

Можливості підвищення ефективності комунальної енергетики втіленням когенерації

В. А. Малярєнко

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
Україна

E-mail: vamalyarenko@gmail.com

С.Ю. Андрєєв

КП «Харківські теплові мережі»,
Україна

E-mail: hte@vl.kharkov.ua

І. О. Казарова

Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна,
Україна

E-mail: kaiokasv@gmail.com

Анотація - У паливно-енергетичному секторі (ПЕК) найбільш енергоємними є технологічні процеси, пов'язані з виробництвом, перевезенням та використанням теплової енергії, що виробляються котельними житлово-комунальної інфраструктури, яких тисячі в країні.

Такі фактори, як амортизація основних фондів, застаріла структура виробництва, дефіцит енергетичної сировини, значні втрати електроенергії та теплової енергії під час їх передачі призводять до зниження якості, надійності та економії енергопостачання споживачів, зокрема.

Одним з найбільш перспективних напрямків модернізації енергетики міста є реалізація принципів когенерації при впровадженні парових турбін. З метою мінімізації капітальних вкладень ця можливість найбільш ефективно реалізовується в котельнях, до складу яких входять парові котли з відповідними параметрами. У більшості випадків пара, що виробляється в таких котлах, відводиться від 1,6 - 3,0 МПа до 0,2 - 0,5 МПа в системі охолодження та зниження тиску для подачі в котли. Встановлення парової турбіни із зворотним тиском замість системи охолодження та зниження тиску дозволить виробляти власну електроенергію, якщо вона забезпечує тепло та гарячу воду для споживачів. У даній роботі представлена можливість впровадження циклу парових турбін у районних котельнях, оцінка балансу витрат палива, електроенергії, теплових потоків та споживання води. Розглянуто реалізацію когенерації за рахунок реалізації парової турбіни тиску в котельні за адресою просп. Московський, електрична потужність котельні становить ~ 4 МВт. Для цієї котельні розглянуто кілька варіантів виконання циклу парових турбін. З турбіною зворотного тиску пари з електричною потужністю 4 МВт, 6 МВт або 14 МВт з можливістю підключення до існуючої системи циклу. Відповідно до результатів, найбільш раціональним варіантом реалізації проекту є реалізація парової турбіни Р-6-1,6 / 0,2, оскільки технологічна схема та режими котельні забезпечують номінальне навантаження турбіни протягом усього часу.

Розрахунки показали, що надлишок електроенергії, який буде генеруватися на ТЕС-4 після встановлення турбіни Р-6-1,6 / 0,2, складе ~ 1,4 МВт взимку та ~ 3,7

МВт влітку. Його можна продати в мережу або, скориставшись послугами мережі, відправити своїм користувачам - станції теплопостачання (інші відділення). Турбіна влітку і взимку може працювати в одному режимі.

Ключові слова - державна енергетична служба; когенерація; котел; парової турбіни зворотного тиску.

І. ВСТУП

Як відомо, однією з найбільш енергоємних складових сучасної Малої енергетики України є комунальна.

Комплексне використання в ній централізованого і децентралізованого енергопостачання потребує втілення нових енергоефективних технологій.

Однією з таких найбільш ефективних енерготехнологій є когенерація в системах теплопостачання комунального господарства, а саме котельних, яких на даний час налічується тисячі.

Знос основних фондів, застаріла структура генеративної, дефіцит енергетичної сировини, значні втрати електричної і теплової енергії під час передачі, призводять до зниження якості, надійності й економічності енергопостачання споживачів [1-14].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження за даним напрямком наведені в роботах багатьох авторів, зокрема [1-14].

Мета: Дослідження ефективності реалізації когенераційних технологій у системах енергопостачання комунального господарства втіленням парових турбін малої потужності.

ІІ. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ.

Одним з найбільш перспективних напрямків модернізації комунальної енергетики є реалізація принципів когенерації при впровадженні турбін на водяній парі. З метою мінімізації капітальних вкладень таку можливість найбільш ефективно реалізовувати на котельних, які мають у своєму складі парові котли з відповідними параметрами. У більшості випадків пара, що виробляється такими котлами дроселюється з 1,6 – 3,0 МПа до

0,2 – 0,5 МПа у редукційно-охолоджувальній установці (РОУ) для подачі у бойлери. Встановлення парової турбіни з протитиском замість РОУ дозволить виробляти власну електроенергію за умови забезпечення тепловою енергією та гарячою водою споживачів. Розглянуто можливість реалізації паротурбінного циклу на районних котельнях, провівши оцінку балансів витрати палива, електроенергії, потоків теплоти і витрат води.

У якості прикладу наведено реалізацію принципів когенерації на котельні КП «ХТМ» (пр-т Московський, 275 (ТЕЦ-4)), яка має у своєму складі парові котли. Загальний обсяг пари, що виробляється 3-ма паровими котлами – до 200 т/год (два НЛЗ 60/85 по 60 т/год, один

ДЕМ-105 до 80 т/год), з параметрами $P_0 = 1,6$ МПа, $t_0 = 350$ °С. На котельні також встановлено водогрійні котли: один ПТВ-100, два ПТВМ-100 та два ПТВМ-180. Електрична потужність власних потреб котельні ~ 4,07 МВт в опалювальний період (максимальна добова витрата електроенергії в січні 2013 р. 97654 кВт·год); влітку 1,77 МВт (максимальна добова витрата електроенергії в цей період у 2013 р. ~ 42541 кВт·год) [1-14].

Результати розрахунку характеристик варіантів оцінки можливості встановлення у котельні парових турбін (в залежності від вартості палива) з протитиском наведено у табл. 1.

TABLE I. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПАРОВОЇ ТУРБІНИ З ПРОТИТИСКОМ, ЩО МОЖЕ БУТИ ВСТАНОВЛЕНО НА ТЕЦ-4 (М. ХАРКІВ)

Варіанти	1		2	3	
Сезон	Літо	Зима мах	Літо	Літо	Зима мах
Навантаження на турбіну	73%	100%	100%	41%	100%
Параметри пари на вході турбіни:					
- тиск, МПа	1,6				
- температура, °С	350				
Витрати пари через турбіну, кг/с	5,00	6,88	15,88	16,03	38,89
Частка електроенергії на власні потреби	0,03				
Електрична потужність турбіни, що відпускається, МВт	1,77	4,07	5,48	3,74	13,22
Електричний ККД циклу	0,125	0,126	0,126	0,122	0,128
Температура зворотної води, °С	50				
Тепловміст конденсату, що потрапляє у деаератор, кДж/кг	180,1				
Параметри живильної води:					
- тиск, МПа	0,7				
- температура, °С	165				
Кількість теплоти, що отримана з вихлопу турбіни, Гкал/год	9,58	12,73	29,36	20,84	70,09
Втрати теплоти	0,05				
Кількість теплоти, що відпущена споживачам, Гкал/год	8,81	20,19	27,00	19,17	64,49
Питома витрата умовного палива:					
- на відпущення теплоти бруто, кг у.п./Гкал	244,9	244,9	244,9	245,0	244,9
- на виробництво електроенергії бруто, г у.п./кВт	193,8	193,7	193,7	193,8	193,7

Розрахунки проведено для трьох перспективних варіантів реалізації на ТЕЦ-4 парових турбін з протитиском різної електричної потужності: для забезпечення тільки власних потреб (взимку ~4,07 МВт, влітку 1,77 МВт, варіант 1); в масштабах виробітку, що забезпечує теплове навантаження влітку на ГВП 27 Гкал/год (варіант 2, взимку – навантаження аналогічне); варіант 3 – взимку на тепловому навантаженні в об'ємах, що відповідають максимальному використанню пари, яка може бути вироблена 2-ма котлами: НЛЗ 60/85 і ДЕМ (один у резерві), влітку мінімальне навантаження турбіни. Принципову теплову схему підключення парової турбіни з протитиском наведено на fig. 1.

За результатами розрахункових досліджень отримано:

– перший варіант забезпечення турбіною Р-4-1,6/0,2 електричною потужністю 4 МВт з параметрами пари

на вході 1,6 МПа, 350 °С з протитиском 0,2 МПа. У зимовий період турбіна працює на повному навантаженні, а влітку з частковим навантаженням (73 % номіналу). Забезпечити власні потреби котельні в електричній потужності (1,77 МВт) проблематично, тому що мінімальний режим ефективної роботи котла зазвичай складає 30 % витрат, тобто 18 т/год для котла НЛЗ. При витраті пари на турбіну 19,6 т/год генерується 1,81 МВт електричної потужності, та споживачам відпускається 8,81 Гкал/год теплоти на ГВП. Необхідний (до 27 Гкал/год) доробок теплоти на ГВП при цьому складає 18,19 Гкал/год він менше ніж мінімальне припустиме навантаження котла ПТВМ-100 (25 % потужності складе 25 Гкал/год). Таким чином, варіант 1 встановлення турбіни на котельні, що розглядається, хоча і потребує, відносно варіантів 2 та 3, менших інвестицій, але недоцільний до реалізації;

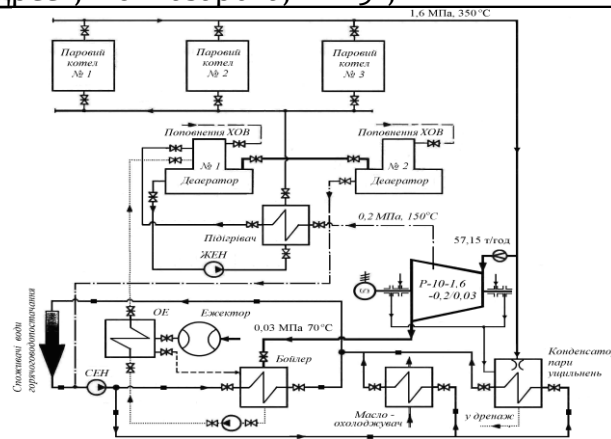


Fig. 1. . Принципова теплова схема включення на котельні парової турбіни з протитиском 0,03 МПа: СЕН – сітвий електричний насос; ЖЕН – живильний електричний насос; ОЕ – охолоджувач ежектора; ХОВ – хімічно очищена вода.

– другий варіант реалізація турбіни Р-6-1,6/0,2 номінальною електричною потужністю 6 МВт з такими ж параметрами, як і перший. Номінальна витрата пари 62 т/год. Витрата пари на вході в турбіну 58,55 т/год забезпечує відправлення з котельні влітку 27 Гкал/год води на ГВП з температурою 68 °С (витрата пара 11,39 т/год у відбір забезпечує підігрів живильної води до 165 °С), при цьому генерується 5,65 МВт електричної потужності. Необхідна витрата пари на турбіну влітку забезпечується будь-яким з котлів котельні (або котел НЛЗ 60/85 працює з навантаженням близьким до номінального, або котел ДЕМ-105 з 72 % навантаженням). В опалювальний період турбіна Р-6-1,6/0,2 може працювати з таким же навантаженням, як і влітку. Надлишки електроенергії (взимку ~1,4 МВт, влітку ~3,7 МВт) можливо продавати в мережу, або, користуючись послугами мережі, направляти їх своїм користувачам – тепловим пунктам (іншим філіям);

– третій варіант – встановлення турбіни Р-14-1,6/0,2 електричною потужністю 14 МВт з протитиском 0,2 МПа. Витрата пари на вході в турбіну 140 т/год (працюють два котли) з параметрами 1,6 МПа, 350 °С. Турбіна Р-14-1,6/0,2 влітку працює на частковому навантаженні (43 % витрати), забезпечує відправлення з котельні у літній період 27 Гкал/год води з температурою 68 °С на ГВП (витрата пари 11,26 т/год у відбір забезпечує підігрів живильної води котла до 165 °С), при цьому генерується 5,44 МВт електричної потужності. Генерація електричної потужності, у цьому разі, менша ніж у аналогічному випадку 2 варіанту за рахунок того, що турбіна Р-14-1,6/0,2 влітку працює на навантаженні 43 % з меншим внутрішнім ККД. В опалювальний період турбіна Р-14-1,6/0,2 працює з витратою до 140 т/год пари, при цьому генерується до 13,6 МВт електричної потужності. В бойлері до оборотної води підводиться 66,1 Гкал/год теплоти. Оскільки влітку турбіна Р-14-1,6/0,2 працює з частковою генерацією, то термін окупності відповідного проекту буде досить великий.

За результатами проведених розрахункових досліджень та аналізу отриманих результатів виявлено, що найбільш раціональним буде варіант встановлення турбіни Р-6-1,6/0,2. для якого проведений розрахунок техніко-економічних показників.

Розрахунки показали, що надлишок електричної потужності, що буде генеруватися на ТЕЦ-4 після

встановлення турбіни Р-6-1,6/0,2, складе взимку ~1,4 МВт, влітку ~3,7 МВт. Його можливо продавати до мережі, або, користуючись послугами мережі, направляти своїм користувачам – тепловим пунктам (іншим філіям). Турбіна влітку і взимку може працювати в одному режимі. [1-14].

III. ВИСНОВОК

Розглянуто впровадження когенерації за рахунок реалізації парової протитискової турбіни на котельні за адресою пр-т Московський, електрична потужність котельні становить ~4 МВт. Для цієї котельні розглянуто декілька варіантів впровадження паротурбінного циклу. З протитисковою турбіною електричною потужністю 4 МВт, 6 МВт або 14 МВт з можливістю підключення до існуючої теплової схеми. За результатами отримано, найбільш раціональним варіантом для реалізації проекту є впровадження парової турбіни Р-6-1,6/0,2, у зв'язку з тим, що технологічна схема та режими котельні забезпечують номінальне навантаження турбіни на протязі усього року [1-14].

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Малярєнко В. А., Шубенко О. Л., Андрєєв С. Ю., Бабак М. Ю., Сенецький О. В., Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія // Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с.
- [2] Казарова І. О. Підвищення ефективності систем енергопостачання за рахунок впровадження когенерації: дис. канд. техн. наук : 05.14.06 / Казарова Інна Олександрівна – Харків, 2017. – 194 с.
- [3] Казарова І. О. Підвищення ефективності систем енергопостачання за рахунок впровадження когенерації: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.06 "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика" / І. О. Казарова. – Харків, 2018. – 24 с.
- [4] Малярєнко В.А., Казарова І. О., Сенецький О.В., Темнохуд О. О. Дослідження впровадження газопоршневих та газотурбінних двигунів при переведенні котельні в режим когенерації. // Інтегровані технології та енергозбереження. НТУ «ХПІ»: сб. наук. пр. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. № 2. С. 3-10..
- [5] Шубенко А.Л., Малярєнко В.А., Сенецький А.В., Бабак Н.Ю. Когенераційні технології в енергетиці на основі використання парових турбін малої потужності. Харків: НАН України, Інститут проблем машинобудування, 2014. 320 с. ISBN 978-966-02-7059-6.
- [6] Буданов В.А. Оптимизационные исследования и выбор рациональных схем когенерационных энергокомплексов:

- автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.14.04 "Промышленная теплоэнергетика" / Буданов Виталий Александрович. Москва, 2010. 16 с.
- [7] Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 472 с.
- [8] Шубенко А.Л., Бабак Н.Ю., Сенцкий А.В., Роговой С.В. Перевод теплоэлектроцентрали на сжигание местного топлива в объемах, обеспечивающих работу станции в летнее время // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2013. № 4. С. 17-26. ISSN 2218-1849.
- [9] Vanslambrouck B., Vankeirsbilck I., Gusev S., De Paepe M. Turn waste heat into electricity by using an Organic Rankine Cycle // 2nd European Conference on Polygeneration, 30 March-1 April, 2011 year. Tarragona, Spain, 2011. 14 p. <http://six6.region-stuttgart.de/sixcms/media.php/773/ABS-39-Bruno-Vanslambrouck.pdf>
- [10] Minea V. Power generation with ORC machines using low-grade waste heat or renewable energy // Applied Thermal Engineering, 2014. № 69. P. 143-154.
- [11] Alyokhina S., Senetskyi O. The use of turbines that work on Organic Rankine Cycle for small enterprises // 11th International Conference of Young Scientists on Energy Issues, May 29-30, 2014. Kaunas, Lithuania: Lithuanian Energy Institute, 2014, 6 p.
- [12] Soave G. Equilibrium Constants from a Modified Redlich-Kwong Equation of State // Chemical Engineering Science, 1972. № 27. PP. 1197-1203.
- [13] Abbas R. Joule. Thomson coefficients and Joule-Thomson inversion curves for pure compounds and binary systems predicted with the group contribution equation of state VTPR // Fluid Phase Equilibria, 2011. № 306. PP. 181-189.
- [14] Peng D.Y., Robinson D.B. A new two – constant equation of state // Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, 1976. № 15. PP. 59-64.

Ways of increasing the efficiency of public energy service by means of cogeneration implementation

V. Malyarenko

O.M. Beketov National University of Urban Economy in
Kharkiv
Ukraine

S. Andreev

Utilities "Kharkiv heating networks",
Ukraine

I. Kazarova

V. N. Karazin Kharkiv National University,
Ukraine

In the fuel and energy sector (FEC), the most energy-intensive are the technological processes associated with the production, transportation and use of heat energy produced by the boiler houses of the housing and utilities infrastructure, of which there are thousands in the country.

Factors such as depreciation of fixed assets, outdated generation structure, scarcity of energy raw materials, significant losses of electricity and heat energy during their transmission lead to a decrease in the quality, reliability and economy of energy supply to consumers in particular.

One of the most promising directions of municipal energy modernization is the realization of the principles of cogeneration in the implementation of steam turbines. In order to minimize capital investments, this possibility is most effectively implemented in boiler houses, which comprise steam boilers with appropriate parameters. In most cases, the steam produced by such boilers is throttled from 1.6 - 3.0 MPa to 0.2 - 0.5 MPa in the desuperheating and pressure reducing system for supply to boilers. Installing a steam turbine with a backward pressure instead of a desuperheating and pressure reducing system will allow to produce its own electricity, as long as it provides heat and hot water to consumers. This paper presents the possibility of implementing a steam turbine cycle at district boiler houses, assessing the balances of fuel consumption, electricity, heat flows and water consumption. Considered the implementation of cogeneration due to the realization of a steam backward pressure turbine at the boiler house at the address Moskovskiy ave., the electric power capacity of the boiler house is ~ 4 MW. Several variants of steam turbine cycle implementation are considered for this boiler house. With steam backward pressure turbine with electric power 4 MW, 6 MW or 14 MW with the possibility of connection to an existing cycle arrangement. According to the results, the most rational option for the project realization is the implementation of the steam turbine P-6-1,6 / 0,2, because the technological scheme and boiler house modes ensure the rated load of the turbine throughout the year.

The calculations showed that the excess of electrical power that will be generated at TPP-4 after the installation of the P-6-1,6 / 0,2 turbine will be ~ 1.4 MW in winter and ~ 3.7 MW in summer. It can be sold to the network, or, using the services of the network, to send to its users - heat supply stations (other branches). The turbine in summer and winter can operate in one mode.

Keywords - public energy service; cogeneration; boiler; back pressure steam turbine.