

УДК 628.165:621.44
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3\(491-492\).8](https://doi.org/10.15589/znp2023.2-3(491-492).8)

WATER DESALINATION CIRCUITS USING THE HEAT OF THE GAS-STEAM MIXTURE AND CIRCULATING WATER IN CONTACT GAS-STEAM TURBINE PLANTS

СХЕМИ ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕПЛОТИ ГАЗОПАРОВОЇ СУМІШІ ТА ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ ВОДИ В КОНТАКТНИХ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВКАХ

Svitlana A. Kuznetsova
svitlana.kuznetsova@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-0823-0583

С. А. Кузнецова,
канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The post-war development of industry and agriculture in south Ukraine requires both energy and water needs. For this purpose, the use of contact gas-steam turbine plants has been proposed, the positive quality of which is the possibility, when used as drives for electric generators, to additionally obtain fresh water due to the condensation of water formed as a result of the combustion of hydrocarbon fuel. In the presence of additional ground and underground sources of mineralized water with a low salt content, it is possible to ensure their desalination during the implementation of successive processes of evaporation and condensation. Evaporation of mineralized water is carried out due to the heat of the gas-steam mixture in front of the contact condenser, and condensation in the contact condenser itself. To intensify the evaporation process, heating of mineralized water due to the heat of the cooling circulating water at the outlet of the condenser was proposed. To improve the condensation process, it is proposed to reduce the temperature of the cooling water due to additional cooling after removing part of the heat to heat the mineralized water before supplying for evaporation.

The aim of research is the substantiation of circuit's solutions for obtaining desalinated water through the use of additional sources of mineralized water, the heat of the gas-steam mixture in front of the contact condenser and circulating water behind it.

The object of research is the processes of heat and mass transfer in the elements of contact gas-steam turbine plants, where water desalting occurs due to evaporation and condensation. The subject of the research is the dependence of indicators for obtaining additional desalinated water and thermal efficiency of the proposed circuits.

During the research, a mathematical model of processes in the elements of the circulation circuit of the contact gas-steam turbine plant is used, the results of which were tested and used during the tests of GPA-16K.

In the research, circuits without heat recovery of circulating water by and with the contact condenser were considered, as well as with heat recovery of circulating water behind the condenser and additional cooling in front of it. Indicators have been developed that allow estimating the growth of desalinated water, the consumption of mineralized and circulating water and thermal efficiency when using these circuits in the climatic conditions of the sea coast of southern Ukraine. The obtained results showed that the heat recovery of circulating water allows to increase the amount of desalinated water and increase thermal efficiency. The use of circuits with heat recovery of circulating water by condenser and additional cooling in a separate cooler is possible with significant needs of desalinated water, which cannot be satisfied by circuits with regeneration.

Key words: additional resources; mineralized water; production; desalinated water; intensification.

Анотація. Післявоєнний розвиток промисловості та сільського господарства на півдні України вимагає забезпечення як енергетичних потреб, так і потреб з водою. Для цього запропоновано використання контактних газопаротурбінних установок, позитивною якістю яких є можливість при використанні у якості приводів електрогенераторів додатково отримувати прісну воду за рахунок конденсації води, що утворюється в результаті згорання вуглеводневого палива. При наявності додаткових наземних та підземних джерел мінералізованої води з невеликим вмістом солей можливо забезпечити їх знесолення при реалізації послідовних процесів випаровування та конденсації. Випаровування мінералізованої води здійснюється за рахунок теплоти газопарової

суміші перед контактним конденсатором, а конденсація у самому контактному конденсаторі. Для інтенсифікації процесу випаровування запропоновано підігрів мінералізованої води за рахунок теплоти охолоджуючої циркуляційної води на виході з конденсатора. Для поліпшення процесу конденсації запропоновано зниження температури охолоджуючої води за рахунок додаткового охолодження після відведення частини теплоти на підігрів мінералізованої води перед подачею на випаровування.

Метою роботи є обґрунтування схемних рішень для отримання опрісненої води за рахунок використання додаткових джерел мінералізованої води, теплоти газопарової суміші перед контактним конденсатором та циркуляційної води за ним.

Об'єкт дослідження – процеси тепломасообміну в елементах контактних газопаротурбінних установок, де відбувається знесолення води за рахунок випаровування та конденсації. Предмет дослідження – залежності показників по отриманню додаткової опрісненої води та теплової ефективності запропонованих схем.

Під час досліджень використана математична модель процесів в елементах циркуляційного контуру контактної газопаротурбінної установки, результати якої пройшли перевірку та використовувались під час випробувань ГПА-16К.

При дослідженні розглянуті схеми без регенерації теплоти циркуляційної води за контактним конденсатором та з нею, а також з регенерацією теплоти циркуляційної води за конденсатором та додатковим охолодженням перед ним. Розроблені показники, які дозволяють оцінити приріст знесоленої води, витрат мінералізованої та циркуляційної води та теплову ефективність при використанні цих схем в кліматичних умовах морського узбережжя півдня України. Отримані результати показали, що регенерація теплоти циркуляційної води дозволяє підвищити кількість знесоленої води та підвищити теплову ефективність. Застосування схем з регенерацією теплоти циркуляційної води за конденсатором та додатковим охолодженням в окремому охолоджувачі можливо при значних потребах знесоленої води, які не може задовольнити схема з регенерацією.

Ключові слова: додаткові джерела; мінералізована вода; генерація; опріснена вода; інтенсифікація.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для забезпечення поновлення та сталого розвитку півдня України у післявоєнний період крім енергетичного забезпечення промисловості, портів та сільськогосподарства, також буде потрібна і вода для різних технологічних процесів та для населення. Зараз проблема забезпечення якісною водою Миколаївської [1-2] та Херсонської [3-4] областей є дуже актуальною і потребує додаткової уваги. Значно більша кількість населення та розвиток портів в Одеській області також обґрунтовують недостатність якісної води у цій області. Використання підземних джерел потребує додаткове очищення та знезараження. Наявність великих річок, близькість водних ресурсів Чорного та Азовського моря, вода яких також після відповідного очищення може бути використана, підтверджують достатність первісних джерел мінералізованої води, що може бути використані для отримання технічної та питної води. Надалі при поновленні та розвитку виробництва та портів [5], а також збільшенні населення буде відбуватись лише збільшення потреби як у енергопостачанні так і у воді. Як наслідок цього можливе збільшення використання та забруднення джерел води як надземних так і підземних, що призведе до дефіциту води, про що попереджують дослідження [6, 7]. Тому питання розбудови південного регіону України потрібно розглядати у комплексі розвинення енергетичної сфери та забезпечення водою підприємств, портів та населення. Таким чином, проблема застосування додаткових децентралізованих джерел електро- та теплопостачання, а також отримання води для наведених вище об'єктів є актуальною.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Питання необхідності зосередження змін при використанні водних ресурсів України з поліпшенням систем очищення для можливості їх повторного використання, а також раціональне використання наземних та підземних джерел мінералізованої води при застосуванні знесолення представлено у роботах [8, 9].

При виборі способу знесолення великий вплив має склад води [10]. Україна не має значного досвіду застосування систем отримання прісної води з підземних та наземних джерел зневеликим вмістом солей. За досвідом, що накопичено іншими країнами для опріснення води, зараз найбільш використовується зворотній осмос та дистиляція [10]. Зворотній осмос потребує значних витрат на фільтруючі елементи, а дистиляція – додаткових джерел теплової енергії. Аналіз використання мембранних технологій осмосу показує необхідність застосування значних енергоресурсів та дій по забезпеченню екологічних вимог [11, 12]. В той же час, розроблені методи отримання води шляхом випаровування солоної води з додаткових джерел з послідовною їх конденсацією у повітря чи у газопарову суміш [13-15]. Крім того у [15] розглянуто можливість застосування багаторівневого апарату киплячого типу, що використовують ті же самі процеси, для отримання опрісненої води при використанні теплоти газопарової суміші перед конденсатором в контактних газопаротурбінних установках. Додатковою позитивною якістю таких установок можна вважати можливість

забезпечення об'єкт як електричною, тепловою енергією та виробляти опріснену воду. Контактні газопаротурбінні установки мають високу економічність, низькі показники викидів по NO_x і CO , а також здатність генерувати в циклі додаткову воду, що утворюється за рахунок згорання вуглеводневого палива, конденсується з газопарової суміші у контактному конденсаторі [16, 17].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Проведений аналіз наявних літературних джерел показав наступне.

При застосуванні випаровування та конденсації мінералізованої води у повітрі для отримання опрісненої води, не визначено джерело теплової енергії, що використовується для підігріву води та його параметри, що не дає можливості виконати аналіз застосування вторинних чи поновлювальних джерел для підприємств чи портів, а також умов розташування цих установок на об'єкті.

При використанні теплоти газопарової суміші перед контактним конденсатором не визначена теплова ефективність наведених схем і не обґрунтовані схеми з використанням теплоти охолоджувальної циркуляційної води для підігріву мінералізованої води з додаткових джерел для збільшення опрісненої води та підвищення ефективності роботи установки у цілому.

МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є обґрунтування схемних рішень для отримання опрісненої води за рахунок використання додаткових джерел мінералізованої води, теплоти газопарової суміші перед контактним конденсатором та циркуляційної води за ним.

Для досягнення вказаної мети вирішені наступні задачі:

1. Обґрунтовано склад схем з використанням теплоти газопарової суміші та циркуляційної води для опріснення води з додаткових джерел.

2. Визначено ефективність застосування цих схем з урахуванням особливостей кліматичних умов морського узбережжя півдня України.

Об'єкт дослідження – процеси тепломасообміну в елементах контактних газопаротурбінних установок, де відбувається знесолення води за рахунок випаровування та конденсації.

Предмет дослідження – залежності показників по отриманню додаткової опрісненої води та теплової ефективності запропонованих схем.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Завдяки наявності значної кількості теплоти газопарової суміші (ГПС) за утилізаційним котлом (УК), що знаходиться перед контактним конденсатором

(КК) обрано дистиляцію, як найбільш раціональний спосіб отримання опрісненої води. Випаровування мінералізованої води з додаткових джерел та конденсація пари є двома послідовними процесами, що відбуваються з цією водою при дистиляції.

Подалі розглянуті варіанти, коли випаровування відбувається при безпосередньому контакті мінералізованої води з газопаровою сумішшю у випарному охолоджувачі (ВО), а конденсація – у контактному конденсаторі. Ці принципові схеми елементів контактних газопаротурбінних установок, у яких відбувається генерація опрісненої води представлені на рис. 1. Особливість зазначених процесів полягає у тому, що випарне охолодження суміші відбувається зі збільшенням її початкового вологовмісту та зниженням температури суміші у ВО, але не до повного насичення. Після цього, суміш потрапляє до контактного конденсатора, у якому при контакті з охолоджуючою циркуляційною водою відбувається процеси випаровування до насичення парами води з подальшою конденсацією, вловлюванням крапель у інерційному віддільнику крапель та відведенням води з конденсатора. Саме таке розташування елементів у схемах забезпечує можливість здійснення конденсації та відведення води у контактному конденсаторі.

В якості охолоджувачів циркуляційної води можуть застосовуватися як водоводяні охолоджувачі, так і апарати повітряного охолодження. При базуванні біля моря чи повноводної річки, в якості охолоджуючого середовища, застосовується мінералізована вода з цих джерел у водоводяних охолоджувачах, а при континентальному розташуванні і використанні підземних джерел – можливе застосування повітря у апаратах повітряного охолодження.

Регенерація теплоти циркуляційної води на виході з КК для підігріву мінералізованої води перед зрощувачем ВО дозволяє збільшити кількість води, що випарилася, тобто початкову вологість суміші перед КК, що підвищує показник генерації води. Особливо це актуально при низьких початкових температурах мінералізованої води. Так же як і у варіанті без регенерації газопарова суміш повинна бути недонасиченою на виході з ВО для запобігання початку процесу конденсації.

Забезпечення підвищення генерації знесоленої води за рахунок підвищення ефективності конденсації при використанні регенерації теплоти циркуляційної води, можливо за рахунок зниження температури охолоджуючої води, що надходить у конденсатор, при застосуванні додаткових охолоджувачів циркуляційної води. Один з можливих варіантів наведено на останній схемі.

Для визначення ефективності застосування наведених схем використовується показник відносного отримання знесоленої води

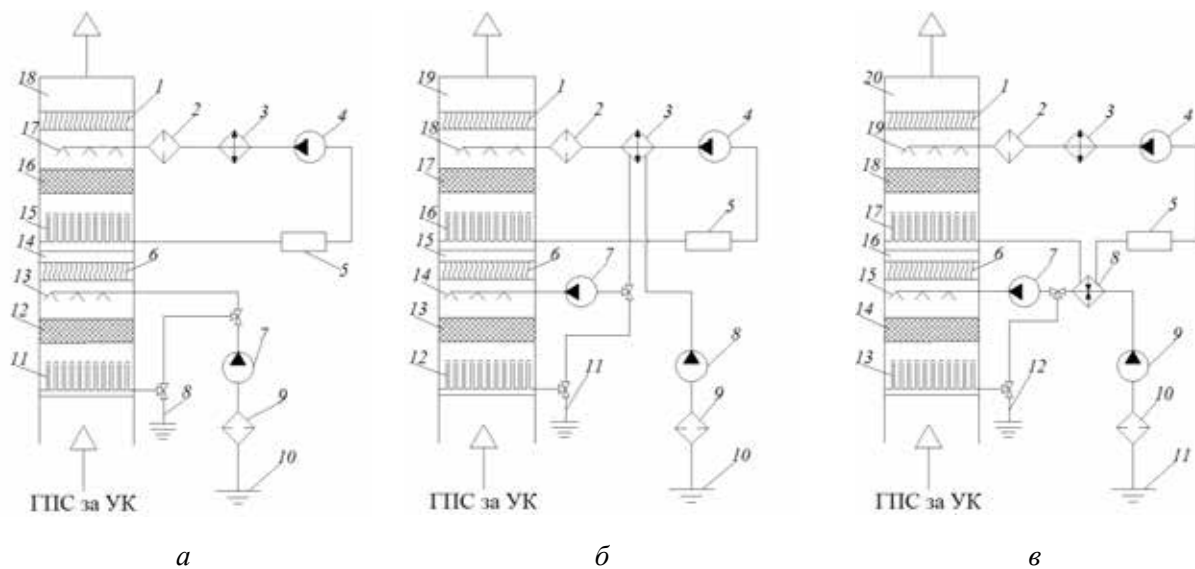


Рис 1. Схема послідовно розташованих випарного охолоджувача та контактного конденсатора: а) без регенерації теплоти циркуляційної води за КК; б) з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК; в) з регенерацією теплоти та додатковим охолодженням циркуляційної води після КК

а) 1 – інерційний віддільник крапель КК, 2 – фільтр охолоджуючої циркуляційної води, 3 – охолоджувач циркуляційної води, 4 – циркуляційний насос, 5 – ємність для збору циркуляційної води, 6 – інерційний віддільник крапель ВО, 7 – насос мінералізованої води, 8 – трубопровід відведення мінералізованої води, 9 – фільтр мінералізованої води, 10 – трубопровід подачі мінералізованої води, 11 – пристрій для збору та відведення мінералізованої води, 12 – тепломасообмінна насадка ВО, 13 – зрошувач мінералізованої води, 14 – ВО, 15 – пристрій для збору та відведення суміші циркуляційної води та конденсату, 16 – тепломасообмінна насадка КК, 17 – зрошувач КК, 18 – КК.

б) 7 – насос мінералізованої води, для забезпечення тиску перед зрошувачем ВО, 8 – насос мінералізованої води для її прокачування через охолоджувач циркуляційної води, 9 – фільтр мінералізованої води, 10 – трубопровід подачі мінералізованої води, 11 – трубопровід відведення мінералізованої води, 12 – пристрій для збору та відведення мінералізованої води, 13 – тепломасообмінна насадка ВО, 14 – зрошувач мінералізованої води, 15 – ВО, 16 – пристрій для збору та відведення суміші циркуляційної води та конденсату, 17 – тепломасообмінна насадка КК, 18 – зрошувач КК, 19 – КК.

в) 7 – насос мінералізованої води, для забезпечення тиску перед зрошувачем ВО, 8 – підігрівач мінералізованої води, 9 – насос мінералізованої води для її прокачування через підігрівач, 10 – фільтр мінералізованої води, 11 – трубопровід подачі мінералізованої води, 12 – трубопровід відведення мінералізованої води, 13 – пристрій для збору та відведення мінералізованої води, 14 – тепломасообмінна насадка ВО, 15 – зрошувач мінералізованої води, 16 – ВО, 17 – пристрій для збору та відведення суміші циркуляційної води та конденсату, 18 – тепломасообмінна насадка КК, 19 – зрошувач КК, 20 – КК.

$$D = \frac{M_k}{G_{\text{ГПС}}}$$

де M_k – кількість води, що відводиться з конденсатору та з урахуванням потреб самої установки на живлення утилізаційного котла (УК), кг/с; $G_{\text{ГПС}}$ – витрата газопарової суміші, що виходить з УК, кг/с.

Оскільки значну роль на процеси випаровування та конденсації впливають і витрати мінералізованої води, що опріснюється та води на охолодження то додатково визначені і їх відносні витратні показники.

Показники витрат води при знесоленні:

– показник відносної витрати мінералізованої води

$$g_{\text{м.в.}} = \frac{G_{\text{м.в.}}}{M_k}$$

де $G_{\text{м.в.}}$ – витрата мінералізованої води, що надходить до випарного охолоджувача, кг/с.

– показник відносної витрати охолоджуючої води:

$$g_{\text{охл.в.}} = \frac{G_{\text{ц.в.}}}{M_k}$$

де $G_{\text{ц.в.}}$ – витрата циркуляційної води на вході до конденсатора, кг/с.

Ці показники дають змогу зробити аналіз витрат: газопарової суміші та циркуляційної води, як середовищ, теплота яких витрачається на отримання знесоленої води, а також мінералізованої води, яка використовується для опріснення.

Показник теплової ефективності схемних рішень представлений як показник використаної теплоти:

$$E_t = \frac{Q_{\text{ГПС}}^{\text{заУК}} - Q_{\text{г}}^{\text{заКК}} - Q_{\text{ц.в.}}^{\text{охл.}}}{Q_{\text{ГПС}}^{\text{заУК}}}$$

де $Q_{\text{ГПС}}^{\text{заУК}}$ – кількість теплоти газопарової суміші на виході з утилізаційного котла (УК), кВт; $Q_{\text{г}}^{\text{заКК}}$ – кількість теплоти, що втрачається з газами на виході

з КК, кВт; $Q_{\text{ц.в.}}^{\text{охл}}$ – кількість теплоти, що відводиться у навколишнє середовище (вода чи повітря) у охолоджувачі циркуляційної води, кВт.

Дослідження проведені для параметрів КГПТУ потужністю 16 МВт при витраті газопарової суміші за УК 44,0 – 45,0 кг/с (сухі гази 36,6 – 37,25 кг/с, а пари 7,40-7,75 кг/с) та температурі 453-448 К, паропроductивність утилізаційного котла – 5,65 – 5,70 кг/с з ефективністю охолоджувачів циркуляційної води 0,7 – 0,8 та інерційних віддільників крапель 0,90 – 0,95 при температурі і відносній вологості повітря відповідним кліматичним умовам наведених для Одеської області [18], температура додаткових джерел: 5-24 °С, а вміст солей до 20%, що відповідає даним [19].

Результати досліджень відносних показників представлені у виді залежностей від відносної витрати циркуляційної води ($G_{\text{ц.в.}}/G_{\text{ГПС}}$), що спрощує їх аналіз на рис. 2-4 та 5.

На рис. 2 приведені результати застосування регенерації для збільшення отримання знесоленої води.

Підвищення кількості знесоленої води при застосуванні регенерації теплоти циркуляційної води обмежено температурами підігріву мінералізованої води до 28-30 °С через небезпеку відкладення солей на тепломасообмінній насадці та з урахуванням екологічних вимог, що вимагають підтримання різниці між входом та виходом на рівні не більш 10 °С.

Зниження обох показників відносної витрати мінералізованої води та охолоджуючої води при застосуванні схем з регенерацією обумовлено збільшенням кількості опрісненої води при інтенсифікації випаровування та випаровування та конденсації.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Використання випарного охолоджувача дозволяє забезпечити стаке отримання знесоленої води і у тому числі у літній період, про що свідчать значення показника відносного отримання знесоленої води вище нуля.

При використанні регенерації теплоти циркуляційної води найбільший ефект спостерігається у зимовий період, а також у березні та листопаді, що пояснюється більшим підвищенням температури води, що впорскується у ВО, що інтенсифікує процес випаровування та призводить до збільшення вологості ГПС. Додаткове підвищення кількості опрісненої води у останній схемі досягається за рахунок зниження температури циркуляційної охолоджуючої води перед конденсатором та інтенсифікацією процесів конденсації пари у ньому. Так при застосуванні регенерації показник відносного отримання знесоленої води збільшується на 0,008-0,016, а при регенерації та додатковому охолодженню циркуляційної води – на 0,013-0,020.

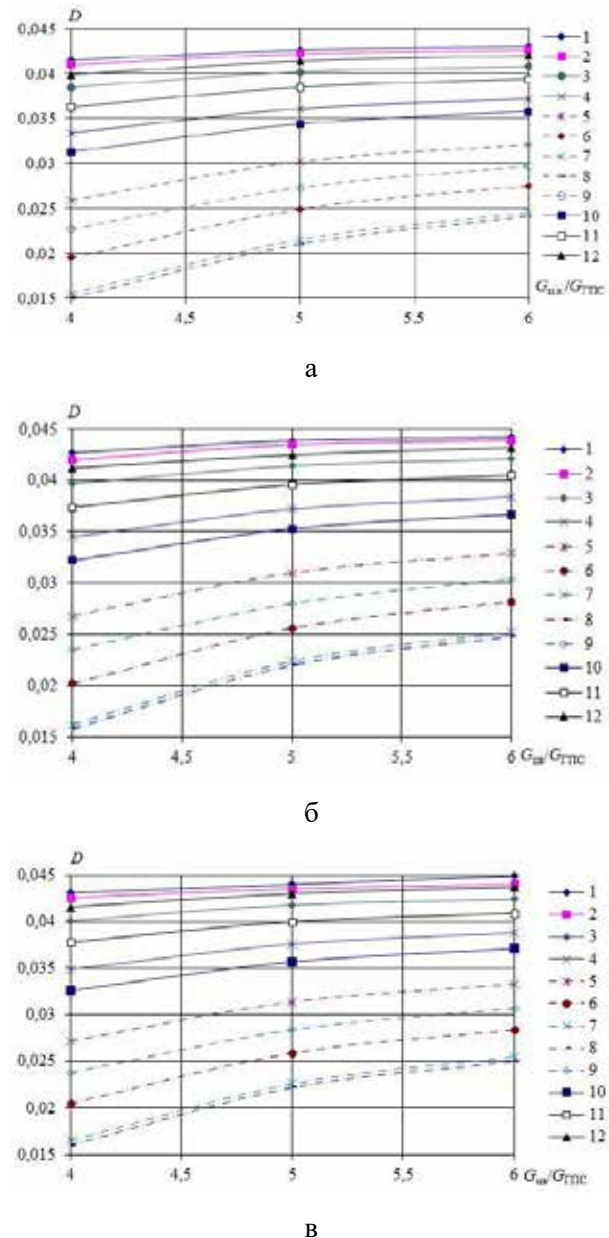
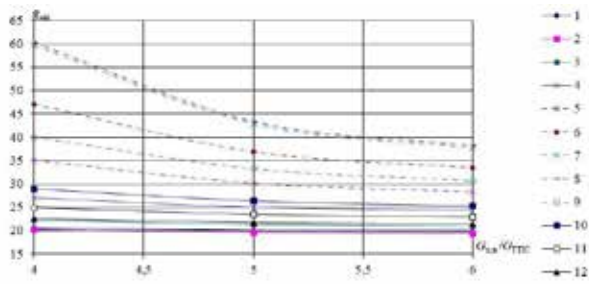
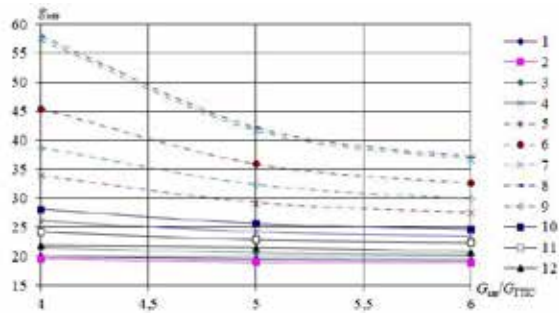


Рис. 2. Залежності показника відносного отримання знесоленої води по місяцям: а) без регенерації теплоти циркуляційної води за КК; б) з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК; в) з регенерацією теплоти та додатковим охолодженням циркуляційної води після КК

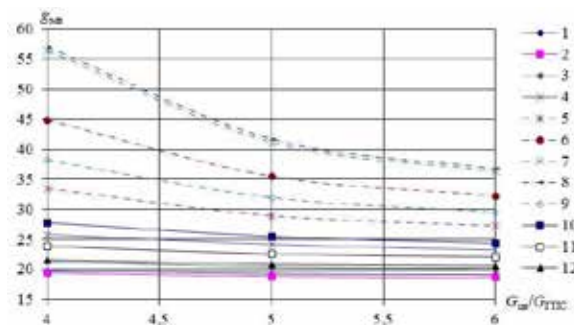
Спостерігається зменшення показників відносної витрати мінералізованої води при регенерації на 1,0-2,0, а при регенерації та додатковому охолодженні циркуляційної води на 1,3-3,0; для показника відносної витрати охолоджуючої води для тих же схем на 3,0-9,0 та 4,0-12,0. Це пов'язано зі збільшенням опрісненої води M_k при використанні постійних діапазонів витрат як мінералізованої так і циркуляційної води, про що свідчать значення їх відносних показників.



а



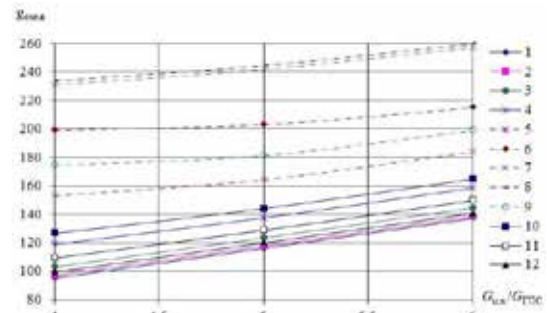
б



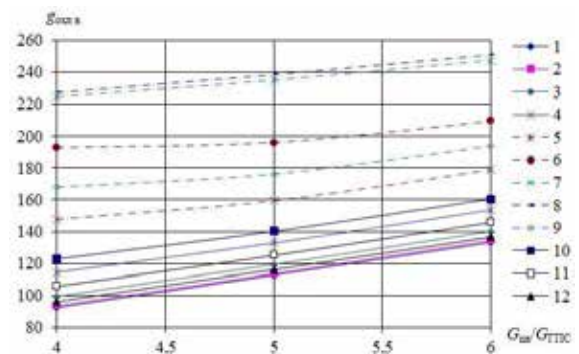
в

Рис. 3. Залежності показника відносної витрати мінералізованої води по місяцям: а) без регенерації теплоти циркуляційної води за КК; б) з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК; в) з та регенерацією теплоти та додатковим охолодженням циркуляційної води після КК

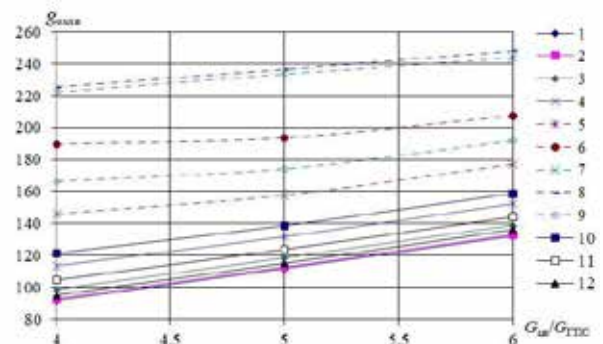
Найбільша ефективність по використанню теплоти спостерігається для схеми з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК та досягає значень до 0,962, у порівнянні зі схемою без регенерації вона збільшується на 0,028-0,038. Схема з регенерацією та додатковим охолодженням циркуляційної води в окремому охолоджувачі має нижчий показник ефективності із-за додаткового відведення теплоти від циркуляційної води в ньому, а ефективність збільшується лише на 0,008-0,020. При розгляді цього показника не враховані втрати з морською



а



б



в

Рис. 4. Залежності показника відносної витрати охолоджуючої води по місяцям: а) без регенерації теплоти циркуляційної води за КК; б) з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК; в) з регенерацією теплоти та додатковим охолодженням циркуляційної води після КК

водою при її відведенні у випарному охолоджувачі оскільки, порівняно з втратами теплоти з циркуляційною водою, вони складають незначне значення для цих схем.

Обидві схеми з регенерацією можуть бути застосовані при отриманні знесоленої води, але схема з регенерацією та додатковим охолодженням циркуляційної води при однакових умовах виробляє більше опрісненої води, потребує більше енергії на привід насосів циркуляційної води та менший показник ефективності по використанню теплоти.

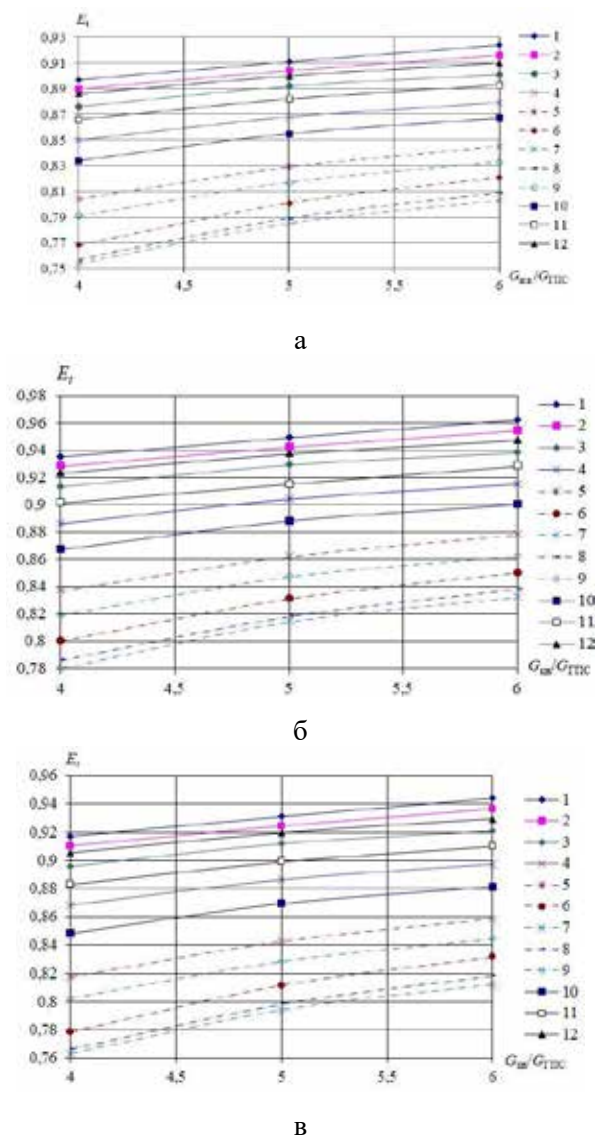


Рис. 5. Залежності показника використаної теплоти по місяцям: а) без регенерації теплоти циркуляційної води за КК; б) з регенерацією теплоти циркуляційної води за КК; в) з регенерацією теплоти циркуляційної води та додатковим охолодженням циркуляційної води після КК

ВИСНОВКИ

1. Використання випарного охолодження дозволяє забезпечити отримання опрісненої води у надлишковій кількості на протязі усього року за рахунок збільшення початкової вологості та зменшення температури суміші перед контактним конденсатором у розглянутих кліматичних умовах півдня України при наявності додаткових джерел мінералізованої води.

2. Додатково використання регенерації циркуляційної води дозволяє збільшити отримання опрісненої води за рахунок інтенсифікації випаровування на 0,008-0,016 та досягти показників 0,0158-0,0442 при значеннях відносної витраті циркуляційної води від 4 до 6.

3. Застосування додаткового охолодження циркуляційної води перед подачею до конденсатора додатково інтенсифікує процеси конденсації і у сукупності з випарним охолодженням та регенерацією при однакових відносних витратах циркуляційної води забезпечує показник відносного отримання знесоленої води 0,0163-0,0450.

4. Показники використаної теплоти складають для схем: без регенерації 0,755- 0,924, з регенерацією – 0,783-0,962, а з регенерацією та додатковим охолодженням циркуляційної води – 0,763-0,944 при значеннях відносної витраті циркуляційної води від 3 до 6.

5. На підставі порівняльного аналізу схемних рішень з випарним охолодженням визначено, що найбільш ефективною по використаній теплоті є схема з регенерацією теплоти циркуляційної води, але використання схеми з регенерацією та додатковим охолодженням циркуляційної води також можливо особливо при збільшенні потреби у знесоленої води.

REFERENCES

- [1] Syenkevych, O. (2023). Mis'kyi holova Mykolayeva: «Nayblyzhchoho misyatsya v misti znovu z'yavyt'sya pytna voda». Oleksandr Syenkevych – pro zhyttya ta vyzyvannya pryfrontovoho mista, realiyi komunhospu u uchast' u vidbudovi mizhnarodnykh partneriv Ukrainy [The mayor of Mykolaiv: "Drinking water will reappear in the city next month." Oleksandr Sienkovych – about the life and survival of a front-line city, the realities of the communist economy and participation in the reconstruction of Ukraine's international partners]. Retrieved from <https://mind.ua/publications/20260006-miskij-golova-mikolaeva-najblizhchogo-misyatsya-v-misti-znovu-zyavitsya-pitna-voda> [in Ukrainian].
- [2] Den'kovych, Ya. (2023). Mykolayiv otrymaye pytnu vodu – uryad vydilyv 120 mln hryven' [Mykolaiv will receive drinking water – the government allocated 120 million hryvnias]. Retrieved from <https://tsn.ua/ukrayina/mikolayiv-otrimaye-pitnu-vodu-uryad-vidiliv-120-mln-griven-2344612.html> [in Ukrainian].
- [3] МКР Kherson's'kyi vodokanal [МКР Khersonsky Vodokanal]. (2023) Yakist' pytnoyi vody. Retrieved from <https://water.kherson.ua/pidgotovka-pytnoyi-vody/> [in Ukrainian].

- [4] Suspil'ne. (2023) Yakist' pitnoyi vody u Khersoni. Shcho hovoryat' mistyany ta vidpovidni sluzhby [Drinking water quality in Kherson. What citizens and relevant services say]. Retrieved from <https://suspilne.media/526591-akist-pitnoi-vodi-u-hersoni-so-govorot-mistany-ta-vidpovidni-sluzbi/> [in Ukrainian].
- [5] Administratsiya mors'kykh portiv Ukrayiny. (2022). Poyasnyuval'na zapyska DP AMPU do FP 2022 [Explanatory note of the DP AMPU to the FY 2022]. Retrieved from <https://mtu.gov.ua/files/Пояснювальна%20записка%20ДП%20АМПУ%20до%20ФП%202022%20частина%202.pdf> [in Ukrainian].
- [6] Cantor, A., Owen, D., Harter, D., Nylen, G., Kiparsky, M. (2018). *Navigating groundwater-surface water interactions under the Sustainable Groundwater Management Act*. CA: UC Berkley School of Law. Retrieved from https://www.law.berkeley.edu/wp-content/uploads/2018/03/Navigating_GW-SW_Interactions_under_SGMA.pdf.
- [7] Nirajan, D., Sergio, G. S., Jamal, H., Almotasembellah, A., Hassan, S., Jan, C. S., Maria, D. K. (2022). Is Desalination a Solution to Freshwater Scarcity in Developing Countries? *Membranes*, № 12. P. 381. doi: 10.3390/membranes12040381
- [8] Bezrodnyi, M.K., Prytula, N.O., Goliad, M.N. (2020). Stratehichni napryamky rozvytku vodopostachannya v Ukrayini [Strategic directions of water supply development in Ukraine]. *Vodopostachannya i vodovidvedennya*, № 2, pp. 11–15.
- [9] Loeb, S., Hofmann, R., Kim, J. H. (2016). Beyond the Pipeline: Assessing the Efficiency Limits of Advanced Technologies for Solar Water Disinfection. *Environmental Science & Technology Letters*, vol. 3, is. 3, 73–109. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.estlett.6b00023>
- [10] Treacy, J. (2019). *Drinking Water Treatment and Challenges in Developing Countries*. Intech Open doi: 10.5772/intechopen.80780
- [11] Wilf, M., Awerbuch, L. (2007). *The Guidebook to Membrane Desalination Technology: Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems, Process, Design, Applications, and Economics*. Hopkinton, MA, USA: Hopkinton.
- [12] Wilf, M., Awerbuch, L., Pearce, G., Bartels, C., Mickley, M., Voutchkov, N. (2006). *Membrane Desalination Technology: Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems Process, Design and Applications*. Library of Congress Card Number 2006. Retrieved from <http://www.desline.com/WilfBookIcomplete.pdf>.
- [13] Sereda, V.V., Solomakha, A.S., Prytula, N.O., Zabolotnyy, O.A. (2021). Model' termichnoyi oprisyuval'noyi ustanovky z tsykloz zvolozhennya-osushennya povitrya [Model of a thermal desalination plant with air humidification-dehumidification cycle]. *Scientific news of KPI*, № 4, pp.69–76. [in Ukrainian]
- [14] Sereda, V.V., Solomakha, A.S., Prytula, N.O., Shvets', N.O. (2022). Termodynamichnyy analiz system termichnoho znesolennya vody z zakrytyy ta vidkrytyy povitryanyy tsykloz [Thermodynamic analysis of thermal water desalination systems with closed and open air cycle]. *Scientific Notes of Vernadsky Kyiv Polytechnic National University. Series: Technical sciences*. vol. 33 (72), № 6, pp.146–152. [in Ukrainian]
- [15] Kuznetsova, S.A. (2015). Skhemy znesolennya vody pry vykorystanni teploty hazoparovoyi smishy pered kontaktynym kondensatorom [Schemes of water desalination using the heat of the gas-vapor mixture before the contact condenser]. *Collection of Scientific Papers of Admiral Makarov National University of Shipbuilding*. № 2 (458). pp. 57–63. [in Ukrainian]
- [16] Isakov, B.V., Movchan, S.M., Rasosshansky, V.S., Bochkarev, Yu.V., Shevtsov, A.P., Kuznetsova, S.A., Kolomeev, V.M., Izbash, V.I., Ksenzyuk, M.V. (2005). Kontaktnyy kondensator ustanovky GPU-16K [Contact capacitor of the GPU-16K installation]. *Oil and gas industry, Scientific and Production Journal, Kyiv*, № 5. pp 53–55. [in Ukrainian]
- [17] Kolomeev, V.M., Ksenzyuk, M.V., Pomanov, V.V., Movchan, S.M., Shevtsov, A.P., Kuznetsova, S.A., Dykiy, M.O. (2006). GPU-16K: doslidno-promyslova ekspluatatsiya, mizhvidomchi pryymal'ni vyprobuvannya, perspektyvy vykorystannya [GPU-16K: research and industrial operation, interdepartmental acceptance tests, prospects for use]. *Oil and gas industry, Scientific and Production Journal, Kyiv*, № 4. pp 38–40. [in Ukrainian]
- [18] META. (2022). Pohoda v Odesi [Weather in Odessa]. Retrieved from <https://pogoda.meta.ua/ua/Odeska/Odeskij/Odesa/archive/> [in Ukrainian].
- [19] Chorne more [Black Sea]. (2023). Retrieved from https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорне_море [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Сенкевич, О. (2023). Миський голова Миколаєва: «Найближчого місяця в місті знову з'явиться питна вода». Олександр Сенкевич – про життя та виживання прифронтового міста, реалії комунгоспу й участь у відбудові міжнародних партнерів України. *Mind*. Відновлено з <https://mind.ua/publications/20260006-miskij-golova-mikolaeva-najblizhchogo-misyasya-v-misti-znovu-zyavitsya-pitna-voda>.
- [2] Денькович, Я. (2023). Миколаїв отримає питну воду – уряд виділив 120 млн гривень. ТСН. Відновлено з <https://tsn.ua/ukrayina/mikolayiv-otrimaye-pitnu-vodu-uryad-vidiliv-120-mln-griven-2344612.html>.
- [3] МКП Херсонський водоканал. (2023). Якість питної води. Відновлено з <https://water.kherson.ua/pidgotovka-pitnoyi-vody/>.
- [4] Суспільне. (2023) Якість питної води у Херсоні. Що говорять містяни та відповідні служби. Відновлено з <https://suspilne.media/526591-akist-pitnoi-vodi-u-hersoni-so-govorot-mistany-ta-vidpovidni-sluzbi/>.
- [5] Адміністрація морських портів України. (2022). Пояснювальна записка ДП АМПУ до ФП 2022. Відновлено з <https://mtu.gov.ua/files/Пояснювальна%20записка%20ДП%20АМПУ%20до%20ФП%202022%20частина%202.pdf>
- [6] Cantor, A., Owen, D., Harter, D., Nylen, G., Kiparsky, M. (2018). *Navigating groundwater-surface water interactions under the Sustainable Groundwater Management Act*. Berkeley: University of California. Retrieved from https://www.law.berkeley.edu/wp-content/uploads/2018/03/Navigating_GW-SW_Interactions_under_SGMA.pdf.

- [7] Nirajan, D., Sergio, G. S., Jamal, H., Almotasembellah, A., Hassan, S., Jan, C. S., Maria, D. K. (2022) Is Desalination a Solution to Freshwater Scarcity in Developing Countries? *Membranes*. № 12. P. 381. doi: 10.3390/membranes12040381
- [8] Безродний, М.К., Притула, Н.О., Голяд, М.Н. (2020). Стратегічні напрямки розвитку водопостачання в Україні. *Водопостачання і водовідведення*. № 2. С. 11–15.
- [9] Loeb, S., Hofmann, R., Kim, J.H. (2016). Beyond the Pipeline: Assessing the Efficiency Limits of Advanced Technologies for Solar Water Disinfection. Retrieved from <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.estlett.6b00023>.
- [10] Treacy, J. (2019). *Drinking Water Treatment and Challenges in Developing Countries*. Intech Open doi: 10.5772/intechopen.80780
- [11] Wilf, M., Awerbuch L. (2007). *The Guidebook to Membrane Desalination Technology: Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems, Process, Design, Applications, and Economics*. MA, USA: Hopkinton
- [12] Wilf, M., Awerbuch, L., Pearce, G., Bartels, C., Mickley, M., Voutchkov, N. (2006). *Membrane Desalination Technology: Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems Process, Design and Applications*. Library of Congress Card Number 2006. Retrieved from <http://www.desline.com/WilfBookIcomplete.pdf>.
- [13] Середа, В.В., Соломаха А.С., Притула, Н.О., Заболотний, О.А. (2021). Модель термічної опріснювальної установки з циклом зволоження-осушення повітря. *Наукові вісті КПП*. № 4. С. 69–76.
- [14] Середа, В.В., Соломаха А.С., Притула, Н.О., Швець, Н.О. (2022). Термодинамічний аналіз систем термічного знесолення води з закритим та відкритим повітряним циклом. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 33 (72). № 6. С. 146–152.
- [15] Кузнецова, С.А. (2015). Схеми знесолення води при використанні теплоти газопарової суміші перед контактним конденсатором. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. № 2 (458). С. 57–63.
- [16] Ісаков, Б.В., Мовчан, С.М., Расошанский В.С., Бочкарев, Ю.В., Шевцов, А.П., Кузнецова, С.А., Коломєєв, В.М., Избаш, В.І., Ксензюк, М.В. (2005). Контактний конденсатор установки ГПУ-16К. *Нафтова і газова промисловість, Науково-виробничий журнал*. № 5. С. 53–55.
- [17] Коломєєв, В.М., Ксензюк, М.В., Романов, В.В., Мовчан, С.М., Шевцов, А.П., Кузнецова, С.А., Дикий, М.О. (2006). ГПУ-16К: дослідно-промислова експлуатація, міжвідомчі приймальні випробування, перспективи використання. *Нафтова і газова промисловість, Науково-виробничий журнал*. № 4. С. 38–40.
- [18] МЕТА. (2022). Погода в Одесі. Відновлено з <https://pogoda.meta.ua/ua/Odeska/Odeskiy/Odesa/archive/>.
- [19] Чорне море (2023). Відновлено з https://uk.wikipedia.org/wiki/Чорне_море.

© Кузнецова С. А.

Дата надходження статті до редакції: 04.06.2023

Дата затвердження статті до друку: 27.06.2023