

УДК 697.34

DOI: 10.30838/P.CMM.2415.200418.129.19

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

ДАНИЛОВА Т.В.¹, к.т.н, доц.НЕЧЕПУРЕНКО Д.С.^{2*}, к.т.н.

¹ кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(0562)47-39-46, e-mail piop@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0297-9473

^{2*} кафедра планування і організації виробництва, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38(095)380-27-74, e-mail sunlife_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

Анотація. Мета. Метою даної статті є дослідження та систематизація основних показників ефективності системи теплозабезпечення та факторів, які на них впливають. **Методика.** Авторами проаналізовано основні показники ефективності системи теплопостачання, її підсистеми та елементи. Розглянуто основні критерії прийняття ефективних рішень щодо подальшого розвитку систем теплопостачання. **Результати.** Відповідно до структури централізованої системи теплопостачання згруповано основні показники ефективності функціонування системи теплозабезпечення. Систематизовано основні фактори, які впливають на стан системи теплозабезпечення. Критерієм прийняття рішення щодо подальшого розвитку системи теплопостачання визначено комплексний показник технологічної ефективності системи теплопостачання, яка складається з трьох частин: економічність; екологічність; ступінь технічної досконалості (надійність, довговічність, маневреність). **Практична значимість.** Розуміння класифікації основних показників ефективності функціонування системи теплопостачання та факторів впливу дозволить управляти структурою підвищення енергоефективності в окремих підсистемах та елементах системи теплопостачання, на окремих етапах, що в комплексі забезпечить ефективність всієї системи.

Ключові слова: системи теплопостачання; ефективна система теплопостачання; ефективність функціонування системи теплопостачання; надійність теплопостачання; безвідмовність; довговічність; ремонтпридатність; збереженість

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ДАНИЛОВА Т.В.¹, кандидат технических наук, доцентНЕЧЕПУРЕНКО Д.С.^{2*}, кандидат технических наук

¹ кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38(0562)47-39-46, e-mail piop@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0297-9473

^{2*} кафедра планирования и организации производства, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38(095)380-27-74, e-mail sunlife_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

Аннотация. Цель. Целью данной статьи является исследование и систематизация основных показателей эффективности системы теплоснабжения и факторов, которые на них влияют. **Методика.** Авторами проанализированы основные показатели эффективности системы теплоснабжения, ее подсистемы и элементы. Рассмотрены основные критерии принятия эффективных решений по дальнейшему развитию систем теплоснабжения. **Результаты.** Согласно структуре централизованной системы теплоснабжения, сгруппированы основные показатели эффективности функционирования системы теплоснабжения. Систематизированы основные факторы, влияющие на состояние системы теплоснабжения. Критерием принятия решения по дальнейшему развитию системы теплоснабжения определен комплексный показатель технологической эффективности системы теплоснабжения, состоящий из трех частей: экономичность; экологичность; степень технического совершенства (надежность, долговечность, маневренность). **Практическая значимость.** Понимание классификации основных показателей эффективности функционирования системы теплоснабжения и факторов влияния позволит управлять структурой повышения энергоэффективности в отдельных подсистемах и элементах системы теплоснабжения, на отдельных этапах, что в комплексе обеспечит эффективность всей системы.

Ключевые слова: системы теплоснабжения; эффективная система теплоснабжения; эффективность функционирования системы теплоснабжения; надежность теплоснабжения; безотказность; долговечность; ремонтпригодность; сохранность

RESEARCH OF MAIN EFFECTIVENESS' PARAMETERS OF FUNCTIONING OF HEAT SUPPLY SYSTEM

DANYLOVA T.V.¹, PhD (Tech.), Associate Professor
NECHEPURENKO D.S.^{2*}, PhD (Tech.)

¹ planning and organization of production Department, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskogo str. 24a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38(0562)47-39-46, e-mail piop@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0297-9473

^{2*} planning and organization of production Department, State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskogo str. 24a, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38(095)380-27-74, e-mail sunlife_d@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9292-4790

Abstract. Purpose. The purpose of this article is to study and systematize the main indicators of the efficiency of the heat supply system and the factors that affect them. **Methodology.** The authors analyzed the main indicators of the efficiency of the heat supply system, its subsystems and elements. The main criteria for making effective decisions on the further development of heat supply systems are considered. **Results.** According to the structure of the centralized heat supply system, the main indicators of the efficiency of the heat supply system are grouped. The main factors that affect the state of the heat supply system are systematized. The criteria for making a decision on the further development of the heat supply system is a complex indicator of the technological efficiency of the heat supply system, consisting of three parts: economy; ecological compatibility; degree of technical excellence (reliability, longevity, maneuverability). **Practical value.** Understanding the classification of the main effectiveness' parameters of functioning of heat supply system and the influence factors will allow to manage the structure of energy efficiency increase in individual subsystems and elements of the heat supply system, at separate stages, which in combination will ensure the effectiveness of the entire system.

Keywords: heat supply systems; effective heat supply system; efficiency of the operation of the heat supply system; reliability of heat supply; faultless, longevity, repair suitability; conservation

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сьогодні в Україні ситуація щодо ефективності використання енергії у житлово-комунальному комплексі з кожним роком стає ще гіршою. Зношені теплові та водопостачальні станції працюють з низьким ККД і здійснюють постачання через такі ж зношені мережі, внаслідок чого втрати енергії сягають 45-50% [4, 6]. Питанню ефективності функціонування системи теплопостачання приділяють все більше уваги з метою вирішення проблеми забезпечення споживачів необхідною кількістю теплоти необхідної якості (тобто теплоносієм необхідних параметрів). Результати дослідження поняття ефективності системи теплопостачання, класифікація та оцінка її основних елементів і показників мають важливе практичне значення. Вони впливають як на теплозаощадження і підвищення ефективності енергетичної галузі, так і на вирішення соціально-економічних задач суспільства.

МЕТА СТАТТІ

Метою даної статті є визначитися з основними поняттями ефективної системи теплопостачання та систематизувати основні показники ефективності системи теплозабезпечення та фактори, які на них впливають.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ

Система теплозабезпечення представляє собою складну ієрархічну структуру взаємопов'язаних підсистем і елементів (рис. 1)

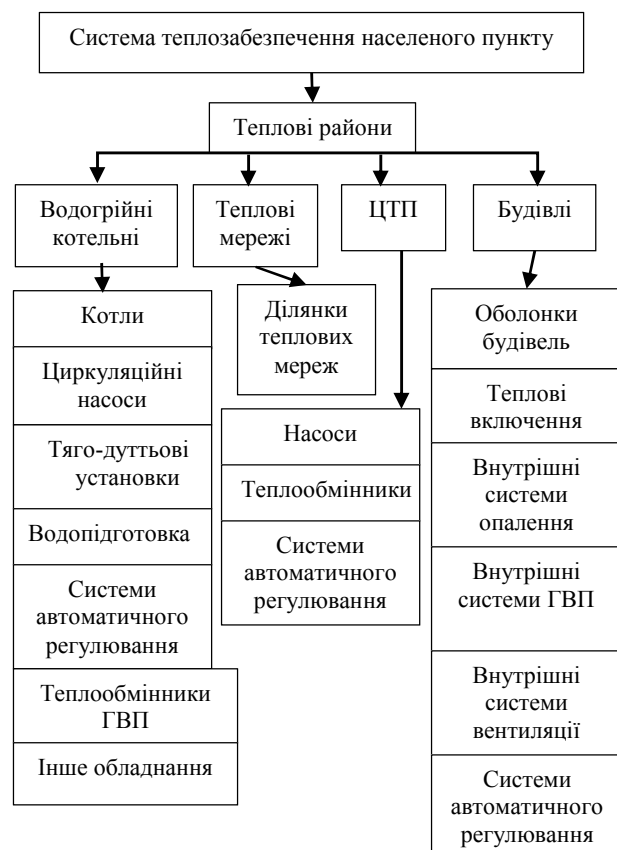


Рис. 1. Структура централізованої системи теплопостачання

Structure of centralized heat supply system

Система теплозабезпечення крупного населеного пункту включає в себе, як правило, декілька теплових

районів. В свою чергу тепловий район складається з теплового джерела, теплових мереж і теплових споживачів. В деяких випадках споживачі можуть підключатися до теплових мереж за допомогою центральних теплових пунктів (ЦТП).

Згідно з [12], ефективне теплопостачання – це варіант теплопостачання, який порівняно з базовим сценарієм, що відображає звичайний хід діяльності, помітно зменшує обсяг первинної енергії, потрібної для постачання однієї одиниці переданої енергії у межах відповідної системи в економічно ефективний спосіб, що підтверджено аналізом витрат і вигід, з урахуванням енергії, потрібної для видобування, перетворення, транспортування та розподілу.

Під ефективністю функціонування системи теплопостачання слід розуміти сукупність результативних показників, що характеризують ступінь задоволення зовнішніх і внутрішніх потреб суб'єктів і об'єктів управління, що враховують технічні, технологічні, екологічні, економічні, соціальні та інші відносні ефекти [3].

Таким чином, ефективність функціонування системи теплопостачання представляє собою багаторівневу, комплексну категорію, яка на пряму залежить від ефективності функціонування її окремих елементів. Тому представляється раціональним систематизувати основні показники ефективності системи теплозабезпечення за її окремими елементами: 1) показники ефективності джерела теплопостачання; 2) показники ефективності теплових мереж; 3) показники ефективності теплоспоживання кінцевими споживачами енергоресурсів. В свою чергу, показники ефективності структурних елементів системи теплопостачання згідно з [7] можна розподілити на три групи за областю аналізу:

– виробничо-технічні показники (встановлена теплопродуктивність; коефіцієнт корисної дії котлів та додаткового устаткування; штатний коефіцієнт; пропускна спроможність тепломережі; коефіцієнт розосередженості споживачів та ін.);

– економічні показники (капітальні витрати; собівартість теплоенергії; рентабельність системи теплопостачання; вартість енергоресурсу, палива та ін.);

– екологічні показники (масова концентрація забруднюючих речовин; валовий викид шкідливих речовин; потужність викиду та ін.).

При розробці пропозицій щодо розвитку системи теплопостачання та реконструкції її складових потрібно враховувати безліч факторів, які впливають на стан системи теплозабезпечення (як під час проектування, так і під час експлуатації) можуть бути згруповані наступним чином [1, 7]: 1) тип ґрунту і рівень ґрунтових вод; кліматичні дані місцевості (температурно-погодні умови); термін служби; надійність; калорійність палива; конструкції траси та спосіб прокладки тепломереж; пропускна спроможність тощо; 2) термін окупності; банківська ставка за кредит; тарифи на теплоту;

платоспроможність споживачів та ін.; 3) гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин; нормативний рівень шуму; санітарні норми; нормативи на повітрообмін тощо.

Під час модернізації системи теплопостачання та обґрунтування її доцільності необхідно провести всебічний аналіз факторів та розглянути різні можливі варіанти проектних рішень, які повинні бути приведені в порівняний вигляд. На сьогодні вченими розроблена велика кількість оптимізаційних методів прийняття ефективних рішень щодо подальшого розвитку систем теплопостачання. Найчастіше вони спираються на припущення існування єдиного критерію вибору [2, 3, 7, 11].

Наприклад, досить достовірним критерієм стану тепломережі при визначенні необхідності і черговості переладки теплотрас є реальні питомі (на 1 м довжини) тепловтрати на ділянці. Допустимі питомі тепловтрати для трубопроводів різних діаметрів нормовані, однак, оскільки ці норми не враховують в повній мірі можливості сучасних теплоізоляційних матеріалів і цін на енергоносії, вони навряд чи можуть бути єдиним і об'єктивним критерієм необхідності переладки теплотраси [1].

Тому на практиці характерним є наявність не одного, а декількох найбільш істотних показників. При цьому критерієм вибору може бути комплексний показник, зокрема, технологічна ефективність системи теплопостачання, яка складається з трьох частин: ступінь технічної досконалості (надійність, довговічність, маневреність); екологічність; економічність.

Істотну роль має показник надійності теплових мереж, під якою розуміється їх здатність забезпечувати споживачів необхідною кількістю теплоносія при заданій його якості, залишаючись протягом заданого терміну в повністю працездатному стані при збереженні заданих на стадії проектування техніко-економічних показників (значень абсолютних і питомих втрат теплоти, питомої пропускної спроможності, витрати електроенергії на перекачку тощо) [10]. Первинною величиною, яка використовується для оцінки надійності теплових мереж, є кількість пошкоджень теплопроводів визначеної довжини за вказаний проміжок часу.

Надійність теплопостачання є складною властивістю, що представляє собою сукупність більш простих властивостей: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість [11].

Під безвідмовністю теплових мереж розуміється їх здатність зберігати робочий стан протягом заданого нормативного терміну служби. В якості кількісного показника виконання цієї властивості може бути використаний параметр потоку відмов, який визначається як число відмов впродовж року, віднесене до одиниці протяжності теплопроводів.

Під довговічністю ділянок теплових мереж слід розуміти властивість зберігати працездатність до настання граничного стану, коли подальше їх використання неприпустимо або економічно не-

доцільно. Економічно доцільний термін дії теплопроводу з урахуванням чинника надійності може бути знайдений з умови, що річні розрахункові витрати при спорудженні нового теплопроводу рівні або менше щорічних витрат на ліквідацію відмов діючого теплопроводу.

Під ремонтпридатністю розуміється здатність до підтримки і відновлення працездатного стану ділянок теплових мереж через забезпечення їх ремонту з подальшим введенням в експлуатацію. В якості основного параметру, що характеризує ремонтпридатність теплопроводу, можна прийняти час, необхідний для ліквідації пошкодження [10].

Під збереженістю теплових мереж розуміється їх здатність зберігати безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність протягом терміну консервації.

На основі дослідження [5, 8, 9], множину факторів, що впливають на надійність теплових мереж, можна розподілити за чотирьома основними групами: 1) термін експлуатації; 2) призначення трубопроводів теплових мереж (подавальні та зворотні); 3) конструктивні характеристики теплових мереж (діаметр; товщина стінки трубопроводу; технологія прокладання: лоткове і безлоткове; тип ізоляції: попередня, звичайна); 4) руйнуючі фактори (корозія: зовнішня, внутрішня; приховані дефекти; вплив тиску теплоносія; відсутні електрохімічний захист).

Екологічність системи теплопостачання передбачає мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище і реалізується на кожному етапі від виробництва теплоенергії до кінцевого споживання. На першому етапі екологічність може бути оцінена такими параметрами, як валовий викид шкідливих речовин та концентрація забруднюючих речовин в димових газах. Підвищення екологічної ефективності системи теплопостачання може бути досягнуто за рахунок заміщення традиційних видів палива місцевими джерелами (поновлюваними, біопаливом, побутовими відходами). На етапі транспортування теплової енергії температура теплоносія та його швидкість впливають на навколишнє середовище через нагрівання ґрунтів, рівень шуму. На стадії теплоспоживання показник екологічності проявляється як тепловий комфорт будівлі, екологічність використаних будівельних матеріалів тощо.

Економічність системи теплопостачання передбачає, з одного боку, перехід до якісно нових методів регулювання тарифних відносин між виробником і споживачем теплової енергії, введення тарифного регулювання ринку теплової енергії, що дозволить захистити права споживачів від необґрунтовано високих цін і буде стимулювати всіх учасників ринку до раціонального використання енергоресурсів. З іншого боку, дана складова ефективності системи теплопостачання характеризується такими показниками, як: витрати окремих видів матеріально-технічних ресурсів на теплопостачання, рентабельність окремих джерел і систем розподілу тепла тощо. Економічна ефективність системи має передбачати такий спосіб виробництва теплової енергії, при якому вартість ресурсів, що використовуються для випуску даної продукції, є мінімальною.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження та аналізу основних досягнень і літератури з питань ефективності функціонування теплопостачання можна зробити наступні висновки.

По-перше, було визначено поняття «ефективність функціонування системи теплопостачання», її основні елементи та їх класифікацію.

По-друге, наведено систематизацію основних факторів, які впливають на стан системи теплозабезпечення загалом та на надійність теплових мереж, зокрема.

По-третє, докладно розглянуті складові технологічної ефективності системи теплопостачання: надійність, екологічність та економічність. Вибір оптимального проектного рішення з підвищення ефективності системи теплопостачання може бути зроблений лише при комплексному підході до всіх елементів системи.

Перспективою подальшого дослідження є розробка методів подовження експлуатаційного ресурсу теплових мереж, а також методів підвищення комплексної ефективності систем теплопостачання з урахуванням всіх складових та факторів, що впливають на них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Березун ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - К.: Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 298 с. ISBN 978-966-02-7967-4.
2. Білоцерківський О. Б. Використання економіко-математичного моделювання для оптимізації систем теплопостачання / О. Б. Білоцерківський // Матеріали Міжнар. наук.- практ. конф. «Соціально-економічний розвиток країн: досвід та перспективи». – Ч. 2. – Львів : ЛЕФ. – 2014. – С. 82–85.
3. Кольхаева Ю. А. Эффективность функционирования системы теплоснабжения: понятие, виды и критерии / Ю. А. Кольхаева // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота. – 2012. – №1 (56) – с. 143–145.
4. Кравчуновська Т. С. Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти : монографія / Т. С. Кравчуновська. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2010. – 230 с.
5. Малявіна О. М. Дослідження показників надійності теплових мереж методами статистичного моделювання / О. М. Малявіна // Науковий вісник будівництва: Наук.-техн. сб. Вип.61.: ХДТУБА, 2010. – с. 286–291.

6. Плешков П. Г., Стець П. Г. Аналіз стану та пропозиції щодо заходів модернізації теплоенергетичної промисловості / П. Г. Плешков, П. Г. Стець // Наукові записки. – вип. 12., част. II. – 2012. – С. 193-196.
7. Показники ефективності систем теплопостачання / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк, Ю. В. Шовкалюк, С. М. Дудніков // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2012. – Вип. 16. – С.38-42.
8. Поліщук М.В. Фактори впливу на надійність мереж систем теплопостачання / М.В. Поліщук, Г.С. Ратушняк. – Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи. – Вінниця: ВНТУ, 16-17 квітня 2015 року.– 77 с.
9. Свідеревич М. В. Оцінювання впливу конструктивних характеристик теплових мереж на їх надійність з використанням нечіткої логіки [Електронний ресурс] / М. В. Свідеревич, Г. С. Ратушняк // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Інноваційні технології в будівництві-2016", м. Вінниця, 5-7 листопада 2016 р. - Електрон. текст. дані. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2016/paper/viewFile/1571/1295>.
10. Степанов Н. Д., Степанов Д. В. Теплові мережі. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 135 с.
11. Babiarz B. Reliability assessment of heat supply systems in their operational process. / B. Babiarz // RT&A. – Vol. 1. – 2010. – Режим доступу: http://gnedenko-forum.org/Journal/2010/012010/RTA_1_2010-01.pdf.
12. Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>.

REFERENCES

1. *Aparatno-prohramne zabezpechennia monitorynhu ob'ektiv heneruvannia, transportuvannia ta spozhyvannia teplovoi enerhii: Monohrafiia* [Hardware-software for monitoring objects of generation, transportation and consumption of thermal energy: Monograph] / V.P.Babak, V.S.Beregyn and others; by red. chl.-kor. NAN Ukraine V.P.Babak / - K.: In-t tekhnichnoi teplofizyky NAN Ukrainy, 2016. – 298 s. ISBN 978-966-02-7967-4. (in Ukrainian).
2. Bilotserkivskiy O.B. *Vykorystannia ekonomiko-matematychnoho modeliuвання dlia optymizatsii system teplopostachannia* [Use of economical-mathematical modeling for optimization of heat supply systems] / O.B. Bilotserkivskiy // *Materials International sciences - practice conf. "Socio-economic development of countries: experience and perspectives"* [Materials International sciences - practice conf. "Socio-economic development of countries: experience and perspectives"]. – P. 2. – Lviv: LEF. – 2014. – P. 82–85. (in Ukrainian).
3. Kolyihaeva Yu. A. *Effektivnost funktsionirovaniya sistem teplosnabzheniya: ponyatie, vidy i kriterii* [Efficiency of the heat supply system: concept, types and criteria] / Yu. A. Kolyihaeva // *Almanah sovremennoy nauki i obrazovaniya* [Almanac of modern science and education]. – Tambov: Gramota. – 2012. – №1 (56) – с. 143–145.
4. Kravchunovska T. S. *Kompleksna rekonstruktsiia zhytlovoi zabudovy: orhanizatsiino-tekhnologichni aspekty: monohrafiia* [Complex reconstruction of residential development: organizational and technological aspects: monograph] / T.S. Kravchunovska. – Dnipropetrovsk : *Nauka i osvita* [Science and education], 2010. – 230 p. (in Ukrainian).
5. Maliavina O. M. *Doslidzhennia pokaznykiv nadiinosti teplovykh merezh metodamy statystychnoho modeliuвання* [Research of indicators of reliability of thermal networks by methods of statistical simulation] / O.M. Maliavina // *Naukovyi visnyk budivnytstva: Nauk.-tekhn. sb.* [Scientific Bulletin of Construction: Sci.-Tech. digest]. – 2010. – Vol.61.: KhDTUBA – P. 286–291. (in Ukrainian).
6. Pleshkov P. H., Stets P. H. *Analiz stanu ta propozyitsii shchodo zakhodiv modernizatsii teploenerhetychnoi promyslovosti* [Analysis of the state and proposals on measures for the modernization of the heat and power industry] / P. H. Pleshkov, P. H. Stets // *Naukovi zapysky* [Proceedings]. – vol. 12., part. II. – 2012. – P. 193-196. (in Ukrainian).
7. *Pokaznyky efektyvnosti system teplopostachannia* [Indicators of efficiency of heat supply systems] / V.I. Deshko, M.M. Shovkaliuk, Yu.V. Shovkaliuk, and S M. Dudnikov // *Ventylatsiia, osviltennia ta teplohapostachannia* [Ventilation, lighting and heat supply]. – 2012. – Vol. 16. – P.38-42. (in Ukrainian).
8. Polishchuk M.V. *Faktory vplyvu na nadiinist merezh system teplopostachannia* [Factors influencing the reliability of heating networks] / M.V. Polishchuk, H.S. Ratushniak. – *Mizhnarodna naukovo-praktychna Internet-konferentsiia «Molod v tekhnichnykh naukakh: doslidzhennia, problemy, perspektivy* [International scientific and practical Internet conference "Youth in technical sciences: research, problems, perspectives"]. – Vinnitsa: VNTU, 16-17 April 2015. – 77 p. (in Ukrainian).
9. Sviderevych M. V. *Otsiniuvannia vplyvu konstruktivnykh kharakterystyk teplovykh merezh na yikh nadiinist z vykorystanniam nechitkoi lohiky* [Estimation of influence of constructive characteristics of thermal networks on their reliability using fuzzy logic] / M.V. Sviderevych, H.S. Ratushniak // *Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Innovatsiini tekhnologii v budivnytstvi-2016"* [Materials of the international scientific and technical conference "Innovative Technologies in Construction 2016"], Vinnitsa, 5-7 November 2016. – Vinnitsa: VNTU, 2016. – Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2016/paper/viewFile/1571/1295>. (in Ukrainian).
10. Stepanov N. D., Stepanov D. V. *Teplovi merezhi. Navchalnyi posibnyk* [Thermal networks. Tutorial. – Vinnitsa: VNTU, 2009. – 135 p. (in Ukrainian).
11. Babiarz B. Reliability assessment of heat supply systems in their operational process. / B. Babiarz // RT&A. – Vol. 1. – 2010. – Available at: http://gnedenko-forum.org/Journal/2010/012010/RTA_1_2010-01.pdf.
12. Energy Efficiency Directive 2012/27/EU. – Режим доступу: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>.

Стаття рекомендована до публікації д-ром. техн. наук, проф. Т.С. Кравчуновською (Україна), д-ром. техн. наук, проф. І.А. Соколовим (Україна)