

**Герасімов Є. Г., к.т.н., доцент, Рокочинський А. М., д.т.н., професор, Коптюк Р. М., к.т.н., доцент, Приходько Н. В., к.т.н., Волк П. П., к.т.н., доцент, Фроленкова Н. А., к.е.н., доцент** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, e.g.gerasimov@nuwm.edu.ua)

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСУ РЕСУРСОЕКОНОМНИХ ЗАХОДІВ**

**Обґрунтовано необхідність підвищення енергоефективності закритої зрошувальної мережі як важливої складової підвищення загальної ефективності функціонування зрошувальної системи в цілому. Запропоновано комплекс організаційно-технологічних та технічних заходів щодо модернізації і реконструкції зрошувальної системи. На прикладі реального сільськогосподарського підприємства виконано прогнозно-оптимізаційні розрахунки з визначення загальної технологічної (ресурсної), економічної, екологічної та інвестиційної ефективності запропонованого комплексу заходів за основними варіантами функціонування об'єкта до та після реконструкції системи, в тому числі з урахуванням можливої зміни напрямку, змісту та рівня господарської діяльності землекористувача.**

**Ключові слова:** підвищення енергоефективності; закрыта зрошувальна мережа; загальна ефективність; зрошувальна система; комплекс ресурсоекономних заходів.

**Вступ.** Переважна частина території України розташована в зоні, яка характеризується недостатнім рівнем природного зволоження. За період з 1990 по 2010 рр. сумарна площа посушливої та дуже посушливої зони, де стале ведення землеробства є неможливим без проведення зрошення, збільшилася на 8 млн га. При цьому останнім часом фактично поливалося менше 500 тис. га, що становить менше 20% від наявних площ сільськогосподарських угідь.

На діючих зрошувальних системах України працює понад 700 насосних станцій (НС), якими для забезпечення процесу перекачування води, споживається близько 500 млн кВт·год. електроенергії на рік. Так, лише на внутрішньогосподарській закритій зрошувальній мережі (ЗЗМ) Каховської зрошувальної системи працює близько

220 НС, які щорічно перекачують від 800 до 1040 млн м<sup>3</sup> води і споживають від 280 до 360 млн кВт·год. електроенергії. В умовах довготривалої експлуатації зрошувальних систем суттєво погіршився їхній технічний стан, зросли питомі витрати електроенергії на перекачування води, а широко використовуване ручне управління водоподачею є застарілим та не відповідає сучасним вимогам щодо ефективності ведення зрошеного землеробства.

Наявність як на глобальному, так і регіональному рівнях водної, продовольчої та енергетичної криз, а також їхнє загострення в умовах змін клімату, посилює стратегічну важливість зрошення у якості гаранта сталого розвитку аграрного сектору економіки.

Невід'ємною складовою функціонування закритих зрошувальних систем (ЗЗС), зокрема ЗЗМ як одного з найбільш важливих елементів, є необхідність підвищення їхньої енергоефективності [1]. Традиційно це здійснюється шляхом реалізації організаційно-технічних заходів насамперед для НС, окремих технічних елементів ЗЗМ, а також за результатами проведених їх енергетичних обстежень.

Важливими факторами, що впливають на енергоефективність функціонування ЗЗМ ЗЗС, є зміна проєктних режимів роботи за рахунок збільшення кількості водокористувачів, що в умовах ринкових відносин надають перевагу зерновим культурам, у яких збігаються строки поливу, а також зміна кліматичних умов. Це призводить до збільшення водопотреби вирощуваних сільськогосподарських культур [2] та пов'язаних з цим затрат зрошувальної води й енергоресурсів, що підвищує загальне навантаження на ЗЗС.

Виходячи з таких умов функціонування ЗЗС та наявних їх конструктивних характеристик, має місце зниження їхньої енергоефективності та ефективності використання зрошувальної води, насамперед через значний обсяг непродуктивних її втрат, порушення оптимальних поливних режимів та зниження врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур.

Відповідно до Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 року поставлена мета зменшення енерговитрат на 9% у 2020 році в порівнянні з базовим періодом 2005–2009 рр. [3].

Таким чином, актуальним та важливим завданням на сьогодні є підвищення енергоефективності та загальної ефективності функціонування ЗЗМ ЗЗС з дотриманням сучасних еколого-економічних та ресурсозберігаючих вимог. У зв'язку з цим, було розроблено науково-методичні підходи до оптимізації проєктних рішень при створенні

і функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів, включаючи ЗЗС, за відповідною технічною, технологічною, екологічною та ресурсною оцінкою їх ефективності, обґрунтовано комплекс ресурсоекономних заходів і засобів, направлений на підвищення ефективності використання енергетичних, водних та інших ресурсів при зрошенні ЗЗС у їхньому взаємозв'язку [4].

Вони умовно поділені на дві групи і включають в себе:

1. Організаційно-технологічні заходи:

- зміна напряму та змісту господарської діяльності землекористувачів (впровадження нових високопродуктивних сортів, структури посівів та технологій вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях).

2. Ресурсоекономні заходи та засоби включають в себе технічні рішення:

- зменшення непродуктивного використання зрошувальної води (пориви трубопроводів, поповнення об'єму води в ЗЗМ) шляхом встановлення необхідної запобіжної трубопровідної арматури та обґрунтування енергоефективних режимів роботи ЗЗМ.

- зменшення втрат напору у всмоктувальній лінії НС (обґрунтування ефективних конструкції та параметрів водозабору, удосконалення сміттєзатримувальних пристроїв водозабірної споруди тощо);

- обґрунтування ресурсоекономних режимів роботи системи НС – ЗЗМ – дощувальна машина (ДМ);

- дообладнання НС тиристорними регуляторами частоти обертання насосних агрегатів для забезпечення плавного пуску та зупинки насосно-силового обладнання, зменшення кількості аварій та продовження строку служби обладнання;

- комплексна автоматизація роботи ЗЗМ;

- обґрунтування ефективних конструкції та параметрів магістрального трубопроводу та розподільчої трубопровідної мережі НС для зменшення розрахункового напору НС;

- застосування низьконапірної дощувальної техніки, зокрема кругової дії з автоматизованим доповимом кутів, що збільшує коефіцієнт сільськогосподарського використання земель.

Наведений перелік заходів з підвищення енергоефективності роботи ЗЗМ не є вичерпним, залежить від особливостей її конструкції і може змінюватись або доповнюватись у кожному конкретному випадку.

Наведені заходи лише умовно можна поділити за двома групами, оскільки впровадження деяких з них має результати у обох гру-

пах. Так, наприклад, застосування низьконапірної дощувальної техніки не лише зменшує розрахунковий напір НС, але підвищує надійність роботи існуючої трубопровідної мережі завдяки зменшенню напорів у трубопроводах як при стаціонарній роботі ЗЗМ, так і при динамічних процесах (пусках-зупинках НС, ДМ, утворенні гідравлічного удару тощо).

**Метою роботи** є порівняльне оцінювання енергетичної та загальної ефективності ЗЗМ на основі комплексу ресурсоекономічних заходів для організаційно-технологічного, технічного та ресурсоекономічного удосконалення ЗЗС.

**Методи та матеріали дослідження.** Для визначення загальної технологічної (ресурсної), економічної, екологічної та інвестиційної ефективності запропонованого комплексу заходів були використані в повному обсязі необхідні матеріали щодо відповідних показників та їх параметрів, які характеризують технічний стан, умови функціонування досліджуваного об'єкту до та після проведення його модернізації й реконструкції.

Дане оцінювання виконувалось на основі машинного експерименту, який ґрунтується на використанні комплексу оптимізаційних, економіко-математичних та прогнозно-імітаційних методів і моделей, в тому числі моделі кліматичних умов місцевості, моделі водного режиму та технологій водорегулювання, а також моделі врожайності вирощуваних культур на меліорованих землях, для прогнозування оцінки на довготерміновій основі показників та їх параметрів технологічної (ресурсної), економічної, екологічної й інвестиційної ефективності функціонування об'єкта [5; 6].

Дані моделі, їхнє методичне та інформаційне забезпечення реалізації на ЕОМ розроблені у науково-дослідній лабораторії «Оптимізація та автоматизація управління у водній інженерії та водних технологіях» при кафедрі водної інженерії та водних технологій НУВГП. Їх застосування регламентовано відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [7–10 та ін.].

Об'єктом дослідження є сільськогосподарське підприємство, що розташоване у Петропавлівському районі Дніпропетровської області з площею зрошуваних земель 614,7 га (рис. 1).

Основний фонд ґрунтового покриву тут складають чорноземи звичайні різної глибини гумусового шару та гранулометричного складу від легкосуглинкових до легкоглинистих. Рівень ґрунтових вод у заплавах не перевищує глибину 3–4 м. У водорозділах ґрунтови

води знаходяться на глибині 20–30 м і в ґрунтоутворенні участі не беруть.

Основними напрямками виробничої діяльності сільгоспприємства є вирощування зернових, у тому числі високоякісного продовольчого зерна, технічних і овочевих культур. Згідно виробничих даних, станом на 2017 р. середня врожайність озимої пшениці на об'єкті становила 34,0 ц/га, озимого ячменю – 23,5 ц/га, озимого ріпаку – 24,3 ц/га, ярого ячменю – 18,5 ц/га, кукурудзи – 30,0 ц/га та соняшнику – 17,0 ц/га.

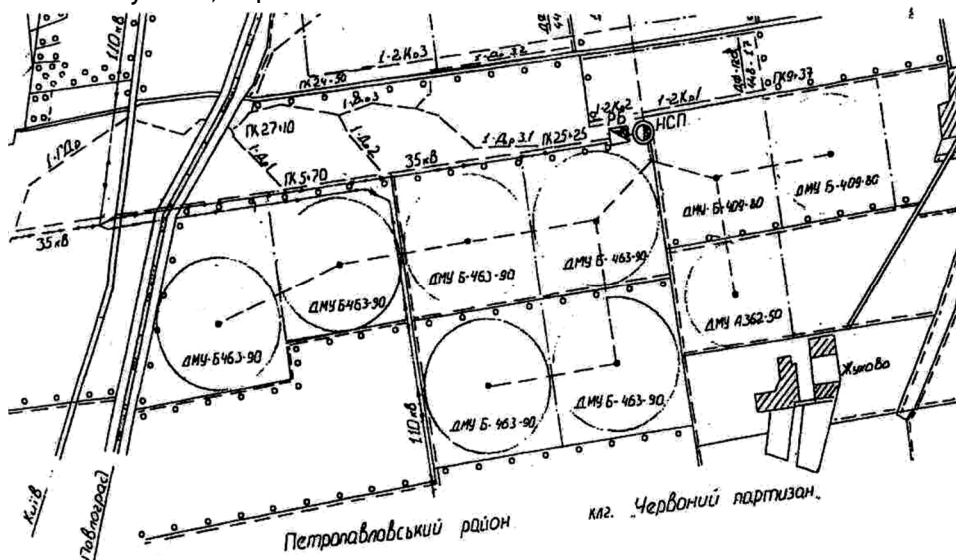


Рис. 1. Схема ділянки зрошувальної системи на землях сільгоспприємства Петропавлівського району Дніпропетровської області

Для подачі води на системі облаштована НС, яка обладнана чотирма насосами ЦН-400-105 з номінальною частотою обертання  $n=1450$  об/хв і діаметром робочого колеса  $D_{рк}=425$  мм. Зрошення вирощуваних сільськогосподарських культур здійснюється дощуванням з використанням дощувальних машин ДМФ «Фрегат».

До впровадження передбачений такий комплекс організаційно-технологічних та технічних заходів і засобів щодо модернізації та реконструкції об'єкта:

- заміна дощувальних машин «Фрегат» серії ДМУ, які підібрані за конфігурацією існуючої розподільчої мережі, модифікацій ДМУ-А362-50, ДМУ-Б409-80 та ДМУ-Б463-90 – до реконструкції системи, на модифікації ДМУ-А<sub>нм</sub>337-30-01, ДМУ-Б<sub>нм</sub>409-57-01 та ДМУ-Б<sub>нм</sub>463-57-01 – після реконструкції;

- встановлення нової конструкції конусного фільтру для зменшення втрат напору та підвищення терміну його роботи (Конусний фільтр для очищення води, Патент України на корисну модель № 100840: МПК В01D 35/02, E03B 5/00);

- встановлення тиристорних перетворювачів частоти обертання насосів для організації автоматизації роботи НС, обґрунтування енергоефективних режимів її роботи;

- впровадження комплексної автоматизації роботи системи НС – розподільча мережа – ДМ (Система автоматичного керування насосною станцією: Деклараційний пат. на корисну модель. 16447 Україна: F04D 15/00);

- обґрунтування параметрів та дообладнання ЗЗМ засобами запобігання утворенню гідравлічного удару нової конструкції (Стабілізатор тиску: патент на корисну модель. 100773 Україна: МПК F16L55/04. № 201501474, Стабілізатор тиску: патент на корисну модель. 92422 Україна: F16L55/04, Стабілізатор тиску: патент на корисну модель. 101407 Україна: F16L 55/04. № 201502510, Протиударний пристрій: деклараційний патент на корисну модель. 33438. Україна: F16L55/02; Пристрій для боротьби з гідравлічним ударом: деклараційний патент на корисну модель. 33436. Україна: МПК F16L 55/02);

- зменшення непродуктивних втрат зрошувальної води при аваріях на магістральному та розподільчих трубопроводах, а також заповненні й дозаповненні мережі внаслідок поривів та пошкоджень.

Згідно з [4–6; 11; 12], порівняльна оцінка ефективності проектних рішень (ПР) при модернізації та реконструкції водогосподарсько-меліоративного об'єкта за комплексом різнорідних ресурсоекономічних заходів та засобів на основі оцінювання загальної технічної, технологічної, економічної, екологічної та ресурсної ефективностей його функціонування може бути виконана за такою комплексною оптимізаційною моделлю

$$\begin{cases} ZP^0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} [(C_{pi} + E_n K_i) + R_{pi}] \alpha_p / W_{pi}, \quad i = \overline{1, n_i}; \\ R_j^0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} |R_{jpi} - \hat{R}_j| \alpha_p, \quad j = \overline{1, n_j}, \quad i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $ZP^0$  – мінімальне значення показника приведених витрат за прийнятою умовою обраного критерію економічної оптимальності, що відповідає оптимальному ПР із сукупності можливих варіантів



$$I = \{i\}, i = \overline{1, n_i};$$

$C_i$  – поточні витрати на отримання вирощуваної сільськогосподарської продукції за варіантами ПР, що включають в себе сільськогосподарські  $C^{cz}$ , меліоративні  $C^m$  та витрати на зрошувальну воду  $C^e$ ;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень  $K_i$  за відповідними варіантами ПР;

$R_i$  – погодно-кліматичний ризик за відповідними варіантами ПР;

$\alpha_p$  – відомі (встановлені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  у межах проєктного

терміну функціонування об'єкта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;

$W_i$  – обсяг (вартість) отриманої продукції за відповідними варіантами режимних, технологічних та технічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$R_j^0$  – мінімальні значення відхилень фактичних об'ємів фізичних показників використаних ресурсів  $R_{jpi}$  сукупності  $\{j\}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$  стосовно відповідних їх науково обґрунтованих (раціональних) значень  $\hat{R}_j$ .

Згідно з [11–13], оцінювання екологічної ефективності реалізації запропонованого комплексу ресурсоекономних заходів здійснюється на основі розрахунку значень коефіцієнту екологічної надійності ( $k_n$ ) функціонування ЗЗС за сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності зрошуваних земель). Такий коефіцієнт дає наближену оцінку екологічної стійкості проєкту, ступінь урахування факторів екологічної надійності його функціонування, в першу чергу з точки зору підтримання сприятливих природно-меліоративних та ґрунтових режимів у межах проєктного терміну. Екологічно оптимальним варіантом проєктного рішення є той, для якого забезпечується дотримання умови, що коефіцієнт екологічної надійності знаходиться в інтервалі значень  $0,5 < k_n \leq 1,0$ .

Прогнозні розрахунки з визначення загальної технологічної (ресурсної), економічної та інвестиційної ефективності запропонованих комплексних заходів виконані за такими вихідними умовами: **область** – Дніпропетровська; **природно-кліматична зона** – Степ; **роз-**

**рахункові за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації** (дуже вологий –  $p=10\%$ , вологий –  $p=30\%$ , середній –  $p=50\%$ , сухий –  $p=70\%$ , дуже сухий –  $p=10\%$ ); **розрахункові параметри основних метеорологічних характеристик періоду вегетації з квітня по жовтень** (сума опадів – 293 мм; середня температура повітря –  $17,4^{\circ}\text{C}$ ; середня відносна вологість повітря – 63%; сума дефіциту вологості повітря – 1247 мм); **грунти** (чорноземи звичайні, за гранулометричним складом переважають легкі суглинки та легкі глини); **технології водорегулювання** – зрошення дощуванням з використанням відповідних модифікацій ДМФ «Фрегат» до та після реконструкції.

Як основні **варіанти дослідження** розглянуті варіанти функціонування об'єкта до та після реконструкції, в тому числі з урахуванням можливої зміни напряму та змісту господарської діяльності землекористувача:

- **V1** – вирощування сукупності сільськогосподарських культур (озима пшениця з часткою посівної площі 0,25; озимий ячмінь – 0,20; озимий ріпак – 0,05; ярий ячмінь – 0,10; кукурудза – 0,15; соняшник – 0,25) до реконструкції системи;

- **V2** – вирощування сукупності сільськогосподарських культур (озима пшениця – 0,25; кукурудза – 0,25; соя – 0,25; соняшник – 0,25) після реконструкції системи;

- **V3** – вирощування монокультури озимої пшениці після реконструкції системи;

- **V4** – вирощування монокультури кукурудзи після реконструкції системи;

- **V5** – вирощування монокультури сої після реконструкції системи;

- **V6** – вирощування монокультури соняшнику після реконструкції системи).

**Результати дослідження.** Основні узагальнені результати щодо технологічних (ресурсних), економічних та інвестиційних показників й параметрів функціонування об'єкта до та після проведення реконструкції за відповідними варіантами представлені на рис. 2 та табл. 1–табл. 4.



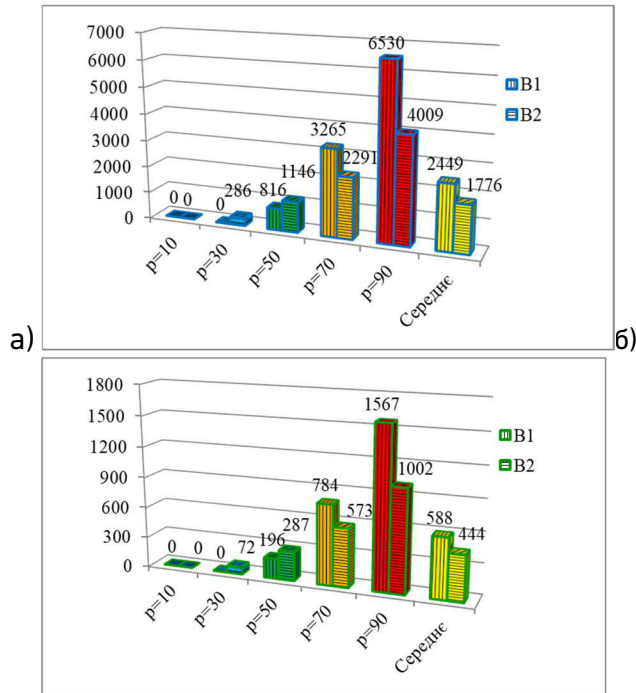


Рис. 2. Затрати зрошувальної води, м³/га (а) та електроенергії, кВт год (б) на її перекачку на прикладі зрошення кукурудзи як найбільш водо- та енергомісткої культури за варіантами дослідження: В1 – до реконструкції системи; В2 – після реконструкції системи

Таблиця 1  
Показники технологічної (ресурсної) ефективності за варіантами дослідження

№ з/п	Розрахункові періоди вегетації, р, %	Показники технологічної (ресурсної) ефективності за варіантами дослідження											
		В1		В2		В3		В4		В5		В6	
		затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га	затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га	затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га	затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га	затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га	затрати води на зрошення, м³/га	затрати електроенергії на перекачку, кВт год/га
1	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	30	-	-	243	61	573	143	286	72	-	-	-	-
3	50	816	228	888	222	859	215	1146	287	859	215	528	132
4	70	2531	709	1947	487	1718	430	2291	573	2004	501	1718	430
5	90	4490	1257	3107	777	2291	573	4009	1002	3150	788	3150	788
6	Середньо-зважене	1820	510	1432	358	1260	315	1776	444	1403	351	1260	315

Таблиця 2

Показники економічної та екологічної ефективності за варіантами дослідження

№ з/п	Показники економічної та екологічної ефективності	Варіанти дослідження					
		до реконструкції		після реконструкції			
		залишкова балансова вартість об'єкту, K <sub>0</sub> =3000 грн/га		сумарні капітальні вкладення після реконструкції, K=42000 грн/га			
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	Вартість води на зрошення, грн/га	2184	1718	1512	1512	2131	1684
2	Вартість електроенергії на перекачку, грн/га	1529	1074	945	945	1332	1052
3	Поточні витрати, грн/га	17287	32984	35680	26087	31547	29206
4	Частка вартості води від поточних витрат, %	12,6	5,2	4,2	5,8	6,8	5,8
5	Частка вартості електроенергії від поточних витрат, %	8,8	3,3	2,6	3,6	4,2	3,6
6	Вартість валової продукції, грн/га	17338	38979	43518	33264	37519	38513
7	Чистий дохід, грн/га	201	8095	8426	5942	9724	7765
8	Показник приведених витрат	1,631	1,382	1,322	1,445	1,471	1,392
9	Коефіцієнт екологічної надійності	0,36	0,42	0,40	0,40	0,39	0,38

Таблиця 3

Порівняльна характеристика зміни показників технологічної (ресурсної), економічної та екологічної ефективності до та після реконструкції за відповідними варіантами

№ з/п	Зміна показників технологічної (ресурсної), економічної та екологічної ефективності	Варіанти дослідження				
		B2	B3	B4	B5	B6
1	Зменшення затрат води після реконструкції, %	21,3	30,8	2,2	22,9	30,7
2	Зменшення затрат електроенергії після реконструкції, %	29,8	38,2	12,9	31,2	38,2
3	Збільшення поточних витрат, грн/га	15697	18393	8800	14260	11919
4	Зменшення частки вартості води від поточних витрат, %	58,7	66,7	54,0	46,0	54,0
5	Зменшення частки вартості електроенергії від поточних витрат, %	62,5	70,5	59,1	52,3	59,1
6	Збільшення вартості валової продукції, грн/га	21641	26180	15926	20181	21175

продовження табл. 3

7	Збільшення чистого доходу, грн/га	7894	8225	5741	9523	7564
8	Підвищення коефіцієнта екологічної надійності, %	16,7	11,1	11,1	8,3	5,6

Таблиця 4

Показники інвестиційної ефективності за варіантами дослідження

№ з/п	Показники інвестиційної ефективності	Варіанти дослідження					
		B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	Індекс доходності інвестицій	1,07	2,22	2,29	1,75	2,57	2,14
2	Дисконтований чистий дохід, грн/га	3618	51066	54090	31407	65932	48051
3	Дисконтований термін окупності, роки	18	6	6	8	5	6

Таким чином, впровадження комплексу взаємопов'язаних ресурсоекономних заходів в природно-агромеліоративних умовах реального об'єкту за розглянутими варіантами забезпечує зменшення затрат зрошувальної води від 2,2 до 30,7% та затрат електроенергії від 12,9 до 38,2%. При цьому показник приведених витрат зменшується з 1,6 до 1,47–1,32, а коефіцієнт екологічної надійності підвищується на 5,6–16,7%. Тоді індекс доходності інвестицій зростає з 1,07 до 1,75–2,57, значно зростає дисконтований чистий дохід, а дисконтований термін окупності зменшується з 18 до 8–5 років. Слід зауважити, що, оскільки при виконанні прогнозно-оптимізаційних розрахунків враховуються не всі можливі чинники, які формують загальну ефективність, а отримані за ними результати мають виражений відносний характер, то остаточне рішення щодо вибору кращого варіанту проекту залишається за інвестором або аграрієм-замовником.

**Висновки.** Результати проведеного дослідження щодо підвищення енергоефективності ЗЗМ та зрошувальної системи в цілому на основі комплексу взаємопов'язаних ресурсоекономних заходів з їх технічного, технологічного та ресурсоекономного удосконалення переконливо свідчать про те, що, по-перше, параметри енергоефективності визначально залежать насамперед від кількості та ефективності використання зрошувальної води, конструктивних, технологічних та режимних параметрів напірної трубопровідної мережі, а також множинних змінних природно-агромеліоративних умов функціонування реального об'єкта.

По-друге, модернізація й реконструкція діючих зрошувальних систем зі зрошенням дощуванням в зоні Степу України на основі запровадження комплексу ресурсоекономних заходів за всім спектром відповідних організаційних, технічних, режимно-технологічних рішень забезпечують енергоефективне використання зрошувальної води, підвищення економічної та екологічної ефективності використання зрошуваних земель, а також інвестиційну привабливість застосування зрошення взагалі у змінних сучасних умовах.

По-третє, підвищення енергоефективності ЗЗМ та загальної ефективності ЗЗС за комплексом ресурсощадних заходів та засобів є ефективним адаптивним заходом при зрошенні у змінних кліматичних умовах.

1. Дехтяр О., Брюзгіна Н., Антонюк А. Аналіз функціонування зрошувальних систем за техніко-технологічними та економічними показниками. *Вісник аграрної науки*. Київ, 2019. Том 97. № 3. С. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-08>
2. Рокочинський А. М., Турченко В. О., Волк П. П., Коптюк Р. М., Приходько Н. В., Ричко Д. М. Водопотреба супутніх культур на рисових зрошувальних системах. *Меліорація і водне господарство*. Київ, 2020. № 1. С. 102–111. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-232>
3. Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року : Розпорядження КМУ № 1228-р від 25 листопада 2015 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15#Text> (дата звернення: 15.07.2020).
4. Герасимов Є. Г., Рокочинський А. М., Герасимов Г. Г. Наукові і практичні аспекти підвищення енергетичної та ресурсної ефективності зрошення. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(91). С. 40–53. <https://doi.org/10.31713/vt320204>
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. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. Рівне : НУВГП, 2007. 257 с.
7. Тимчасові рекомендації з прогносної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне : НУВГП, 2011. 54 с.
8. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне : НУВГП, 2010. 52 с.
9. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне, 2013. 43 с.
10. Посіб-

ник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, В. А. Сташук, Н. А. Фроленкова та ін. Рівне : НУВГП, 2008. 64 с. **11.** Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / за заг. ред. В. А. Сташука, Р. А. Вожегової, В. В. Дудченка, А. М. Рокочинського, В. В. Морозова. Вид. 2-ге, перероб. та доповн. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2020. 203 с. **12.** Турченко В. О. Системна оптимізація водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах на рисових зрошувальних системах : монографія / за наук. редакцією А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2020. 332 с. **13.** Рис Придунав'я : колективна монографія / за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, П. І. Мендуся, В. О. Турченюка. Херсон : Гринь Д.С., 2016. 620 с.

## REFERENCES:

1. Dekhtiar O., Briuzghina N., Antoniuk A. Analiz funktsionuvannia zroshuvalnykh system za tekhniko-tekhnolohichnymy ta ekonomichnymy pokaznykamy. *Visnyk ahrarnoi nauky*. Kyiv, 2019. Tom 97. № 3. С. 50–56. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201903-08>
2. Rokochynskiyi A. M., Turcheniuk V. O., Volk P. P., Koptiuk R. M., Prykhodko N. V., Rychko D. M. Vodopotreba suputnykh kultur na rysovykh zroshuvalnykh systemakh. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. Kyiv, 2020. № 1. С. 102–111. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-232>
3. Natsionalnyi plan dii z enerhoefektyvnosti na period do 2020 roku : Rozporiadzhennia KМУ № 1228-r vid 25 lystopada 2015 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0001824-15#Text> (data zvernennia: 15.07.2020).
4. Herasimov Ye. H., Rokochynskiyi A. M., Herasymov H. H. Naukovi i praktychni aspekty pidvyshchennia enerhetychnoi ta resursnoi efektyvnosti zroshennia. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. 2020. Vyp. 3(91). S. 40–53. <https://doi.org/10.31713/vt320204>
5. Rokochynskiyi A. M. Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodorehuliuвання osushuvanykh zemel na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh : monohrafiia / za red. akad. UAAN M. I. Romashchenka. Rivne : NUVHP, 2010. 351 s.
6. Frolenkova N. A., Kozhushko L. F., Rokochynskiyi A. M. Ekoloho-ekonomichne otsiniuvannia v upravlinni melioratyvnymy proektamy : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2007. 257 s.
7. Tymchasovi rekomendatsii z prohnaznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodorehuliuвання osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system / A. M. Rokochynskiyi, V. A. Stashuk, V. D. Dupliak, N. A. Frolenkova ta in. Rivne : NUVHP, 2011. 54 s.
8. Tymchasovi rekomendatsii z optymizatsii vodorehuliuвання osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii vodohospodarsko-melioratyvnykh

ob'ektiv / A. M. Rokochynskiy, V. A. Stashuk, V. D. Dupliak, N. A. Frolenkova ta in. Rivne : NUVHP, 2010. 52 s. **9**. Tymchasovi rekomendatsii z otsinky investytsiinykh proektiv budivnytstva i rekonstruktsii vodohospodarskykh ob'ektiv ta melioratyvnykh system / A. M. Rokochynskiy, V. A. Stashuk, V. D. Dupliak, N. A. Frolenkova ta in. Rivne, 2013. 43 s. **10**. Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushivalni systemy). Meteorolohichne zabezpechennia inzhenerno-melioratyvnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushivalnykh system / A. M. Rokochynskiy, O. I. Halik, V. A. Stashuk, N. A. Frolenkova ta in. Rivne : NUVHP, 2008. 64 s. **11**. Pidvyschennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshivalnykh system Ukrainy : naukovo-metodychni rekomendatsii / za zah. red. V. A. Stashuka, R. A. Vozhehovoii, V. V. Dudchenka, A. M. Rokochyskoho, V. V. Morozova. Vyd. 2-he, pererob. ta dopovn. Kyiv-Kherson-Rivne : NUVHP, 2020. 203 s. **12**. Turcheniuk V. O. Systemna optymizatsiia vodo- ta enerhokorystuvannia na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh na rysovykh zroshivalnykh systemakh : monohrafiia / za nauk. redaktsiieiu A. M. Rokochynskoho. Rivne : NUVHP, 2020. 332 s. **13**. 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.

---

**Gerasimov I. G., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Rokochynskiy A. M., Doctor of Engineering, Professor, Koptiuk R. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Prykhodko N. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Volk P. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Frolenkova N. A., Candidate of Economics (Ph.D.), Associate Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

### **IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE CLOSED IRRIGATION NETWORK AND THE OVERALL EFFICIENCY OF THE IRRIGATION SYSTEM BASED ON THE RESOURCE-SAVING COMPLEX**

**The necessity of increasing the energy efficiency of the closed irrigation network as an important component of increasing the overall efficiency of the irrigation system as a whole is substantiated. A complex of organizational, technological and technical measures for the modernization and reconstruction of the irrigation system is proposed. On the base of a real agricultural enterprise performed forecasting and optimization calculations to determine the overall technological (resource), economic, environmental and investment efficiency of the**

proposed complex of measures for the main options for the operation of the facility before and after reconstruction of the system, including possible changes in direction, content and the level of economic activity of the land user.

Improving the energy efficiency of close irrigation network and the overall efficiency of close irrigation system in a set of resource-saving measures and tools is an effective adaptive measure for irrigation in changing climatic conditions.

**Keywords:** energy efficiency improvement; closed irrigation network; general efficiency; irrigation system; complex of resource-saving measures.

---

Герасимов Е. Г., к.т.н., доцент, Рокочинский А. Н., д.т.н., профессор, Коптюк Р. Н., к.т.н., доцент, Приходько Н. В., к.т.н., Волк П. П., к.т.н., доцент, Фроленкова Н. А., к.э.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

#### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА**

Обоснована необходимость повышения энергоэффективности закрытой оросительной сети как важной составляющей повышения общей эффективности функционирования оросительной системы в целом. Предложен комплекс организационно-технологичнтх и технических мероприятий по модернизации и реконструкции оросительной системы. На примере реального сельскохозяйственного предприятия выполнено прогнозно-оптимизационные расчеты по определению общей технологической (ресурсной), экономической, экологической и инвестиционной эффективности предложенного комплекса мероприятий по основным вариантам функционирования объекта до и после реконструкции системы, в том числе с учетом возможного изменения направления, содержания и уровня хозяйственной деятельности землепользователя.

**Ключевые слова:** повышение энергоэффективности; закрытая оросительная сеть; общая эффективность; оросительная система; комплекс ресурсосберегающих мероприятий.

---