

## ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕДУКЦІЙНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРАЦЮЮЧИХ НА БАЗІ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті проведена оцінка показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел тепlopостачання промислових підприємств. Головними показниками ефективності визначено тиск та температуру пари на виході з установки. У результаті проведеного дослідження теплова потужність системи коливалася у межах від 37,32 МВт до 48,82 МВт, температурний діапазон пари на виході з РОУ склав 265-280 °C, тиск пари на виході з РОУ тримався в межах 22-22,8 кгс/см<sup>2</sup>.

**Ключові слова:** Редукційно-охолоджувальна установка, тепlopостачання, промислове підприємство.

O.YA. VOLOSHANUK, O.V. NECHIPORENKO  
Cherkasy State Technological University

### EVALUATION OF EFFICIENCY INDICATORS OF REDUCTION AND COOLING INSTALLATIONS WORKING ON THE BASIS OF DIFFERENT HEAT SUPPLIES OF INDUSTRIAL SUPPLY SUPPLIES

The article evaluates the efficiency of reduction and cooling units operating on the basis of various sources of heat supply of industrial enterprises. The main efficiency indicators are the pressure and temperature of steam at the outlet of the installation. As a result of the study, the thermal capacity of the system ranged from 37.32 MW to 48.82 MW, the temperature range of steam at the outlet of the ROU was 265-280 oC, the steam pressure at the outlet of the ROU was in the range of 22-22.8 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Key words:** Reduction-cooling installation, heat supply, industrial enterprise.

#### Вступ.

В даний час, в умовах економічної нестабільності та кризи, спаду виробництва, зростання цін на природне паливо, гостро постає питання економії енергоресурсів, оптимізації виробництва і вдосконалення технологічного процесу. За останні роки, характерною особливістю енергетики України стало різке зниження споживання енергоресурсів промисловими підприємствами, що призводить до зниження економічних та експлуатаційних показників всіх ланок теплоенергетичної системи промислових підприємств. Особливо серйозною проблемою у швидкоплинній ціновій політиці держави на енергоресурси є утворення деяких перекосів у внутрішньогалузевому ціноутворенні при визначені вартості енергоресурсів, що виробляються. Тому, для покриття необхідного промислового навантаження використовують передбачені тепловою схемою і зазвичай призначені для аварійного або резервного покриття частини цього навантаження постійно-діючі редукційно-охолоджувальні установки. При роботі редукційно-охолоджувальних установок (РОУ) безповоротно «зникає» потенціал теплоносія. Крім того, деякі надлишки вторинного газу (доменний, коксовий та ін.) на промисловому підприємстві можна направити на отримання теплової енергії для покриття теплофікаційних навантажень на опалення і гаряче водопостачання, у зв'язку з гострою необхідністю створення на ринку енергоресурсів більш конкурентно-спроможної продукції у вигляді гарячої води для теплових мереж. Основними частинами системи теплоенергопостачання промислових підприємств є: 1) підприємства, що виробляють необхідні види енергоресурсів (ЕР); 2) системи транспорту і розподілу ЕР між споживачами (теплові та електричні мережі); 3) споживачі енергетичних ресурсів.

Розрізняють два види тепlopостачання – централізоване і децентралізоване. При централізованому тепlopостачанні джерело тепlopостачання ТЕЦ, АТЕЦ або котельня розташовані на значній відстані від самого віддаленого споживача теплоти, зазвичай рівному від декількох до десяти кілометрів. В цьому випадку необхідно спорудження теплової мережі, що забезпечує доставку теплоносія до споживача. В якості теплоносія для систем центрального опалення житлових будинків і гарячого водопостачання (ГВП) зазвичай використовується вода. При температурах теплоносія до 100 ... 150 °C вода застосовується і в різних технологічних промислових процесах. При температурах теплоносія понад 150 °C в промисловості частіше використовують пар.

На території України отримали однакове поширення два способи відпустки тепла з водяної теплової мережі – закритий і відкритий. Закритий спосіб використовується при жорсткій місцевій воді, відкритий – при м'якій. При закритому способі вода з теплової мережі не забирає, а нагріває в теплообмінниках холодну водопровідну воду. В цьому випадку мережева вода практично повністю, за винятком витоків, повертається з теплової мережі в джерело тепlopостачання, де знову відбувається її нагрів і повернення в теплову мережу. При відкритому способі відпустки теплоти вода для ГВП або технологічних потреб забирається з теплової мережі і після використання зливається у каналізацію.

У парових системах тепlopостачання зазвичай використовується насичена або слабо перегріта пара. Це дозволяє забезпечити в процесі конденсації пари практично постійну температуру в технологічній зоні робочого процесу. Пара подається по паропроводу. Конденсат, що утворюється в теплообмінних пристроях,

збирається в конденсатозбирниках і потім транспортується по конденсатопроводу до джерела теплопостачання. Якщо конденсат виявляється забрудненим, то він зливається у каналізацію.

Розподіл джерел виробітки тепової енергії на промисловому підприємстві з урахуванням показників ефективності редукційно-охолоджувальної установки дозволило б зменшити економічні втрати за рахунок максимального використання енергоресурсів і вирішити проблему з недоліком потужностей в теплопостачанні промислових підприємств.

Саме тому, оцінка показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств, стає все більш важливою і актуальною.

## **2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми**

Сучасні дослідження редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання доводять не аби який інтерес вчених до зазначеної теми. Проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом енергозбереження розкрито В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреєвим, М. Ю. Бабаком та О. В. Сенецьким [1]. Авторами виконано аналіз стану й потенціалу розвитку світової та базової енергетики України. Показано, що значні резерви містяться у «малій» енергетиці, яка є головним споживачем паливно-енергетичних ресурсів.

Детальний аналіз теплових схем ТЕС, особливості та вимоги до розташування ТЕС, а також проблеми, що виникають при перетворенні енергії при експлуатації ТЕС розкрив Ю. О. Гічов [2].

Ф.І. Лухтура, А.В. Пижиков, О.А. Хлестова [3] дослідили шляхи підвищення теплової ефективності та надійності промислової ТЕЦ. Отримані результати можуть використовуватися для оцінки та моніторингу доцільності впровадження парових турбін малої потужності в системах теплопостачання промислових об'єктів і комунальних господарств.

Моделювання АСР температури пару за редукційно-охолоджувальною установкою енергоблоку АЕС на базі технологічної ділянки редукційно-охолоджувальної установки, що входить у другий контур енергоблоку АЕС здійснили В. О. Терлецький та Г. П. Лисюк [4]. Науковцями розроблена автоматизована система регулювання температури за редукційно-охолоджувальною установкою, в якій управління РОУ здійснюється за допомогою цифрового П-регулятора.

Також варто відмітити роботи таких науковців як: Л.В. Високих, В.В. Клименко та В.І. Кравченко [5], В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький [6], В.В. Клименко, В. І. Кравченко, Р. В. Телюта [7], Т. Maurer [8], S. X. Li, J. S. Wang [9], M. N. Chepyrtniy, N. V. Rezydent [10], A. Emadi [11].

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень, можна говорити про те, що наукових робіт, які б максимально повно розглядали показники ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств з урахуванням специфіки та особливостей, на даний момент немає.

## **3. Об'єкт, мета та завдання дослідження**

Об'єкт дослідження – редукційно-охолоджувальна установка.

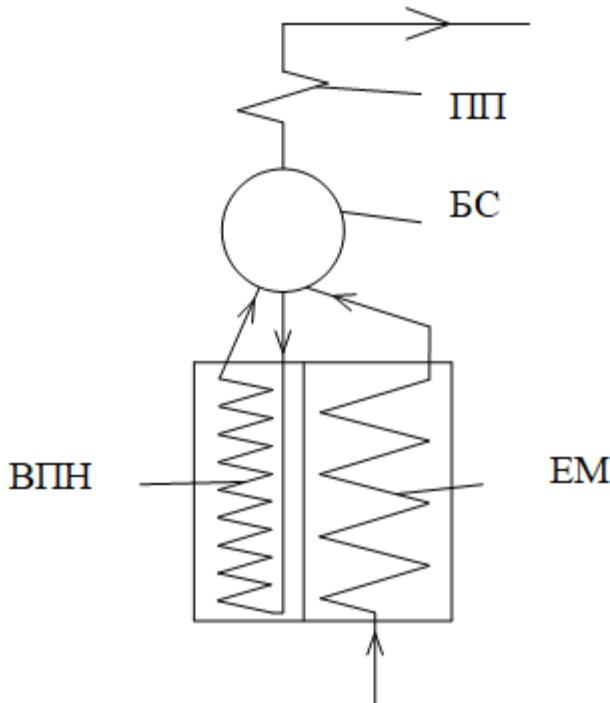
Мета дослідження – оцінка показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств. Для досягнення поставленої мети, у рамках статті, необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) Розкрити принципи формування системи теплопостачання залежності від виду теплоносія.
- 2) Навести умовні схеми систем теплопостачання в залежності від обладнання, що використовується. Детально описати принцип роботи кожної схеми.
- 3) Запропонувати методологію розрахунку показників ефективності роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання.
- 4) Розрахувати показники ефективності роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи теплопостачання.
- 5) Здійснити аналіз результатів ефективності редукційно-охолоджувальних установок та провести оцінку точності розрахунку.

## **4. Матеріали та методи досліджень ключових показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств**

В роботі використані матеріали з наявного досвіду в реалізації теплопостачання промислових підприємств, а також розглянута специфіка застосування редукційно-охолоджувальних установок на базі різних систем теплопостачання, здійснено оцінку ключових показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок. В роботі використані наступні методи досліджень: аналіз, узагальнення, систематизація, побудова аналогій і синтез наявних даних.

**4.1. Формування системи теплопостачання в залежності від виду теплоносія.** Система теплопостачання повинна забезпечувати споживача потрібною кількістю теплоти необхідної якості (тобто теплоносієм необхідних параметрів). У децентралізованих системах джерело тепла і споживачі знаходяться так близько, що перенесення теплоти йде без використання теплової мережі. Децентралізовані системи



ПП – перегрівач пари; ВПН – випарюальні поверхні нагріву; БС – барабан-сепаратор; ЕМ – економайзер

Рис. 1. Умовна схема парового котла у рамках системи тепlopостачання

мережа) і використання теплоносія у споживачів (віддача теплоти) це система централізованого тепlopостачання. Відповідно до виду теплоносія системи тепlopостачання поділяють на парові, водні та пароводні. На формування дієвої системи тепlopостачання здійснює вплив тип встановлених в котельні котлів і параметри теплоносія, що виробляється котлами, а також вид і параметри теплоносія, який необхідний кінцевому споживачеві [13]. Котли встановлені в котельні передбачено парові (рис. 1) або водні (рис. 2).

Призначення редукційно-охолоджувальної установки – зниження параметрів пари за рахунок дроселювання і охолодження її водою, введеною в охолоджувач пари у розгорашеному стані [14]. Розрізняють декілька видів РОУ: а) підвищеного і низького тиску; б) високого тиску; в) розпалювальних РОУ. Подача охолоджуючої води в РОУ виробничих котелень зазвичай здійснюється з магістралі живильної води після деаератора. Схема РОУ представлена на рис. 3.

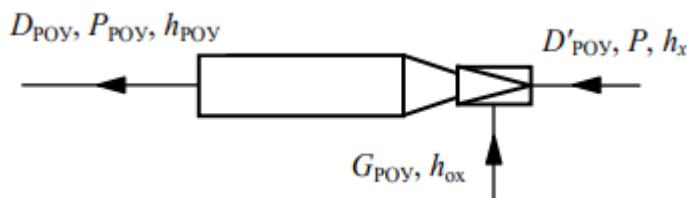


Рис. 3. Схема редукційно-охолоджувальної установки

Витрати редуцьованої пари  $D_{POY}$  з тиском  $P_{POY}$  і охолоджуючої води  $G_{POY}$  визначають з рівнянь теплового і матеріального балансів РОУ:

$$D'_{POV}h_x + G_{POY}h_{ox} = D_{POY}h_{POY} \quad (1)$$

$$D'_{POV} + G_{POY} = D_{POY} \quad (2)$$

Вирішуючи спільно рівняння (1) і (2), отримаємо

$$G_{POY} = \frac{D'_{POV}(h_x - h_{POY})}{h_{POY} - h_{ox}} \quad (3)$$

Тут  $D'_{POY}$  – витрата гострої пари при тиску  $P$  і ступеню сухості  $x$ , кг / с;  $h_x = h'' - (1-x)r$  – ентальпія гострої пари, кДж / кг;  $h''$  – ентальпія сухої насиченої пари при тиску  $P$ , кДж / кг;  $r$  – теплота

поділяються на [12]:

- індивідуальні (в кожному приміщенні своє джерело теплоти – пічне, квартирне опалення);

- місцеві (від місцевої або індивідуальної котельні – центральне опалення).

У системах централізованого тепlopостачання джерело теплоти і споживачі тепла так відокремлені, що перенесення теплоти відбувається за спеціальними тепловими мережами. Централізоване тепlopостачання ділиться на групове (група будівель), районне (кілька будівель – житловий район), міське (кілька районів) та міжміське (кілька міст від одного джерела). Комплекс установок і обладнання для підготовки теплоносія на джерелі (поглинання теплоти), транспортування і розподілу теплоносія (теплова

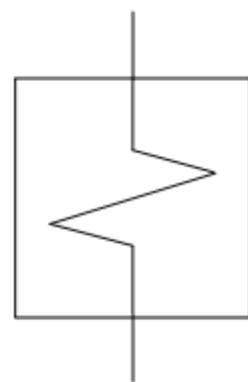


Рис. 2. Умовна схема водяного котла у рамках системи тепlopостачання

пароутворення води у котлі при тиску  $P$ , кДж / кг;  $h_{POY}$  – ентальпія скороченої пари, кДж / кг;  $h_{ox}$  – ентальпія охолоджуючої води, що надходить в РОУ, кДж / кг.

Умовна схема редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи тепlopостачання наведена на рис. 4.



Рис. 4. Умовна схема редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи тепlopостачання

**4.2. Парова система тепlopостачання.** Паровий котел виступає головним об'єктом, який здійснює нагрівання води до виділення пари. Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється, за допомогою паропроводу, до споживача. Конденсат використаної у споживача пари, повертається в котельню, через конденсатопровід, та надходить в деаератор, який служить для видалення з живильної води розчинених у ній газів і, в першу чергу, кисню повітря. Втрати конденсату компенсиуються очищеною водою, яка також подається в деаератор. Очищення води здійснюється у очищувачі води, що компенсує втрати конденсату. Суміш конденсату і додаткової очищеної води після деаерації направляється в котел в якості живильної води. Умовна схема парової системи тепlopостачання наведена на рис. 5.

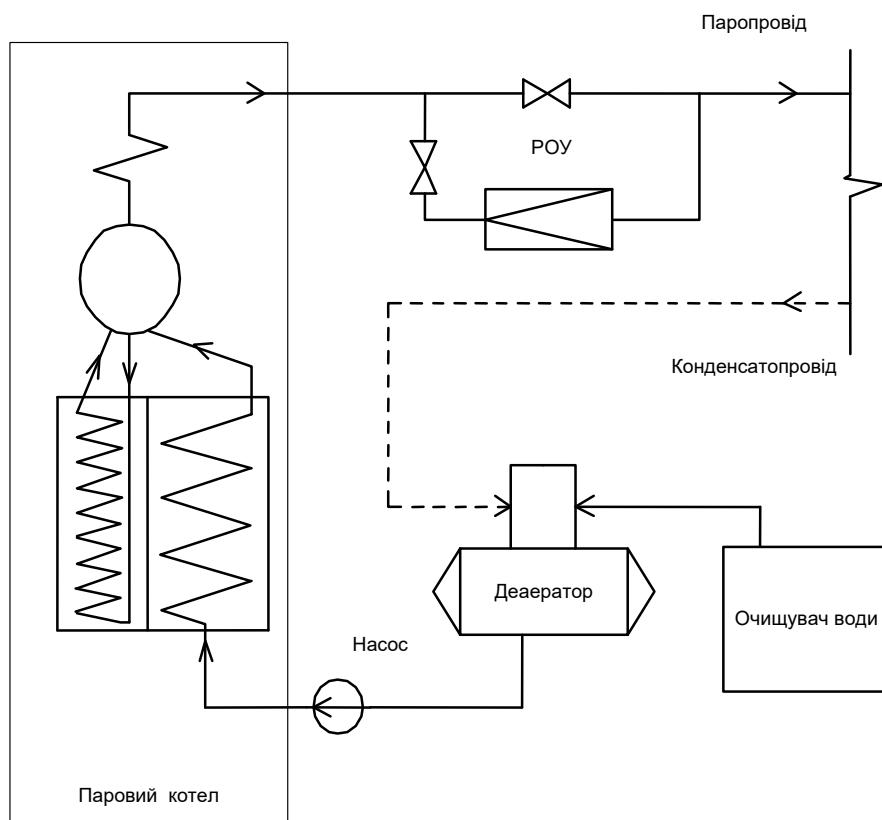


Рис. 5. Умовна схема парової системи тепlopостачання з паровим котлом

**4.3. Водяна система тепlopостачання.** Вода з мережі, використана у споживачів, після підживлення і підвищення тиску в мережевому насосі, який призначений для підвищення тиску води з мережі з метою подолання опору мережевих підігрівачів, теплової мережі та забезпечення тиску нагрітої води з мережі відповідно до вимог споживачів надходить, в підігрівачі. Інтенсивність підживлення залежить від ступеня відхилення тиску води в мережі у зворотній лінії від номінального значення.

Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється в мережеві підігрівачі (поверхневі пароводяні теплообмінники), де нагріває воду і конденсується. Конденсат відводиться в деаератор, який служить для видалення з живильної води розчинених у ній газів і, в першу чергу, кисню повітря.

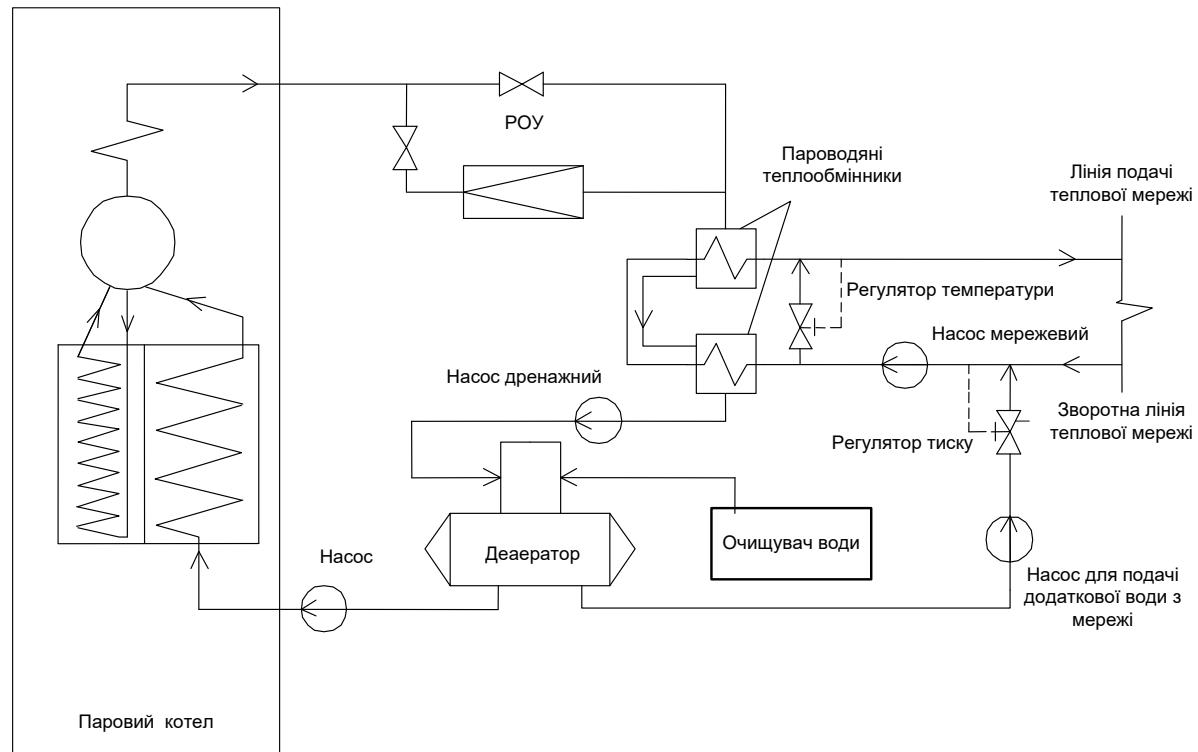


Рис. 6. Умовна схема водяної системи тепlopостачання з паровим котлом

Регулювання температури води з мережі, що надходить на лінію подачі теплової мережі, здійснюється в бік зниження шляхом подачі води зі зворотної лінії теплової мережі. Втрати конденсату і води з мережі компенсиуються додатковою очищеною водою, що надходить з очищувача води.

**4.4. Пароводяна система тепlopостачання.** По суті, це об'єднання парової та водяної систем тепlopостачання. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паровим котлом наведена на рис. 7.

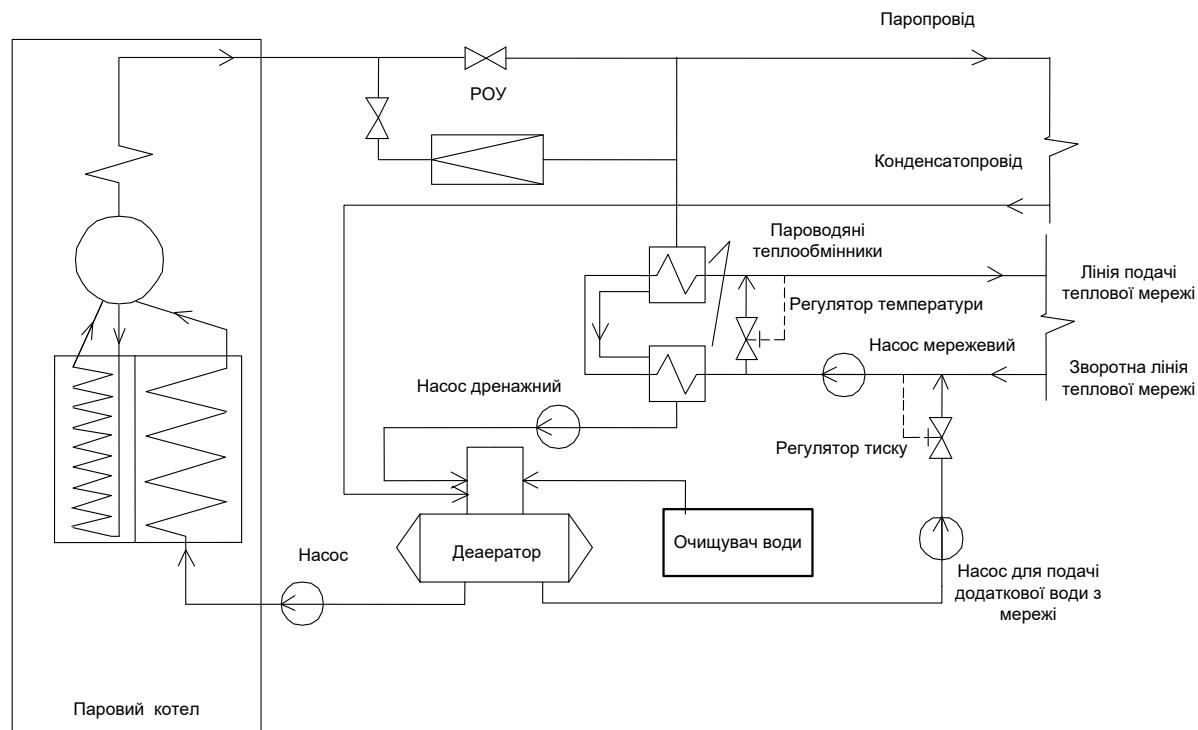
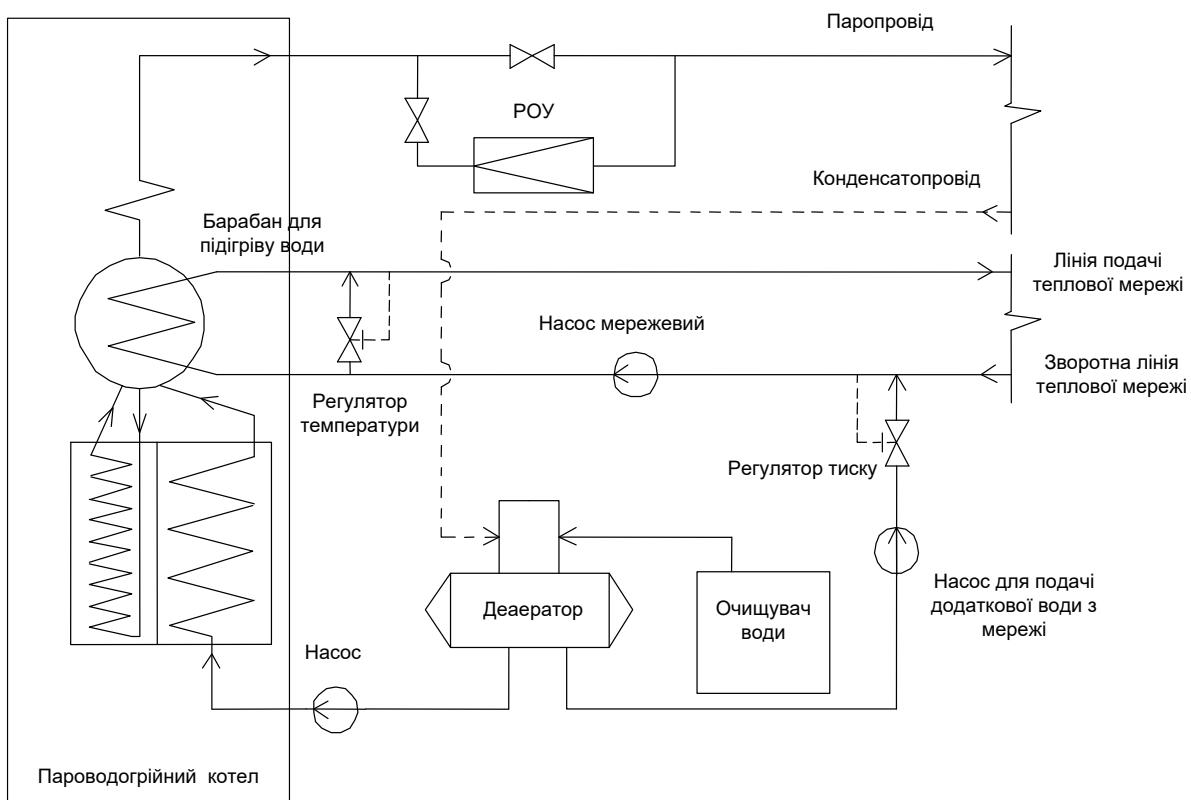


Рис. 7. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паровим котлом

**4.5. Комбінована система тепlopостачання.** Однією з дієвих систем тепlopостачання є система з підігрівом води з мережі у середині барабану котла. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паро водогрійним котлом наведена на рис. 8. Вбудований у барабан котла підігрівач мережевої води являє собою теплообмінник змішувального типу.

Вода з мережі надходить у барабан котла через стабілізуючий короб у порожнину розподільного

короба, який має перфороване ступеневе днище. Перфорація забезпечує струменеву подачу води назустріч пароводяної суміші, що надходить з випарних поверхонь нагріву котла, що сприяє нагріванню води.



**Рис. 8. Умовна схема пароводяної системи теплопостачання з паро водогрійним котлом та вбудованим барабаном для нагріву води**

Загальна продуктивність котла системи теплопостачання у своєму складі має два основних показники: теплота пари та теплота нагрітої води з мережі. Математична складова теплопродуктивності котла має вигляд:

$$Q_k = M_c (i_2 - i_1) + D_n (i_n - i_{жв}) \quad (4)$$

де  $M_c$  – витрата води з мережі, що нагрівається;

$i_1, i_2$  – ентальпія води до нагрівання та після нагрівання відповідно;

$D_n$  – продуктивність котла у системі теплопостачання;

$i_n, i_{жв}$  – ентальпія пари та ентальпія живильної води відповідно.

Здійснимо перетворення (4), щоб визначити витрату води з мережі, що нагрівається, отримаємо:

$$M_c = \frac{Q_k - D_n (i_n - i_{жв})}{i_2 - i_1} \quad (5)$$

Отримане рівняння (5) показує, що показник витрати води з мережі, що нагрівається та теплопродуктивність котла, що входить у систему теплопостачання взаємозалежні. Так при постійній складовій теплопродуктивності котла та при поступовому збільшенні кількості виробленої пари, зменшується витрата води з мережі, а у разі зменшення кількості виробленої пари збільшується витрата води з мережі.

У разі заміни барабану для нагріву води, на поверхні нагріву, у газохід котла вбудовуються відповідні пластини, які слугують елементами нагріву. Умовна схема пароводяної системи теплопостачання з паро водогрійним котлом та вбудованими поверхнями наведена на рис. 9.

Поверхневий теплообмінник для нагріву води встановлюється у корпус котла, поруч з економайзером.

**4.6. Методологія розрахунку.** У якості варіантів розрахунку були обрані умови режимів роботи обладнання ТЕЦ, що відповідають квазистаціонарним режимам. Ці умови визначені для постійних значень відпуску кількісно-якісних параметрів тепла на виробничі та опалювальні потреби у часовому проміжку, що перевищує характерний час теплової інерційності контуру.

Виробничі параметри взяті (за величинами та розмірностями) з виробничої документації. Розрахунок якісних параметрів і показників відпуску теплової енергії з котлів (РОУ) проведений в системі СІ.

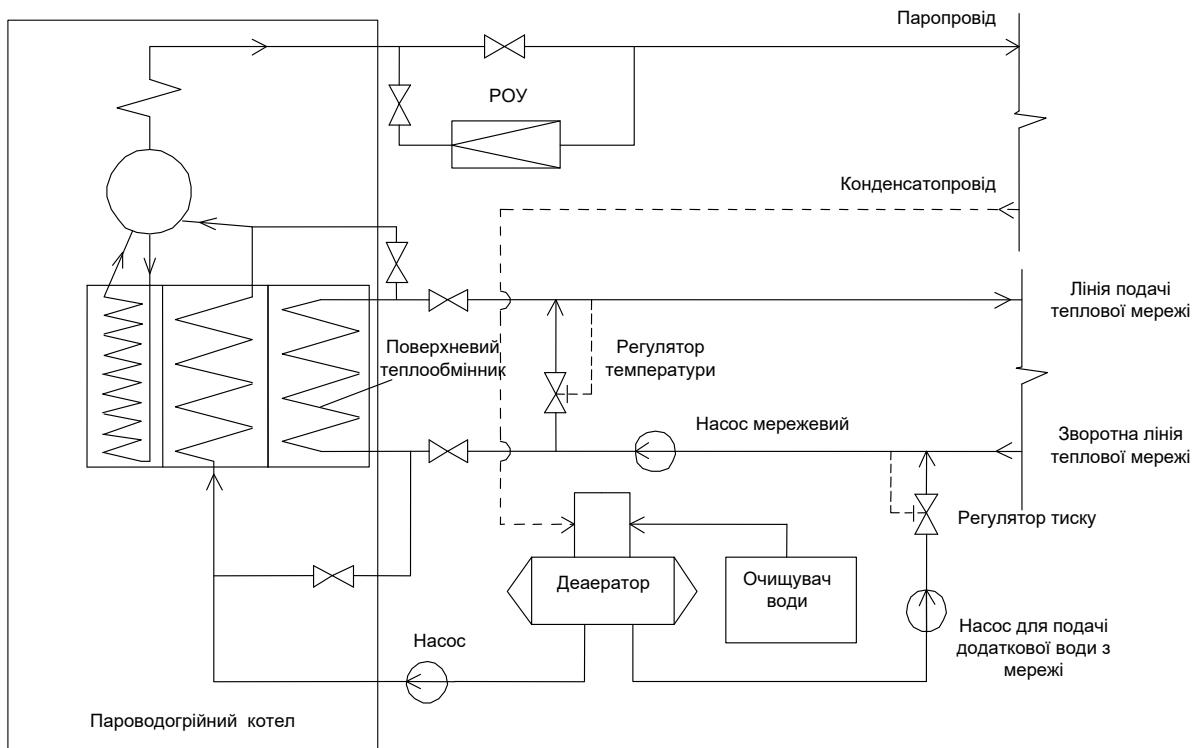


Рис. 9. Умовна схема пароводяної системи тепlopостачання з паро водогрійним котлом та будованим поверхневим теплообмінником для нагріву води

Розрахункові формулі для визначення показників режиму роботи обладнання представляються у вигляді:

а) Теплова потужність промислового відбору, МВт:

$$Q_n = D_n \cdot h_n / 3600 \quad (6)$$

де  $D_n$  – витрата виробничої пари, т / год;

$h_n$  – ентальпія виробничої пари, кДж / кг.

б) Теплова потужність теплофікаційного відбору, МВт:

$$Q_r = G_{MB} C_p (t_{nm} - t_{om}) / 3600 \quad (7)$$

де  $G_{MB}$  – витрата води з мережі через мережевий підігрівач, т / год;

$t_{nm}$  – температура води, яка надходить у мережу, °C;

$t_{om}$  – температура води, що повертається з мережі, °C;

$C_p$  – теплоємність води, кДж / кг \* °C.

в) Теплова потужність тепла, що відпускається у паропровід власних потреб 0,12 МПа, МВт

$$Q_{кол1,2} = G_{HP} C_p \Delta t_{OB} + G_{BB} C_p \Delta t_{BПВ} + G_{CB} C_p \Delta t_{CB} \quad (8)$$

де  $G_{HP}$  – неповернення конденсату, т / год;

$G_{BB}$  – витрата водопровідної води через ПВВ, т / год;

$G_{CB}$  – витрата сирої води через ПСВ, т / год;

$\Delta t_{OB}$  – нагрів очищеної води у деаераторі додаткової води 1,2 ата, °C;

$\Delta t_{BПВ}$  – нагрівання водопровідної води в ПВПВ, °C;

$\Delta t_{CB}$  – нагрівання сирої води в ПСВ, °C;

г) Теплова потужність по пару перед РОУ, МВт:

$$Q_o^{POY} = D_o^{POY} (h_o^{POY} - h_e^{POY}) / 3600 \quad (9)$$

де  $D_o^{POY}$  – витрата пари перед РОУ (після котла), т / год;

$h_o^{POY}$  – ентальпія пари перед РОУ (після котла), кДж / кг;

$h_g^{POY}$  – ентальпія живильної води перед котлом, кДж / кг.

д) Поправочні коефіцієнти на зміну параметрів пари у проточній частині системи від входу до точки відбору К1 (промисловий відбір), К2 (верхній опалювальний відбір), К3 (нижній опалювальний відбір) визначаються за формулою:

$$K_j = \frac{1 - T_K / \gamma \cdot T_{\text{відб}}}{1 - T_K / T_0} \quad (10)$$

## 5. Результати досліджень ключових показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел теплопостачання промислових підприємств

**5.1. Визначення показників витрат.** На підставі розрахованих параметрів і показників варіантів режимів генерації тепла (таблиця 1) здійснюємо розрахунок витрати палива відповідно до запропонованої методики визначення енергетичної ефективності.

Результати розрахунку для різних варіантів досліджуваних режимів наведені в таблиці 2.

Дані про фактичні витрати палива за досліджувані періоди часу взяті з показань приладу обліку по витраті споживання газу на ТЕЦ.

Достовірність показань комерційного приладу обліку споживання газу на ТЕЦ підтверджується його високим класом точності – 0,002.

Таблиця 1  
Дані по РОУ

№	Найменування показника	Позн.	Одиниці виміру	Варіант виміру									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Витрата пари після РОУ	$G_{nPOY}$	т/год	0	60	65	75	75	75	75	75	75	75
2	Тиск пари після РОУ	$p_{nPOY}$	кгс/см <sup>2</sup>	22,8	22,8	22,8	22	22	22	22	22	22	22
3	Температура пари після РОУ	$t_{nPOY}$	°C	265	265	265	280	280	255	270	270	265	270
4	Тиск пари перед РОУ	$p_{0POY}$	кгс/см <sup>3</sup>	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
5	Температура пари перед РОУ	$t_{0POY}$	°C	535	535	535	535	535	535	535	535	535	535
6	Температура живильної води на вході у РОУ	$t_{gPOY}$	°C	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
7	Ентальпія пари після РОУ	$h_{nPOY}$	кДж/кг	2945	2945	2945	2955	2955	2905	2950	2950	2940	2950
8	Ентальпія пари після котла	$h_{0POY}$	кДж/кг	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435	3435
9	Ентальпія живильної води перед РОУ	$h_{gPOY}$	кДж/кг	669	669	669	669	669	669	669	669	669	669
10	Температура живильної води перед котлом	$t_{\text{жв}}$	°C	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
11	Калорійність газу	$Q_{np}$	кДж/м <sup>3</sup>	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656	33656
12	ККД котла	$\eta_{nc}$		0,94	0,94	0,94	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
13	ККД трубопроводів	$\eta_{mp}$		0,97	0,97	0,97	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966

Таблиця 2

№	Найменування показника	Позн.	Одиниці виміру	Варіант виміру									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Витрата пари на РОУ	$G_{oPOV}$	т/год	0	53,81	58,32	67,42	67,42	66,31	67,02	67,02	66,58	67,02
2	Теплова потужність пари перед РОУ	$Q_{oPOY}$	МВт	0	37,32	40,1	46,3	46,3	45,87	46,82	46,82	46,510	46,82
3	Витрата палива на РОУ	$G_{ePOV}$	нм <sup>3</sup> /с	0	1,21	1,32	1,53	1,53	1,51	1,53	1,53	1,52	1,53

**5.2. Аналіз результатів ефективності редукційно-охолоджувальних установок та оцінка точності розрахунку.** Із отриманих значень витрати палива та значень ефективності спрацювання РОУ, відхилення показників знаходяться у межах від 0,3 до 1,5%. Відхилення близько 1,5% можна пов'язати зі збільшенням характерного часу теплової інерційності контуру по зовнішнім умовам заповнення втрат циклу з неповерненням конденсату, а також часу стабілізації ККД парового котла.

Розрахунок середньозваженого значення, дисперсії і середньоквадратичного відхилення величини здійснююмо відповідно до формул математичної статистики. Результати розрахунку даних параметрів наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати оцінки похибки отриманих значень					
№	$x$	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}$	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2 n_i}{\sum n_i}}$
1	0,0118	0,004	0,0078	7,27273E-06	0,002697
2	0,0055		0,0015		
3	0,0095		0,0055		
4	0,0041		0,0001		
5	0,0066		0,0026		
6	0,0106		0,0066		
7	-0,0078		-0,0118		
8	-0,0044		-0,0084		
9	-0,006		-0,01		
10	0,0105		0,0065		

На підставі результатів оцінки похибки розрахунку робимо висновок, що похибка розрахунку становить (0,4 + 0,2697)%.

На підставі отриманих результатів обробки експерименту можна констатувати працездатність запропонованої методики визначення ефективності редукційно-охолоджувальної установки і можливість подальшого її використання для вирішення задач оптимального формування системи тепlopостачання промислових підприємств.

## 6. Обговорення результатів дослідження ключових показників ефективності редукційно-охолоджувальних установок працюючих на базі різних джерел тепlopостачання промислових підприємств

Основним показником ефективності роботи редукційно-охолоджувальної установки є температура і тиск пари після установки. Ці показники є найбільш впливовими на дієвість всієї системи тепlopостачання, однак, як було зазначено вище, одержуваний конденсат на виході збільшує надійність роботи основного устаткування теплової схеми. Для підвищення теплової економічності системи доцільно ввести попередній підігрів живильної води на вході в редукційно-охолоджувальну установку.

Варто відзначити, що в процесі роботи станції тепlopостачання може виникати необхідність зупинки постійно діючих РОУ, а значить і зупинки всієї системи, що є досить трудомістким процесом і негативно позначається на експлуатаційних характеристиках останньої.

## 7. Висновки.

Розвиток редукційно-охолоджувальних установок дозволить в майбутньому більш ефективно

використовувати теплову енергію пари. Зараз стойть завдання по модифікації вже існуючого обладнання з метою зниження витрат на його виробництво, підвищення його довговічності і економічної ефективності.

На основі проведеного в статті аналізу і досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Принципи формування системи тепlopостачання в залежності від виду теплоносія ґрунтуються на загальних показниках якості. Система повинна бути оснащена теплоносієм необхідних параметрів та здійснювати мінімальні енерговитрати за умови повного задоволення потреб кінцевого споживання.

2. Систем тепlopостачання в залежності від обладнання, що використовується поділяють на парові, водні та пароводні. Призначення редукційно-охолоджувальної установки – зниження параметрів пари за рахунок дроселювання і охолодження її водою, введеною в охолоджувач пари у розпорошенному стані. У разі застосування парової системи паровий котел виступає головним об'єктом, який здійснює нагрівання води до виділення пари. Пара з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку направляється, за допомогою паропроводу, до споживача. Водяна система працює за принципом постійного надходження пари з парового котла через редукційно-охолоджувальну установку у мережеві підігрівачі, де нагрівається і конденсується вода. Змішана – пароводяна система працює з урахуванням обох систем тепlopостачання, які працюють в тандемі.

3. Методологія розрахунку показників ефективності роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи тепlopостачання, ґрунтуються на визначені теплової потужності тепла та пари, витратах пари та палива.

4. Показник витрат води з мережі, що нагрівається та теплопродуктивність котла, що входить у систему тепlopостачання взаємозалежні. Отримані показники роботи редукційно-охолоджувальної установки у рамках системи тепlopостачання показали стабільну динаміку збільшення витрати палива на РОУ. Теплова потужність системи коливалася у межах від 37,32 МВт до 48,82 МВт. Температурний діапазон пари на виході з РОУ склав 265-280 °C. Тиск пари на виході з РОУ тримався в межах 22-22,8 кгс/см<sup>2</sup>.

5. Відхилення показників витрати палива та значень ефективності спрацювання РОУ знаходяться у межах від 0,3 до 1,5%. Похибка розрахунку становить (0,4 + 0,2697)%.

6. У перспективі необхідна розробка більш потужних і дешевих охолоджуючих реагентів, застосування яких буде безпечно для персоналу. Необхідна також модернізація конструкції з метою підвищення її надійності і захищеності співробітників. У цих напрямках працюють сучасні компанії.

## Література

1. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / 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. Гічов Ю.О. Теплові електростанції та проблеми перетворення енергії. Частина II: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2017. – 59 с.
3. Лухтура Ф. И. О некоторых способах повышения тепловой экономичности и надежности промышленных ТЭЦ / Ф. И. Лухтура, А. В. Пыжиков, О. А. Хлестова // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки. – 2018. – Вип. 36. – С. 88-100. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdty\\_2018\\_36\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdty_2018_36_13).
4. Терлецький В. О., Лисюк Г. П. Моделювання АСР температури пару за редукційно-охолоджувальною установкою енергоблоку АЕС ВВЕР 1000 МВт / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2019. – Том 30 (69). № 3 Частина 1. – С. 170-174.
5. Високих Л.В., Клименко В.В. та Кравченко В.І. Підвищення ефективності систем електропостачання за рахунок використання когенераційні установки з турбінною установкою / Перспективні галузі інформаційно-комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомуникаціях, енергетиці та транспорті: Всеукраїнський науково-практичний Інтернет конференція: Кропивницький. 2019. – URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/2019/11.pdf>
6. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреєв, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / 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.
7. Клименко В.В., Кравченко В. І., Телюта Р. В. Енергозбереження в тепло технологічних процесах та установках: Навчальний посібник. – Кропивницький: ПП Єксклюзив-Систем, 2020. – 219 с.
8. Maurer, T. Kältetechnik für Ingenieure / T. Maurer. – GmbH: VDE Verlag, 2016. – 575 p.
9. Li, S. X. Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer / S. X. Li, J. S. Wang // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – № 2015. – P. 1-9. – doi:10.1155/2015/120975.
10. Chepyrniy M. N. Application of steam compression thermal pumping plants for utilization of the discharged heat of steam turbines condensers. / M. N. Chepyrniy, N. V. Rezydent. // Scientific works of Vinnytsia national technical university. – 2013. – № 4. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue\\_2013\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue_2013_4_10).
11. Emadi, A. Advanced Electric Drive Vehicle / A. Emadi. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. – 586 p.
12. Takashi M, Shuichi H, Daisuke O, Masahiko T, Jun S. Improvement of thermal environment and

- reduction of energy consumption for cooling and heating by retrofitting windows. Front. Archit. Res. 2013;2:1–10.
13. El Mankibi M, Cantin R, Zoubir A. Contribution to the thermal renovation of old buildings: numerical and experimental approach for characterizing a double window. Energy Procedia 2015;78:2470–2475.
14. Gloriant F, Tittelein P, Joulin A, Lassue S. Study of the performances of a supply-air window for air renewal pre-heating. Energy Procedia 2015;78:525–530.
15. Energy Efficiency Best Practice Guide Steam Systems, Hot Water Systems and Process Heating Systems / <https://genless.govt.nz/assets/Business-Resources/process-heat-best-practice-guide-jan-2011.pdf>

### References

1. Kogeneracijni texnologiyi v malij energety'ci: monografiya / V. A. Malyarenko, O. L. Shubenko, S. Yu. Andryeyev, M. Yu. Babak, O. V. Senecz'kyj / Xarkiv. nacz. un-t mis'k. gosp-va im. O. M. Bektov, In-t problem mashy'nobud. im. A. M. Pidgornogo. – Xarkiv : XNUMG im. O. M. Bektov, 2018. – 454 s.
2. Gichov Yu.O. Teplovi elekrostanciyi ta problemy' peretvorennya energiyi. Chasty'na II: Navchal'nyj posibnyk. – Dnipro: NMetAU, 2017. – 59 s.
3. Luxtura F. Y. O nekotoryx sposobax povlysheny'ya teplovoj ekonomy'chnosty' y' nadezhnosty' promyslennix TЭCz / F. Y. Luxtura, A. V. Pyszh'ykov, O. A. Xlestova // Visnyk Pry'azov'skogo derzhavnogo texnichnogo universytetu. Seriya : Texnichni nauky'. – 2018. – Vy'p. 36. – S. 88-100. – Rezhy'm dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdt\\_2018\\_36\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vpdt_2018_36_13).
4. Terlez'kyj V. O., Ly'suk G. P. Modelyuvannya ASR temperatury' para za redukciyno-oxolodzhuval'noyu ustanovkoyu energobloku AES VVER 1000 MVT / Vcheni zapysky' TNU imeni V.I. Vernads'kogo. Seriya: texnichni nauky', 2019. – Tom 30 (69). # 3 Chasty'na 1. – S. 170-174.
5. Vy'soky'x L.V., Kly'menko V.V. ta Kravchenko V.I. Pidvy'shhennya efekty'vnosti sy'stem elektropostachannya za raxunok vy'kory'stannya kogeneracijni ustanovky' z turbinnoyu ustanovkoyu / Perspekty'veni galuzi informaciyno-komp'yuterny'x sy'stem ta merezh, komp'yuterno-integrovani texnologiyi u promy'slovosti, telekomunikacyax, energety'ci ta transporti: Vseukrayins'kyj naukovo-prakty'chnyj Internet konferenciya: Kropyvny'cz'kyj. 2019. – URL: <http://www.kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/2019/11.pdf>
6. Kogeneracijni texnologiyi v malij energety'ci : monografiya / V. A. Malyarenko, O. L. Shubenko, S. Yu. Andryeyev, M. Yu. Babak, O. V. Senecz'kyj / Xarkiv. nacz. un-t mis'k. gosp-va im. O. M. Bektov, In-t problem mashy'nobud. im. A. M. Pidgornogo. – Xarkiv : XNUMG im. O. M. Bektov, 2018. – 454 s.
7. Kly'menko V.V., Kravchenko V. I., Telyuta R. V. Energozberezhennya v teplo texnologichny'x procesax ta ustanovkax: Navchal'nyj posibnyk. – Kropyvny'cz'kyj: PP Eksklyuzyv-Sy'stem, 2020. – 219 s.
8. Maurer, T. Kältetechnik für Ingenieure / T. Maurer. – GmbH: VDE Verlag, 2016. – 575 p.
9. Li, S. X. Dynamic Modeling of Steam Condenser and Design of PI Controller Based on Grey Wolf Optimizer / S. X. Li, J. S. Wang // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – # 2015. – R. 1-9. – doi:10.1155/2015/120975.
10. Chepyrnyi M. N. Application of steam compression thermal pumping plants for utilization of the discharged heat of steam turbines condensers. / M. N. Chepyrnyi, N. V. Rezydent. // Scientific works of Vinnytsia national technical university. – 2013. – # 4. – Rezhy'm dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue\\_2013\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vntue_2013_4_10).
11. Emadi, A. Advanced Electric Drive Vehicle / A. Emadi. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. – 586 p.
12. Takashi M, Shuichi H, Daisuke O, Masahiko T, Jun S. Improvement of thermal environment and reduction of energy consumption for cooling and heating by retrofitting windows. Front. Archit. Res. 2013;2:1–10.
13. El Mankibi M, Cantin R, Zoubir A. Contribution to the thermal renovation of old buildings: numerical and experimental approach for characterizing a double window. Energy Procedia 2015;78:2470–2475.
14. Gloriant F, Tittelein P, Joulin A, Lassue S. Study of the performances of a supply-air window for air renewal pre-heating. Energy Procedia 2015;78:525–530.
15. Energy Efficiency Best Practice Guide Steam Systems, Hot Water Systems and Process Heating Systems / <https://genless.govt.nz/assets/Business-Resources/process-heat-best-practice-guide-jan-2011.pdf>

О.Я. ВОЛОШАНЮК  
О.В. НЕЧИПОРЕНКО

Orcid-id: 0000/0002/0484/9111

Рецензія/Peer review : 20.04.2021 р. Надрукована/Printed :07.06.2021 р.