations-cogeneration-autonomus-power-stations.html>

Розглянуто різні варіанти схем регенерації когенераційної енергетичної установки на базі газотурбінного двигуна, що працює за регенеративним циклом. Здійснено розрахунок економічних показників наведених схем. На підставі отриманих даних проведено аналіз та обрано найбільш економічний варіант теплової схеми з розрахунку найменшого значення витрати палива. Обрана схема є основою для розробки комплексної системи керування

Ключові слова: когенераційна установка, регенерація, газотурбінна установка, теплова схема, економічні показники

Рассмотрены различные варианты схем регенерации когенерационной энергетической установки на базе газотурбинного двигателя, работающего по регенеративному циклу. Проведен расчет экономических показателей представленных схем. На основании полученных данных проведен анализ и выбран наиболее экономичный вариант тепловой схемы из расчета наименьшего значения расхода топлива. Выбранная схема является основой для разработки комплексной системы управления

Ключевые слова: когенерационная установка, регенерація, газотурбинная установка, тепловая схема, экономические показатели

УДК 621.311

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40401

ВЫБОР ЭКОНОМИЧНОЙ СХЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА КОГЕНЕРАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Ю. К. Тодорцев

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: utodorcev@rambler.ru

О. С. Тарахтий

Аспирантка*

E-mail: larionova-olya@mail.ru

А. Н. Бундюк

Кандидат технических наук, доцент**

E-mail: bundyukua@mail.ru

*Кафедра автоматизации

теплоэнергетических процессов***

Кафедра учета, анализа и аудита*

***Одесский национальный

политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

1. Введение

В Украине обычный (традиционный) способ получения электричества и тепла заключается в их раздельной генерации (электрическая энергия генерируется на электростанции, а тепловая – в котельной). При этом значительная часть энергии первичного топлива не используется [1–3]. Кроме того, высокая стоимость энергоресурсов и использование морально устаревшего технологического оборудования на отечественных предприятиях делает энергоёмкость продукции многократно завышенной и не конкурентоспособной. Использование технологии когенерации

позволяет значительно уменьшить общее потребление топлива и тем самым снизить энергоёмкость выпускаемой продукции [4].

Применение в когенерационных энергетических установках (КЭУ) регенерации теплоты уходящих газов позволяет еще более повысить эффективность работы такого рода установок [5, 6]. Существует достаточно большое количество различных вариантов схем регенерации когенерационных установок [7, 8]. Однако остается не ясным, чем следует руководствоваться при выборе той или иной схемы регенерации.

Все известные схемы в той или иной степени повышают эффективность работы когенерационных энерге-