

Ю. М. ПОБИРОВСЬКИЙ**СУЧАСНІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА БАЗІ ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ**

Розглянуто особливості сучасних централізованих систем теплопостачання на базі ТЕЦ, які використовуються в європейських країнах. Приведено устаткування та його технологічні властивості, яке забезпечує ефективну, надійну та тривалу роботу, екологічну безпеку систем теплопостачання. Зроблені висновки по елементам системи теплопостачання, а саме, котельному, турбінному і теплофікаційному обладнанню ТЕЦ, системі транспорту теплоносія, пристроям споживача теплоти, і особливостям їх експлуатації.

Ключові слова: теплоелектроцентрально, теплофікація, централізовані системи теплопостачання.

Ю. Н. ПОБИРОВСКИЙ**СОВРЕМЕННЫЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ**

Рассмотрены особенности современных централизованных систем теплоснабжения на базе ТЭЦ, которые используются в европейских странах. Приведено оборудование и его технологические свойства, которые обеспечивают эффективную, надежную и длительную работу, экологическую безопасность систем теплоснабжения. Сделаны выводы по элементам системы теплоснабжения, а именно, по котельному, турбинному и теплофикационному оборудованию ТЭЦ, системе транспорта теплоносителя, устройствам потребителя теплоты и особенностям их эксплуатации.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), теплофикация, централизованные системы теплоснабжения.

Yu. POBIROVSKY**MODERN CENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS BASED ON COMBINED HEAT AND POWER PLANTS**

The features of modern centralized heat supply systems based on CHP, which are used in European countries, are considered. The equipment and its technological properties, which ensure efficient, reliable and long-term operation, environmental safety of heat supply systems are given. Conclusions have been made on the elements of the heat supply system, namely, on the boiler, turbine, and heating equipment of the CHP plant, the coolant transport system, the heat consumer devices, and the features of their operation. The replacement of fossil fuels with industrial and agricultural wastes is under consideration. Boiler installations are designed to work on various types of fuel. The use of turbine units with asymmetric cylinders and the optimization of the operation of network heaters allows for the highest power generation at heat consumption. The service life of district heating systems is determined by the life of the heating networks. This is not only new designs of heat pipelines, but also the temperature schedule of the network, water quality and level of operation. For consumers of heat, reliable and simple devices are offered that make it possible to efficiently use the heat carrier produced. Centralized heat supply on the basis of CHP, in terms of the use of organic fuel, is an effective method of using energy from the fuel.

Key words: combined heat and power plant (CHP), teplofikatsiya, central heating systems.

Вступ

Подальший розвиток централізованих систем теплопостачання (ЦСТ) на базі теплоелектроцентралей (ТЕЦ) в Україні стоїть під питанням тому, що має місце тенденція розвитку і впровадження традиційних і нетрадиційних джерел теплоти в децентралізованих системах. У той же час, в Європейських країнах комбіноване виробництво електроенергії і теплоти (когенерація) розглядається як важливий фактор ефективного використання органічного палива. Найближчим часом у світовій енергетиці ще буде застосовуватися в значній кількості тверде і газоподібне паливо [1]. На сучасних ТЕЦ в Європі коефіцієнт використання палива становить 80–82 %. Особливо великих успіхів в області розвитку теплофікації досягли скандинавські країни (Данія, Фінляндія, Швеція). У великих містах альтернативи централізованому теплопостачанню немає. У Данії 64 % теплоти для потреб теплопостачання виробляється на ТЕЦ [2]. Тому європейський досвід при проектуванні, модерніза-

ції і реконструкції, експлуатації централізованих систем теплопостачання представляє важливе значення для розвитку та вдосконалення енергетики України.

Мета роботи

Визначення напрямків по удосконаленню систем теплопостачання на базі ТЕЦ та застосування сучасного обладнання з метою підвищення економічних, екологічних та експлуатаційних показників роботи централізованих систем теплопостачання.

Викладення основного матеріалу

Централізована система теплопостачання включає три основних елементи: джерело теплоти (ТЕЦ, котельні або ін. джерела), систему транспорту теплоти (трубопроводи для доставки теплоносія і обладнання, що забезпечує їх роботу), пристрої й устаткування споживачів теплоти. Тепло-

носії для ЦСТ на ТЕЦ нагрівається в підігрівачах мереженої води паром з відборів турбін, в пік теплового навантаження можуть підключатися пікові водогрійні котли або інші джерела теплоти [3].

Розглянемо особливості сучасних систем тепlopостачання на базі ТЕЦ і основне обладнання, яке встановлюється на них.

Котельна установка. На потужних ТЕЦ, які експлуатуються в великих містах, енергетичні котли призначені для спалювання природного газу (мазуту як аварійного палива). У зв'язку із зростанням вартості органічного палива, в нових проєктах розробляються парові котли, що спалюють різні види палив, включаючи побутові, сільськогосподарські (органічні) відходи і відходи деревообробної промисловості. Так як ТЕЦ будуються біля міст, то в проєктах закладаються заходи з охорони навколишнього середовища: установки з очищення димових газів від твердих частинок, оксидів азоту, сірчистих газів. Яскравим прикладом може бути ТЕЦ «Alholmens Kraft-2» в Фінляндії, яка працює з 2002 року. Вона є складовою частиною деревообробного та целюлозно-паперового комбінату. На ТЕЦ встановлено котли з циркулюючим киплячим шаром. В якості палива використовуються відходи основного виробництва комбінату – деревина (40 %), торф місцевого видобутку (45 %) і кам'яне вугілля (15 %). ТЕЦ виробляє електроенергію, пар для промислових потреб підприємства і забезпечує теплотою місто Пьетарсаари [4].

Заміна вугілля, нафти і газу відходами деревообробної промисловості і сільського господарства, на думку фахівців, дозволяє при спалюванні не виділяти додатково в атмосферу оксиди вуглецю. Вважається, що все одно в атмосферу потрапляє така ж кількість оксидів вуглецю при природному розкладанні відходів, як і при спалюванні [5].

Турбінна установка та теплофікаційне обладнання. На сучасних опалювальних ТЕЦ за кордоном встановлюють турбіни типу ТК (з прив'язаним конденсаційним пропуском пара) з асиметричними циліндрами. Зазвичай, вони складаються з ЦВТ (однопотокового), двохпотокового асиметричного теплофікаційного ЦСТ (двоступеневий підігрів) і двохпотокового асиметричного ЦНТ. Підключення мережних підігрівачів для нагріву води в системі тепlopостачання до асиметричному циліндру турбіни в порівнянні з традиційним (із загального потоку пара) дозволяє:

- здійснити підключення до нерегульованих теплофікаційних відборів;
- забезпечити практично оптимальний термодинамічний ступеневий підігрів у всьому діапазоні теплових навантажень.

У порівнянні з традиційними теплофікаційними турбінами, які використовуються у нас, вироблення електроенергії на таких турбінах ТК на тепловому споживанні вище на 3–4 % (на змінних

режимах також). Це підвищує ефективність роботи ТЕЦ. Менша втрата економічності має місце в таких турбоагрегатах і при роботі в чисто конденсаційному режимі (зниження ефективності на 0,2–0,3 % в порівнянні з сучасними конденсаційними турбінами). Такий тип турбін широко застосовуються в енергетиці європейської спільноти [6].

Практично на всіх ТЕЦ встановлюються акумулятори теплоти з метою вирівнювання теплового завантаження джерела протягом доби і покриття максимуму теплового навантаження споживачів при меншій піковій тепловій потужності джерела теплоти, що забезпечує маневрені функції ТЕЦ для регулювання електричного навантаження енергосистеми. Без теплоакумулятора при максимальному виробництві теплоти виробництво електроенергії може знижуватися до 15 % [7].

Транспорт теплоти. При проєктуванні теплопроводів виходять з розрахункового терміну служби теплової мережі, який повинен становити ≈ 50 років для систем транспорту теплоти.

Для магістральних трубопроводів використовуються в основному два типи труб з тепловою ізоляцією з пінополіуретану: сталева труба в пластмасовому кожусі та сталева труба в сталевому кожусі зі спеціальними покриттями зверху. В якості аварійної сигналізації в магістральні трубопроводи вбудовується електрична система, яка реєструє будь-які пошкодження, вологість ізоляції і з великою точністю встановлює місце розташування ушкоджень. Протяжність деяких магістральних теплових мереж, наприклад, в Данії складає до 50 км від джерела теплоти до найдалшої теплової підстанції [2, 8].

Одним з показників роботи систем транспорту тепла є температурний графік теплоносія. Так в більшості систем тепlopостачання в скандинавських країнах нормативна проєктна температура в прямому трубопроводі становить 110–120 °С (при максимальному тиску – 25 ат), в зворотному – 40–60 °С, так, наприклад в системі тепlopостачання «Великий Копенгаген» підтримується температурний графік 115/60 °С. Використання акумуляторів тепла при атмосферному тиску дозволяє знизити максимальну температуру в процесі експлуатації в прямому теплопроводі до 95 °С. В основному зміна кількості тепла споживачеві забезпечується якісним регулюванням, хоча є досвід застосування якісно-кількісного регулювання при температурному графіку 120/100/80 °С (ТЕЦ Аведьоре, Данія). Характерна тенденція використання низькотемпературних графіків, що обумовлено наступними причинами: можливістю використання в якості теплоізоляції пінополіуретану з робочою температурою до 130–140 °С; підвищенням ефективності комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, за рахунок використання пара турбіни більш низьких параметрів [8].

У системах транспорту тепла показали себе з найкращого боку пластинчасті теплообмінники, які забезпечують мінімальні перепади тиску і максимальний коефіцієнт теплопередачі при відповідній якості води.

Якість води істотно впливає на експлуатаційні витрати систем тепlopостачання і їх збереження. Щоб запобігти відкладенню накипу з підживлюваної води традиційно вона зм'якшується та знесолюється. Для запобігання корозії, вміст кисню в циркуляційній воді підтримується на дуже низькому рівні, не більше 0,02 мг/л.

Для циркуляційної води важливим також є підтримка значення рН. Як показали дослідження оптимальне значення рН необхідно підтримувати в діапазоні 9,6–9,8. При цьому матиме місце найменша розчинність магнетиту Fe_3O_4 , найменша корозія металу трубопроводу. Якщо в тепломережі використовуються труби з міді та латуні, то рН води рекомендується підтримувати на рівні 9,5. Підвищене значення рН призводить до сірчистої корозії устаткування і труб виготовлених з міді та латуні, це викликається бактеріями, які можуть перебувати в циркуляційній воді. Для запобігання сірчистої корозії, наприклад в Данії, додають в воду біоцид Родалон, що можливо, якщо системи тепlopостачання закритого типу [9].

Експлуатація систем тепlopостачання неможлива без фільтрації всієї циркулюючої води, так з циркуляційної системи дуже важливо видаляти сольовий осад і тверді частинки, так як це не тільки зменшує корозію, а й ерозію, і механічний знос насосів, а також зменшує відкладення в теплообмінниках і забруднення іншого обладнання. Для цього здійснюється «повна» фільтрація циркуляційної води спеціальними установками, яка і забезпечує захист таких компонентів системи, як насоси, теплообмінники, клапани та трубопроводи, від динамічного пошкодження великими частинками і наявності бруду.

Для підвищення якості очищення води застосовують також «часткову» фільтрацію. Такі установки розміщуються паралельно зворотному трубопроводу, і від 5 % до 15 % обсягу теплоносія проходить через їх фільтри і знову надходить у трубопровід, забезпечуючи безперервну фільтрацію води в мережі, видаляючи дрібні і середні частинки бруду. До частково фільтруючого блоку може додаватися магнітний блок, який підвищує ефективність видалення феромагнітних частинок [9].

Щоб зменшити корозію труб в розподільчих мережах (там де невеликий тиск і температура) найкращим вважається використання PEX-труб і новітніх aluPEX-труб (труба з структурованого поліетилену високого тиску та така ж з алюмінієвою трубою всередині).

Особливо треба звернути увагу на рівень експлуатації теплових мереж: в нових мережах практично відсутні втрати теплоносія, втрати теплоти в магістральних мережах не перевищують 3 %.

Споживачі теплоти. Теплові пункти, підключені до багатоповерхових житлових будинків дуже дешеві і прості. Наприклад в Данії вважають за доцільне підключення до централізованих систем тепlopостачання індивідуальних будинків площею 150–200 м².

У нагрівальних контурах систем взагалі відсутні теплообмінники, за винятком теплообмінників або резервуарів для гарячої води в самих будинках.

Внутрішні системи опалення зазвичай підключаються безпосередньо без теплообмінників і, що важливо, без змішувальних контурів (системи з елеваторами не застосовуються). В умовах прямого підключення до магістральних трубопроводів встановлюються радіатори високого тиску. Всі вимірювальні прилади є дешевими механічними витратомірами, а не тепловими лічильниками. Кожен радіатор в будівлі повинен бути обладнаний радіаторним клапаном (регулятором температури), що дає можливість мешканцеві регулювати споживання теплоти [10].

Останнім часом в Данії почали використовувати визначники витрати тепла випарного (капілярного) типу RМК87, які є дешевими, надійними і точними. Дослідження датських фахівців показали, що перехід від загального до індивідуального обліку споживання теплової енергії призводить до зниження енергоспоживання на 30 % для багатоповерхових будинків (для будівель іншого типу на 15–17 %) [10, 11].

Розвиток централізованого тепlopостачання в скандинавських країнах яскравий приклад ефективного розвитку суспільства і енергетичної безпеки орієнтованої на енерго- і ресурсозбереження, мінімізації витрат і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

У директивах країн Європейської співдружності такі напрямки датської енергетичної стратегії, як підвищення ефективності використання енергії, впровадження енергозберігаючих технологій, техніки, матеріалів; використання нових джерел енергії визнані важливими для стратегії модернізації паливно-енергетичного комплексу країн ЄС найближчим часом [1].

Висновки

1 Для більш ефективного використання органічного палива в Європейських країнах розглядається, як один із варіантів, впровадження централізованого тепlopостачання на базі ТЕЦ.

2 Поліпшення екологічної обстановки досягається установкою на ТЕЦ котлів, які спалюють не

тільки органічне паливо, але і відходи сільського і комунального господарства і промисловості з використанням відповідних технологій з очищення димових газів.

3 Застосування парових турбін з асиметричними циліндрами, акумуляторів теплоти в системах тепlopостачання покращує роботу основного обладнання ТЕЦ в змінних режимах.

4 Жорсткі вимоги до якості мережної води, такі як вміст солі, баланс рН, концентрація кисню, наявність зважених часток дозволяє значно збільшити термін служби устаткування системи транспорту теплоти.

5 Відмова від різного роду змішувальних контурів в місцевих системах, застосування індивідуального регулювання в системах опалення дозволяє знизити споживання теплоти на 15–30 %.

Список літератури

1. Офіційний Вісник Європейського Союзу 14.11.2012 EN, 315/1, ДИРЕКТИВА 2012/27EU ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ від 25 жовтня 2012 р. (про енергоефективність). URL: http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc (дата звернення: 10.04.2019).
2. Пузаков В. С. Теплоснабжение по-европейски. *Новости Теплоснабжения*. 2008. № 8(96). www.nts.ru. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2573 (дата звернення: 10.03.2019).
3. Соколов Е. Я. *Теплофикация и тепловые сети*: учебник для вузов. 7-ое изд. Москва: МЭИ, 2001. 472 с.
4. The world's largest biofuel CHP plant. Alholmens Kraft, Pietarsaari (Report). *OPET Finland (Organisations for the Promotion of Energy Technologies)*, VTT Energy. 2001. No 4. URL: http://www.unece.lsu.edu/biofuels/documents/2003-2006/bf03_021.pdf (дата звернення: 15.05.2019).
5. Ганс Хр. Уолтер. *Возобновляемые источники энергии в теплоснабжении*. URL: <http://pmsvet.ru/g.h.uolter.-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-v-teplosnabzhenii.html> (дата звернення: 20.03.2019).
6. Яковлев Б. В. *Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения*. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. 448 с.
7. Могенс Кьер Петерсен, Йорген Огард. Тепловые аккумуляторы. *Журнал "Новости теплоснабжения"* (по материалам Новости ДСИТ 2005). URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=844 (дата звернення: 10.03.2019).
8. Гуллев Л. Система централизованного теплоснабжения Большого Копенгагена. *Новости теплоснабжения*, № 03(03), ноябрь 2000. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1506 (дата звернення: 10.03.2019).
9. Кристенсен Оле, Андерсен Свен. Новые датские стандарты водоподготовки. *НП «Региональный Центр Энергосбережения»*. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=490 (дата звернення: 10.05.2019).
10. Background report on EU-27 district heating and cooling potentials, barriers, best practice and measures of promotion. DD

Andrews, A Krook-Riekkola, E Tzimas, J Serpa – 2012 (Eng) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:994924/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення: 10.03.2019)

11. *Распределитель (счетчик) тепла испарительного типа RMK87*. URL: <http://watermeter.ucoz.ru/index/0-41> (дата звернення: 10.05.2019).

References (transliterated)

1. *Oficijnyj Visnyk Jevropejs'kogo Sojuzu 14.11.2012 EN, 315/1, DYREKTYVA 2012/27EU JEVROPEJS'KOGO PARLAMENTU TA RADY vid 25 zhovtnja 2012 r. (pro energoefektivnist')* [Official Journal of the European Union 14.11.2012 EN, 315/1, DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 25 October 2012 (on energy efficiency)]. URL: http://sae.gov.ua/sites/default/files/UKR_Directive_27_2012_2.doc (accessed: 10 April 2019).
2. Puzakov V. S. (2008), "Teplosnabzhenie po-evropejski [European central heating]", *Novosti Teplosnabzhenija* [Heat News], no 8(96), www.nts.ru (accessed 10 March 2019).
3. Sokolov E. Ja. (2001), *Teplofikacija i teplovyje seti* [Teplofikacija and heating networks], MEY [MEI], Moscow, Russian.
4. Alholmens Kraft, Pietarsaari (2001), "The world's largest biofuel CHP plant (Report)", *OPET Finland (Organisations for the Promotion of Energy Technologies)*, VTT Energy, no 4. http://www.unece.lsu.edu/biofuels/documents/2003-2006/bf03_021.pdf (accessed 15 May 2019).
5. Hans Chr. Wolter (2005), *Vozobnovljaemye istochniki jenerгии v teplosnabzhenii* [Renewable energy sources in heat supply], <http://pmsvet.ru/g.h.uolter.-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-v-teplosnabzhenii.html> (accessed 20 March 2019).
6. Yakovlev B. V. (2002), *Povyshenie jeffektivnosti sistem teplofikacii i teplosnabzhenija* [Improving the efficiency of district heating and heating systems], Adukacyja i vyhovanie, Minsk, Belorussia.
7. Mohens K'er Petersen, Yorhen Ohard (2005), "Teplovyje akumuljatory [Heat accumulators]", *Novosti DSCT*, <http://stateofgreen.com/files/download/543> (accessed 10 March 2019).
8. Gullev Lars (1999) Sistema centralizovannogo teplosnabzhenija Bol'shogo Kopingagena [Greater Copenhagen District Heating System], *Novosti DSCT*, no 1, pp. 9–10, *Novosti teplosnabzhenija*, № 03(03), ноябрь 2000, https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=1506 (accessed 10 March 2019).
9. Kristenesen Ole, Andersen Sven (2002), "Novye datskie standarty vodopodgotovki [New Danish Water Treatment Standards]", *NP "Regional'nyj Centr Jenergosberezhenija"*, http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=490&p=1 (accessed 10 May 2019).
10. Background report on EU-27 district heating and cooling potentials, barriers, best practice and measures of promotion. DD Andrews, A Krook-Riekkola, E Tzimas, J Serpa – 2012 (Eng) URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:994924/FULLTEXT01.pdf> (accessed 10 March 2019)
11. *Raspreditel' (schetchik) tepla isparitel'nogo tipa RMK87* [Distributor (counter) heat evaporative type RMK87], <http://watermeter.ucoz.ru/index/0-41> (accessed 10 May 2019).

Надійшла (received) 07.08.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Побіровський Юрій Миколайович (Побировский Юрий Николаевич, Robirovsky Yury) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри Теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій; м. Київ, Україна; e-mail: rouyury@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2786-6499>.