

Герасимов Є. Г., к.т.н., доцент, Рокочинський А. М., д.т.н., професор, Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІДПОВІДНО ДО СУЧАСНИХ УМОВ ТА ВИМОГ

В роботі розглянуто основні питання ресурсної та енергетичної ефективності експлуатації існуючих закритих зрошувальних систем. Наявний стан та сучасні зміни щодо умов та вимог функціонування визначають надзвичайну актуальність вирішення проблеми підвищення енергетичної та загальної ефективності діючих ЗЗС. Виконано системний аналіз факторів впливу, причин та напрямів щодо підвищення енергетичної та загальної ефективності функціонування закритих зрошувальних систем. Виокремлено закриту зрошувальну мережу як технічну підсистему, що призначена для забору, транспортування води від джерела зрошення до зрошувальної площі, яка є підсистемою із найбільшим енергоспоживанням в зрошувальній системі. Обґрунтовано комплекс різнорідних взаємопов'язаних ресурсощадних заходів та засобів, направлених на зменшення витрати та непродуктивних втрат зрошувальної води, а також зниження напірності та втрат напору в ЗЗМ-ЗЗС. До складу комплексу запропоновано наступні технічні, технологічні та управлінські рішення із підвищення енергетичної та ресурсної ефективності експлуатації ЗЗМ та підвищення енергоефективності ЗЗС в цілому: удосконалення конструкції водозабірної споруди та всмоктувальної лінії насосної станції, встановлення засобів автоматизації насосної станції, удосконалення елементів напірної трубопровідної мережі, удосконалення конструкцій пристроїв запобігання гідравлічного удару, впровадження схем комплексної автоматизації ЗЗМ, забезпеченням захисту ЗЗМ від гідравлічного удару. Підвищення енергетичної ефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗЗС шляхом мінімізації непродуктивного використання насамперед водних та енергетичних ресурсів може також бути одним із адаптивних заходів у змінних кліматичних умовах.

Ключові слова: підвищення; закрыта зрошувальна система; енергетична ефективність; загальна ефективність; сучасні вимоги та умови; комплекс.

Актуальність напрямку дослідження. Нині в світі зрошується 311 млн га земель, що складає 16% усіх сільськогосподарських площ, при цьому забезпечується виробництво 44% усієї сільськогосподарської продукції [6]. Для потреб зрошувального землеробства використовується 252 млрд м³ поверхневих і ґрунтових вод, що становить 6,5% усіх відновлювальних світових ресурсів прісної води. Останні 100 років використання води для сільськогосподарського виробництва постійно зростає. За даними ФАО прогнозується зростання об'ємів води на 6% для потреб сільського господарства до 2050 року [6].

Генеральна Асамблея ООН проголосила 2014–2024 рр. Десятиріччям стійкої енергетики. Однією із цілей є подвоєння до 2030 року глобального показника енергетичної ефективності [7; 10]. За рекомендаціями ООН однією із передумов заохочення інвестування в енергетичну ефективність для пом'якшення змін клімату та сталого розвитку є проведення енергоаудиту і перехід до раціонального використання енергії.

У 2017 році в Україні фактично поливалося менше 500 тис. гектарів, що становить менше ніж 20 відсотків наявних площ зрошення – 2178,3 тис. гектарів [1]. В прийнятій Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року питання енергоефективності є визначальними для прийняття напрямку модернізації існуючих зрошувальних систем [1].

Більшість закритих зрошувальних систем (ЗЗС) були збудовані в другій половині минулого століття та показники ефективності цих систем з часом погіршилися. В основу прийняття проєктних рішень при будівництві ЗЗС були покладені характерні для того часу риси: наявність колективних господарств та сільськогосподарської сівозміни на зрошуваній площі, низька вартість електричної енергії, відсутність плати за природні ресурси.

Нині для існуючих ЗЗС характерні наступні зміни умов функціонування: запроваджено плату за воду; зростання вартості енергетичних ресурсів; перехід від сівозміни до вирощування монокультури; низький рівень сільськогосподарського виробництва та використання зрошуваних земель; зношеність ЗЗМ, внаслідок чого непродуктивні втрати сягнули 40%.

Тому для забезпечення розвитку аграрного сектору економіки України необхідно відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу зрошувального землеробства, що неможливе без підвищення за-

гальної технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності функціонування існуючих ЗЗС. Внаслідок кліматичних змін існуючі екологічні проблеми лише ускладнюються та вимагають узгодження економічних та екологічних цілей, при яких досягається найбільший сукупний еколого-економічний ефект [3].

Таким чином, наявний стан та сучасні зміни щодо умов та вимог функціонування, визначають надзвичайну актуальність вирішення проблеми підвищення енергетичної та загальної ефективності діючих ЗЗС.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Питаннями підвищення насамперед енергетичної ефективності ЗЗМ ЗЗС займалось багато вітчизняних та зарубіжних науковців (Clark W. Gellings, Rodriguez, J.A., Moreno, M.A., José M. [12–16], Ромашенко М.І., Попов В.М., Грінь Ю.І., Шевченко А.М., Коваленко П.І., Хоружий П.Д., Подласов О.В., Гурін В.А. та ін.). Проте ці рішення традиційно розроблялись на основі гідравлічних, гідромеханічних, технічних, статистичних та інших методів, а розробки були спрямовані на удосконалення окремих технічних рішень та конструктивних параметрів насосної станції і трубопровідної мережі, які не відповідають сучасним економічним та екологічним вимогам.

Саме тому існуючі методи розрахунку ЗЗМ потребують зміни та переходу до системного підходу із визначення енергоефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗЗС в цілому. Методологія розгляду ЗЗС та ЗЗМ поступово змінювалась. На першому етапі ЗЗМ розглядалась як складна природно-технічна система, з часом виникла необхідність врахування екологічної складової оцінки прийнятих проектних рішень та ЗЗС почали розглядати як складну природно-технічну еколого-економічну систему. Саме застосування цієї методики дозволяє об'єднувати різноманітні параметри системи, такі як вода, енергія. Сьогодні потрібне удосконалення існуючих методик та введення ресурсної оцінки ефективності ЗЗС.

Розв'язання таких складних міждисциплінарних, багатофункціональних і багатопараметричних проблем можливе тільки завдяки зміні методології створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, в тому числі і ЗС України, що визначаються зміною умов, відповідно зміною вимог до їх створення й функціонування на основі оцінювання їх загальної ефективності з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог.

Нові методологічні підходи до створення та функціонування ЗЗС, удосконалення технологій зрошення, типів, конструкції і параметрів ЗЗС та її технічних елементів, що адаптовані до цих змін [2], повинні базуватись не лише на оцінці прийнятих технічних рішень, але й враховувати реальні умови існування об'єкта, рівень та напруги сільськогосподарського виробництва, кількість витрачених ресурсів (води та енергії) для забезпечення сільськогосподарського виробництва. Складність такої методології полягає у необхідності врахування різних за своєю природою ресурсів – води та електричної енергії, які своєю чергою є взаємозв'язаними та взаємовизначальними параметрами.

На підставі та в розвиток існуючих положень, згідно з [5; 9; 17–21], системна методологія може бути адаптована до умов зрошення. Тоді за наявними характерними ознаками ЗЗС може бути віднесена до складних природно-технічних еколого-економічних систем, в яких має місце структурний зв'язок виду *ефект* \leftrightarrow *режим* \leftrightarrow *технологія* \leftrightarrow *конструкція*.

В такій системі можна виділити ЗЗМ як технічну підсистему, яка складається із сукупності ієрархічно та гідравлічно зв'язаних технічно різнорідних елементів, до складу яких входять: водозабірні споруди, насосна станція, магістральна та розподільча трубопровідна мережа, дощувальна техніка, що дооснащені засобами автоматизації та запірно-регулюючою арматурою (рис. 1).

Головним функціональним призначенням ЗЗМ є забір води з джерела зрошення, транспортування та розподіл по полях зрошення. Тому ЗЗМ визначально впливає на рівень технічної, технологічної, екологічної та економічної ефективності роботи ЗЗС.

При цьому рух потоку води в елементах ЗЗМ, зумовлений взаємодією пропускної здатності та напору в мережі, забезпечується необхідною потужністю насосної станції та відповідною кількістю затраченої на це електроенергії, що визначає значну енергозатратність даного процесу.

Структурна схема ЗЗМ формалізує питання щодо ієрархічної підпорядкованості її елементів та впливу засобів автоматизації, а також засобів запобігання виникнення гідравлічного удару на всі елементи мережі.

Таким чином, підвищення енергетичної та ресурсної ефективності ЗЗС може бути реалізовано через відповідне підвищення ефективності її технічної підсистеми ЗЗМ шляхом мінімізації витрат та не-

продуктивних втрат води, а також зменшення напірності та втрат на-
порю, відповідно зменшення витрат електричної енергії.

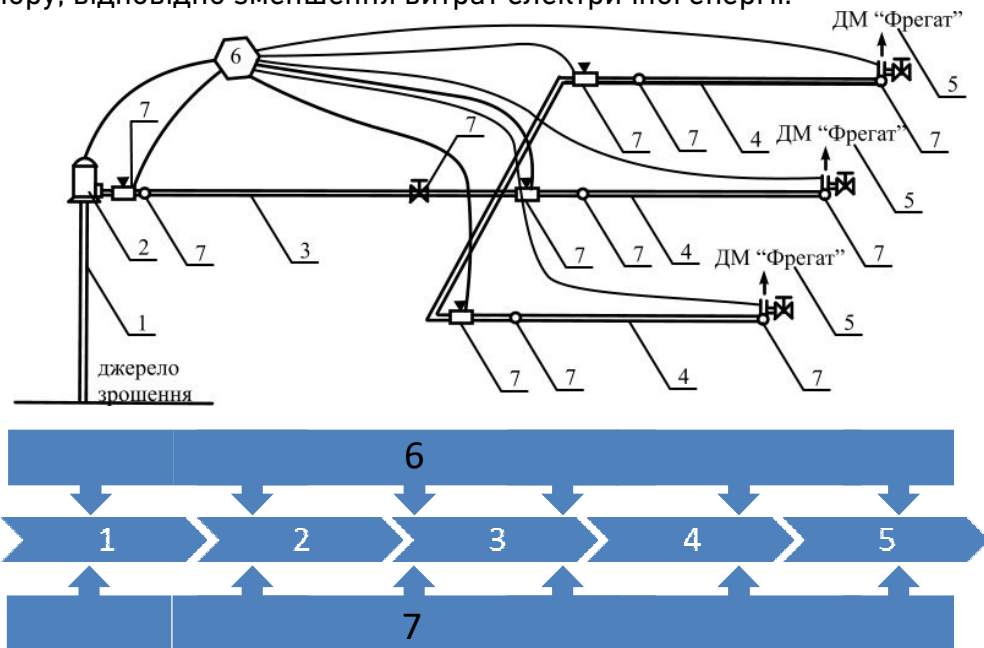


Рис. 1. Технічна (а) та структурна (б) схема закритої зрошувальної мережі
1 – водозабір; 2 – насосна станція; 3 – напірний магістральний трубопровід;
4 – напірна розподільча ЗЗМ; 5 – дощувальна техніка;
6 – засоби автоматизації; 7 – регулююча та запобіжна трубопровідна
арматура

Отже, спираючись на оцінку ефективності ЗЗС, існуюча методи-
ка повинна включати оцінку енергетичної та водної ефективності із
врахуванням різнорідних за своїм походженням ресурсів (вода та
електрична енергія). Для врахування таких параметрів, які є визна-
чальними для підвищення ефективності роботи ЗС в цілому, доцільно
удосконалити існуючі методи та моделі розрахунку технічних і те-
хнологічних параметрів та прийняття управлінських рішень щодо
реалізації зрошення.

Таким чином, на основі застосування системної методології
шляхом аналізу причин зниження та напрямів підвищення визначено,
що проблема підвищення енергетичної та загальної ефективності
функціонування ЗЗС може бути вирішена шляхом мінімізації насам-
перед непродуктивних втрат зрошувальної води, напорю та електри-
чної енергії в ЗЗМ ЗЗС через підвищення загального рівня їх техні-
чної експлуатації за комплексом технічно різнорідних взаємо-

пов'язаних ресурсоощадних заходів та засобів (рис. 2).

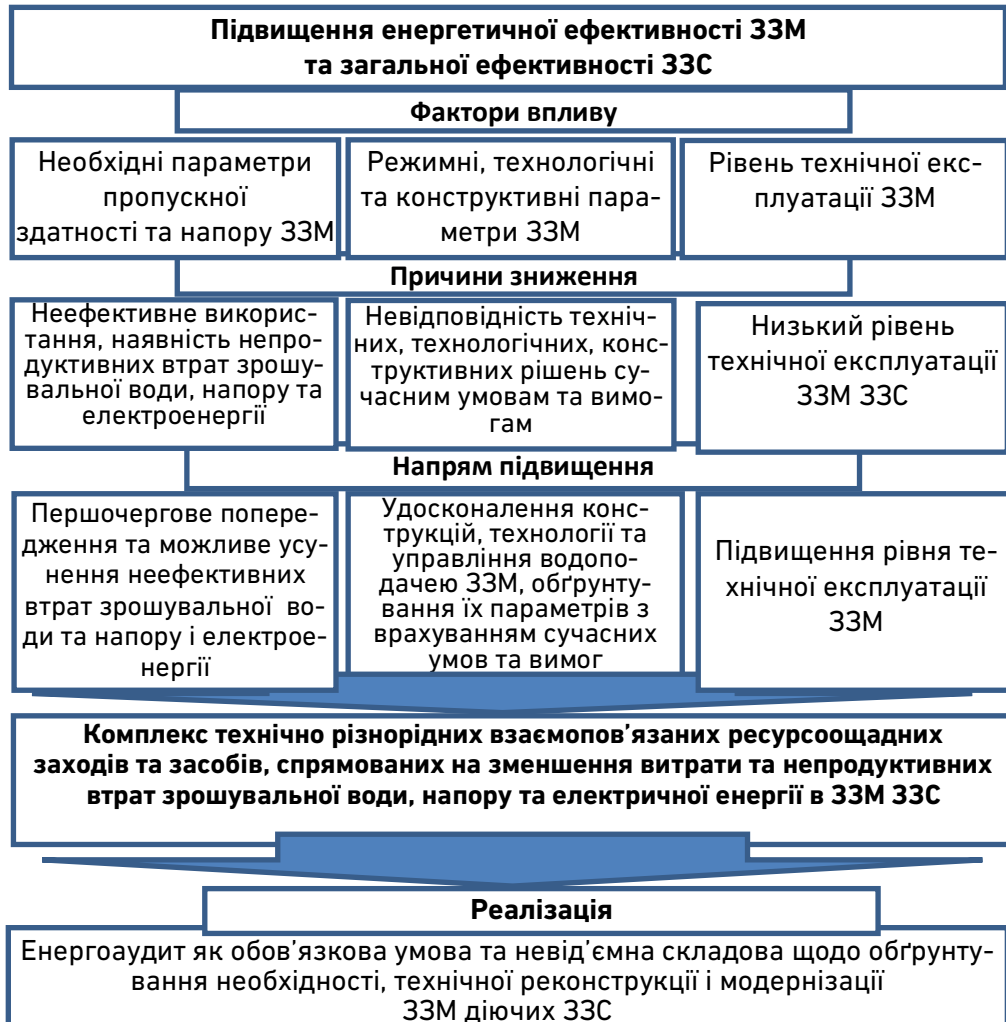


Рис. 2. Структурно-логічна схема підвищення енергетичної ефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗЗС за системною методологією

Реалізація даного підходу забезпечується через технічну реконструкцію і модернізацію ЗЗМ діючих ЗЗС, за обов'язковою умовою здійснення енергоаудиту при їх обґрунтуванні.

Наведена структурно-логічна схема щодо підвищення енергетичної та ресурсної ефективності ЗЗС формалізує причини та передумови необхідності переходу до ресурсної оцінки.

Отже, беручи до уваги зміни, які відбулись в Україні щодо проектування та функціонування ЗЗМ, і проведений аналіз процесів та

явищ, проблема підвищення енергоефективності ЗЗМ ЗЗС може бути вирішена шляхом розробки комплексу технічно різномірних взаємопов'язаних ресурсощадних заходів та засобів, спрямованих на зменшення витрати та непродуктивних втрат зрошувальної води, напору та електричної енергії в ЗЗМ ЗЗС.

Тому метою роботи є вирішення науково-технічної проблеми щодо підвищення енергоефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗЗС шляхом зниження використання водних та енергетичних ресурсів на основі підвищення загальної технічної експлуатації ЗЗМ за допомогою впровадження комплекс технічно різномірних взаємопов'язаних ресурсощадних заходів та засобів, спрямованих на зменшення витрати та непродуктивних втрат зрошувальної води, напору та електричної енергії.

Оскільки витрати електричної енергії взаємопов'язані із напором насосної станції, то мінімізація витрати електричної енергії досягається зниженням розрахункового напору насосної станції та мінімізацією втрат напору у всмоктувальних та напірних трубопроводах системи ЗЗМ.

Виходячи із наведених факторів впливу, причин зниження ресурсної та енергетичної ефективності доцільно визначити комплекс різномірних ресурсозберігаючих заходів і засобів.

Особливістю таких заходів є те, що зважаючи на структурну схему ЗЗМ, взаємозв'язок між її елементами, необхідність комплексності автоматизації ЗЗМ та захисту від гідравлічного удару, до складу комплексу заходів і засобів із підвищення енергетичної та ресурсної ефективності можна визначити наступні технічні, технологічні та управлінські рішення із підвищення енергетичної та ресурсної ефективності експлуатації ЗЗМ та підвищення енергоефективності ЗЗС в цілому: удосконалення конструкції водозабірної споруди та всмоктувальної лінії насосної станції, встановлення засобів автоматизації насосної станції, удосконалення елементів напірної трубопровідної мережі, удосконалення конструкцій пристроїв запобігання гідравлічного удару, впровадження схем комплексної автоматизації ЗЗМ, забезпечення захисту ЗЗМ від гідравлічного удару.

Таким чином, як показують практика й набутий досвід, наявність непродуктивних втрат води, напору та електричної енергії, визначають необхідність першочергової розробки таких технічних заходів і засобів.

Таблиця

Першочергові технічні заходи та засоби, спрямовані насамперед на зменшення витрат води та електроенергії, попередження та можливе усунення непродуктивних втрат води та електроенергії в ЗЗМ ЗЗС

№ з/п	Назва заходу або засобу	Очікувані результати
1.	Оптимізація параметрів водозабору насосної станції	Зменшення вартості будівництва водозабору. Можливе впровадження на етапі проектування або докорінної реконструкції системи. Оптимізація водозабору повинна враховувати зміни рівнів та запаси води джерела водозабору внаслідок кліматичних змін
2.	Удосконалення всмоктувальної лінії насосної станції	Впровадження нової конструкції фільтрів у всмоктувальному трубопроводі зменшує втрати напору у всмоктувальній лінії, витрати на обслуговування та збільшує термін експлуатації
3.	Удосконалення насосної станції	Автоматизація насосної станції; дообладнання насосної станції тиристорними перетворювачами частоти обертання насосних агрегатів; обґрунтування та розрахунок нових енергозберігаючих режимів роботи насосної станції. Наведені рішення дозволяють підтримувати зменшений напір насосної станції, внаслідок чого зменшується витрата електричної енергії. Також зменшуються втрати води при дозаповненні мережі, впроваджуються безударні режими роботи насосної станції
4.	Прийняття раціонального діаметру магістрального напірного трубопроводу та обґрунтування конфігурації мережі	Може бути впроваджене на етапі проектування або реконструкції зрошувальної мережі. Внаслідок впровадження знижуються гідравлічні втрати і відповідно зменшується розрахунковий напір насосної станції, що дозволяє зменшити споживання енергії
5.	Застосування нових конструкцій запобігання гідравлічному удару в напірних трубопроводах ЗЗМ	Внаслідок дообладнання системи додатковими засобами протиударного захисту зменшуються втрати води в разі пошкодження трубопроводів, підвищується надійність системи водоподачі, зменшуються витрати електроенергії

Крім запропонованого переліку технічних, технологічних та управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності ЗЗМ та ЗЗС в цілому, слід враховувати можливі рішення, обумовлені підвищенням ефективності сільськогосподарського виробництва, а саме: впровадження нових більш ефективних сільськогосподарських куль-

тур із зменшеним водоспоживанням, що дозволить зменшити використання води; заміна існуючої дощувальної техніки на сучасну, що дозволяє передусім зменшити розрахунковий напір насосної станції; розробка умов управління ЗЗМ на основі результатів застосування комплексу прогнозно-імітаційних моделей. На основі комплексу прогнозно-імітаційних моделей можуть бути визначені науково обґрунтовані або раціональні рівні використання водних та енергетичних ресурсів.

Зважаючи на те що ЗЗМ є найбільш енергоємною підсистемою ЗЗС, першочерговими повинні бути рішення щодо технічного, технологічного та управлінського удосконалення ЗЗМ, що дозволяє отримати максимальний ефект із збільшення водної та енергетичної ефективності, яка досягається за рахунок зменшення непродуктивних втрат води та втрат напору. Остаточний перелік залежить від конструкції системи та умов її роботи.

Більшість заходів та засобів із підвищення енергоефективності мають комплексний характер впливу на процеси. Завдяки використанню низьконапірної дощувальної техніки насамперед зменшується напір насосної станції та споживання електричної енергії, проте внаслідок цього відбувається зменшення непродуктивних втрат води через зменшення кількості поривів трубопроводів внаслідок динамічних процесів, які виникають при переключенні насосно-силового обладнання, раптовій зупинці або пуску насосів. Заходи з підвищення енергоефективності повинні бути комплексними, оскільки в цьому випадку насосна станція повинна бути обладнана тиристорними перетворювачами частоти обертання електродвигуна насоса, що дозволяє зменшити споживання енергоресурсів.

Таким чином, на зрошувальних системах залежно від результатів енергоаудиту [1] та прийняття рішення щодо будівництва (реконструкції) або удосконалення експлуатації системи водоподачі, доцільно запроваджувати ресурсний підхід щодо енергетичної ефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗС в цілому та визначити ті заходи, які дадуть найбільший результат.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Наявний стан та сучасні зміни щодо умов та вимог функціонування, визначають надзвичайну актуальність вирішення проблеми підвищення енергетичної та загальної ефективності діючих ЗЗС.

На основі застосування системної методології визначено, що проблема підвищення енергетичної та загальної ефективності функціонування ЗЗС вирішується шляхом мінімізації насамперед непродуктивних втрат зрошувальної води, напору та електричної енергії в ЗЗМ ЗЗС, через підвищення загального рівня їхньої технічної експлуатації за комплексом технічно різномірних взаємопов'язаних ресурсощадних заходів та засобів.

Показано, що реалізація даного підходу забезпечується через технічну реконструкцію і модернізацію ЗЗМ діючих ЗЗС, за обов'язковою умовою здійснення енергоаудиту при їх обґрунтуванні.

Обґрунтовано необхідність першочергової розробки складу комплексу технічних заходів та засобів, що ґрунтується на удосконаленні конструкції, технології та управління водоподачею ЗЗМ, обґрунтуванні їх параметрів з врахуванням сучасних вимог, які спрямовані насамперед на попередження та можливе усунення неефективних втрат зрошувальної води, напору та електроенергії.

Комплекс повинен охоплювати усі елементи системи ЗЗМ як технічної підсистеми ЗЗС: водозабір, насосну станцію, магістральний трубопровід та розподільчу мережу, дообладнання НС та ЗЗМ засобами автоматизації та протиударного захисту.

Підвищення енергетичної та загальної ефективності функціонування ЗЗС шляхом мінімізації неефективного використання насамперед водних та енергетичних ресурсів може також бути одним із ефективних адаптивних заходів реалізації зрошення у змінних кліматичних умовах.

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : затв. розпорядженням КМУ від 14 серпня 2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.07.2020). 2. Гринь Ю. І., Вельбік А. Г. Аналіз енергоефективності сучасних багатоопорних дощувальних машин. *Меліорація і водне господарство*. 2013. Вип. 100. С. 198–212. 3. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. М. : Изд-во «Аслан», 1995. 192 с. 4. Герасимов Є. Г., Герасимов Г. Г., Іванов С. Ю. Динамічні процеси в трубопровідних системах : монографія. Рівне : НУВГП, 2020. 597 с. 5. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. акад. УААН М. І. Ромащенко. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с. 6. ГЕВР, 2015 р. Водні ресурси і забезпечення продовольчої безпеки і харчування. Доповідь Групи експертів високого рівня з питань продовольчої безпеки та харчування Комітету з всесвітньої продовольчої безпеки Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, Рим, 2015. 7. Політика підвищення енергоефективності: передовий досвід. Аналіз існуючих оптимальних підходів до підвищення енергоефективності з метою пом'якшення зміни клімату та сталого розвитку. Женева, 2015, Видання ООН. 85 с. ISBN 978-92-1-362846-1. URL: https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/geee/pub/ECE_ENERGY_100_Rev.1_R.pdf (дата звернення: 15.07.2020). 8. Lankford, B., Localising irrigation efficiency. *Irrigation and Drainage*, 2006. 55: 345–362. URL: <https://doi.org/10.1002/ird.270> (дата звернення: 15.07.2020). 9. Турченко В. О., Фроленкова Н. А., Рокочинський А. М. Системна оптимізація режимних, технологічних та конструктивних параметрів рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник Житомирського національного агро-екологічного університету* : журнал. 2017. Вип. 1 (1). С. 302–313. 10. Попов В. М., Таргоній М. М. Математична модель автоматизованого управління водо-

подачею на зрошувальній системі. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2019. Вип. 3(87). С. 28–38. **11.** ВНД 33–3.3–04–2001. Рекомендації по зменшенню питомих витрат електроенергії в комплексі «насосна станція – зрошувальна мережа – дощувальна машина». Державний комітет по водному господарству України. Київ, 2001. 56 с. **12.** Clark W. Gellings. Energy efficiency in pumping and irrigation systems. *Efficient use and conservation of energy*. USA, Electric Power Research Institute (EPRI). Vol. II. 6 p. URL: <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C08/E3-18-04-01.pdf> (дата звернення: 15.07.2020). **13.** Rodriguez, J. A., López, R., Carrillo, M. T., Montesinos, P., Camacho, E. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosyst. Eng.* 2009. 104, 552–561. **14.** Greaves, G. E., Wang, Y. Identifying Irrigation Strategies for improved Agricultural water productivity in Irrigation Maize Production through Crop simulation Modelling. *Sustainability*. 2017. 9. 630. **15.** Moreno, M. A., Córcoles, J., Tarjuelo, J. M., Ortega, J. F. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosyst. Eng.* 2010. 107. 349–363. **16.** José M. Tarjuelo, Juan A. Rodriguez-Diaz, Ricardo Abadía, Emilio Camacho, Carmen Rocamora, Miguel A. Moreno, Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 162. P. 67–77. ISSN 0378-3774. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.009> (дата звернення: 15.07.2020). **17.** Rokochinskiy, A., Jeznach, J., Volk, P., Turcheniuk, V., Frolenkova, N. & Koptiuk, R. (2019). Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. Vol. 28. Issue 3(85). Pp. 432–443. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.3.40 URL: http://iks_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html (дата звернення: 15.07.2020). **18.** Рис Придунав'я : колективна монографія / за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, П. І. Мендуся, В. О. Турченко. Херсон : Гринь Д.С., 2016. 620 с. **19.** Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / за заг. ред. Сташука В. А., Вожегової Р. А., Дудченка В. В., Рокочинського А. М., Морозова В. В.). Вид. 2-ге, перероб. та доповн. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2020. 203 с.

REFERENCES:

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku : zatv. rozporiadzhenniam KMU vid 14 serpnia 2019 r. № 688-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (data zvernennia: 15.07.2020). **2.** Hryn Yu. I., Velbik A. H. Analiz enerhoefektyvnosti suchasnykh bahatopornykh doshchivalnykh mashyn. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. 2013. Vyp. 100. S. 198–212. **3.** Reks L. M. Sistemnye issledovaniya meliorativnykh protsessov i sistem. M. : Izd-vo «Aslan», 1995. 192 s. **4.** Herasimov Ye. H., Herasymov H. H., Ivanov S. Yu. Dynamichni protsesy v truboprovodnykh systemakh : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2020. 597 s. **5.** Rokochynskiy A. M. Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodorehulivannia osushuvanykh zemel na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh : monohrafiia / za red. akad. UAAN M. I. Romashchenka. Rivne : NUVHP, 2010.

351 s. **6.** HEVR, 2015 r. Vodni resursy i zabezpechennia prodovolchoi bezpeky i kharchuvannia. Dopovid Hrupy ekspertiv vysokoho rivnia z pytan prodovolchoi bezpeky ta kharchuvannia Komitetu z vsesvitnoi prodovolchoi bezpeky Prodovolchoi ta silskohospodarskoi orhanizatsii OON, Rym, 2015. **7.** Polityka pidvyshchennia enerhoefektyvnosti: peredovyi dosvid. Analiz isnuichykh optymalykh pidkhodiv do pidvyshchennia enerhoefektyvnosti z metoiu pomiakshennia zminy klimatu ta staloho rozvytku. Zheneva, 2015, Vydannia OON. 85 s. ISBN 978-92-1-362846-1. URL: https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/geee/pub/ECE_ENERGY_100_Rev.1_R.pdf (data zvernennia: 15.07.2020). **8.** Lankford, B., Localising irrigation efficiency. *Irrigation and Drainage*, 2006. 55: 345–362. URL: <https://doi.org/10.1002/ird.270> (data zvernennia: 15.07.2020). **9.** Turcheniuk V. O., Frolenkova N. A., Rokochynskiy A. M. Systemna optymizatsiia rezhymnykh, tekhnolohichnykh ta konstruktyvnykh parametriv rysovykh zroshuvalnykh system na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu* : zhurnal. 2017. Vyp. 1 (1). S. 302–313. **10.** Popov V. M., Tarhonii M. M. Matematychna model avtomatyzovanoho upravlinniam vodopodacheiu na zroshuvalnii systemi. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2019. Vyp.3(87). S. 28–38. **11.** VND 33–3.3–04–2001. Rekomendatsii po zmeshenniu pytomykh vytrat elektroenerhii v kompleksi «nasosna stantsiia – zroshuvalna merezha – doshchuvalna mashyna». Derzhavnyi komitet po vodnomu hospodarstvu Ukrainy. Kyiv, 2001. 56 s. **12.** Clark W. Gellings. Energy efficiency in pumping and irrigation systems. *Efficient use and conservation of energy*. USA, Electric Power Research Institute (EPRI). Vol. II. 6 p. URL: <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C08/E3-18-04-01.pdf> (data zvernennia: 15.07.2020). **13.** Rodriguez, J. A., López, R., Carrillo, M. T., Montesinos, P., Camacho, E. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosyst. Eng.* 2009. 104, 552–561. **14.** Greaves, G. E., Wang, Y. Identifying Irrigation Strategies for improved Agricultural water productivity in Irrigation Maize Production through Crop simulation Modelling. *Sustainability*. 2017. 9. 630. **15.** Moreno, M. A., Córcoles, J., Tarjuelo, J. M., Ortega, J. F. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosyst. Eng.* 2010. 107. 349–363. **16.** José M. Tarjuelo, Juan A. Rodríguez-Díaz, Ricardo Abadía, Emilio Camacho, Carmen Rocamora, Miguel A. Moreno, Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. *Agricultural Water Management*. 2015. Vol. 162. P. 67–77. ISSN 0378-3774. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.009> (data zvernennia: 15.07.2020). **17.** Rokochinskiy, A., Jeznach, J., Volk, P., Turcheniuk, V., Frolenkova, N. & Koptiuk, R. (2019). Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. Vol. 28. Issue 3(85). Pp. 432–443. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.3.40 URL: http://iks_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html (data zvernennia: 15.07.2020). **18.** Rys Prydunavia : kolektyvna monohrafiia / za red. V. A. Stashuka, A. M. Rokochynskoho, P. I. Mendusia, V. O. Turcheniuka. Kherson : Hrin D.S., 2016. 620 s. **19.** Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system Ukrainy : nauково-методичні рекомендації

/ za zah. red. Stashuka V. A., Vozhehovoi R. A., Dudchenka V. V., Rokochyskoho A. M., Morozova V. V.). Vyd. 2-he, pererob. ta dopovn. Kyiv-Kherson-Rivne : NUVHP, 2020. 203 s.

Gerasimov I. G., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Rokochynskyi A. M., Doctor of Engineering, Professor, Herasymov H. H., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

INCREASING ENERGY AND OVERALL EFFICIENCY OF CLOSED IRRIGATION SYSTEM IN ACCORDANCE WITH MODERN CONDITIONS AND REQUIREMENTS

The main issues of resource and energy efficiency of operation of existing closed irrigation systems are considered in the work. The current state and current changes in the conditions and requirements of operation, determine the extreme urgency of solving the problem of improving the energy and overall efficiency of existing irrigation systems. A systematic analysis of the factors of influence, causes and directions for improving the energy and overall efficiency of closed irrigation systems. The closed irrigation network as a technical subsystem designed for supplying, transportation of water from the irrigation source to the irrigation area, which is the subsystem with the highest energy consumption in the irrigation system. The complex of various interconnected resource-saving measures and means aimed at reducing the consumption and unproductive losses of irrigation water, as well as reducing the pressure and pressure losses in the closed irrigation network is substantiated. The complex offers the following technical, technological and managerial solutions to increase energy and resource efficiency of closed irrigation network operation and increase energy efficiency of close irriigation systems in general: improvement of water intake structure and suction line of pumping stations, installation of pumping station automation, improvement of pressure pipeline network elements. devices for prevention of hydraulic shock, introduction of schemes of complex automation of closed irrigation networks, providing protection of close irrigation network against water hammer. Improving the energy efficiency of close irrigation network and the overall efficiency of close irrigation systems by minimizing the unproductive use of primarily water and energy resources can also be one of the adaptive measures in changing climatic conditions.

Keywords: increase; closed irrigation system; energy efficiency; general efficiency; modern requirements and conditions; complex.

Герасимов Е. Г., к.т.н., доцент, Рокочинский А. Н., д.т.н., профессор, Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В СООТВЕТСТВИИ С СОВРЕМЕННЫМИ УСЛОВИЯМИ И ТРЕБОВАНИЯМИ

В работе рассмотрены основные вопросы ресурсной и энергетической эффективности эксплуатации существующих закрытых оросительных систем. Существующее положение и современные изменения относительно условий и требований функционирования, определяют чрезвычайную актуальность решения проблемы повышения энергетической и общей эффективности действующих закрытых оросительных систем. Выполнен системный анализ факторов влияния, причин и направлений повышения энергетической и общей эффективности функционирования закрытых оросительных систем. Выделена закрытая оросительная сеть как техническая подсистема, которая предназначена для забора, транспортировки воды от источника орошения к оросительной площади, и является подсистемой с наибольшим энергопотреблением в оросительной системе. Обоснован комплекс разнородных взаимосвязанных ресурсосберегающих мероприятий и средств, направленных на уменьшение расхода и непроизводительных потерь оросительной воды, а также снижение напорности и потерь напора в закрытой оросительной сети закрытой оросительной системы. В состав комплекса предложены следующие технические, технологические и управленческие решения повышения энергетической и ресурсной эффективности эксплуатации закрытой оросительной сети и повышения энергоэффективности закрытой оросительной системы в целом: усовершенствование конструкции водозаборного сооружения и всасывающей линии насосной станции, установки средств автоматизации насосной станции, совершенствование элементов напорной трубопроводной сети, совершенствование конструкций устройств предотвращения гидравлического удара, внедрение схем комплексной автоматизации ЗОС, обеспечение защиты ЗОС от гидравлического удара. Повышение энергетической эффективности ЗОС и общей эффективности ЗОС путем минимизации непродуктивного использования прежде всего водных и энергетических ресурсов может также быть одним из адаптивных мероприятий в переменных климатических условиях.

Ключевые слова: повышение; закрытая оросительная система; энергетическая эффективность; общая эффективность; современные требования и условия; комплекс.