

Приходько Н. В., к.т.н., доцент, Коптюк Р. М., к.т.н., доцент, Рокочинський А. М., д.т.н., професор, Волк П. П., д.т.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

ВПЛИВ РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ЗРОШЕННЯ ДОЩУВАННЯМ НА ВИТРАЧАННЯ ВОДНИХ Й ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТА ЙОГО ЗАГАЛЬНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

Розглянуто нові сучасні підходи до вирішення проблеми зростання в умовах зміни клімату дефіциту водних ресурсів для зрошення на основі введення показника рівня його забезпеченості, який відображає зниження поливних та зрошувальних норм щодо їх проєктних значень, а також результати дослідження впливу цього показника на витрачання водних й енергетичних ресурсів та загальну ефективність зрошення дощуванням у змінних кліматичних умовах. Обґрунтовано необхідність зміни підходів до реалізації зрошення та переходу на природоорієнтовані й екологоефективні рішення. Дослідження виконано на основі машинного експерименту з використанням комп'ютерної програми, яка ґрунтується на застосуванні комплексу оптимізаційних, економіко-математичних та прогнозно-імітаційних методів і моделей, у тому числі моделі кліматичних умов місцевості, моделі водного режиму та технологій водорегулювання, а також моделі врожайності вирощуваних культур для прогнозного оцінювання на довготерміновій основі технологічної, економічної, екологічної й інвестиційної ефективності функціонування об'єкта, застосування яких регламентовано галузевими нормативами Держводагентства України. Експериментально визначено, що інтенсивність зниження продуктивності проєктної сівозміни є майже удвічі нижчою за інтенсивність зниження затрат води й електроенергії практично для більшості розглянутих варіантів режимів зрошення дощуванням щодо різних рівнів його забезпеченості, це підтверджується відповідними показниками чистого доходу. Таким чином, цілеспрямоване зниження затрат поливної води при зрошенні дощуванням є цілком виправданим і необхідним рішенням на шляху до економії водних й енергетичних ресурсів і

переходу гідромеліоративної діяльності на природоорієнтовані та екологоефективні рішення.

Ключові слова: рівень забезпеченості зрошення; дощування; водні ресурси; енергетичні ресурси; ефективність зрошення; змінні кліматичні умови.

Наявні глобальні проблеми, що пов'язані зі зміною клімату, продовольчою, водною та енергетичною кризами ставлять перед світовою спільнотою, в тому числі й Україною, потребу в адаптації до існуючих викликів і загроз, підвищенні загальної ефективності усіх сфер господарської діяльності, зокрема й підвищенні ефективності аграрного виробництва на меліорованих землях щодо сучасних змінних умов та вимог [1; 2].

Гідротехнічні меліорації, а насамперед зрошення, є одним з найбільш ефективних інструментів зменшення негативних наслідків зміни клімату на аграрне виробництво. При цьому зрошувані землі є цінним виробничим ресурсом, які дають змогу отримувати у 2–3 рази більші обсяги рослинницької продукції порівняно з богарними.

Виходячи з природно-кліматичних умов, переважна частина території нашої країни традиційно знаходиться в зоні, яка характеризується недостатнім рівнем природного зволоження. Крім того, за останні роки зона ризикованого землеробства України, тобто площі сільськогосподарських угідь, які більшою чи меншою мірою вимагають штучного зволоження, унаслідок зміни клімату значно розширилася і, за різними оцінками вчених, досягає 18–20 млн га [3].

За таких умов відновлення гідротехнічних меліорацій з урахуванням природоорієнтованих та екологоефективних вимог є важливою умовою адаптації аграрного виробництва до існуючих глобальних криз, загрозливий характер яких продовжує зростати у контексті зміни клімату та створює нові виклики й загрози.

Як важливий крок на шляху до відновлення гідротехнічних меліорацій, у 2019 році Кабінет Міністрів України затвердив Стратегію зрошення та дренажу в Україні до 2030 року [4], а у 2020 році ухвалив план її реалізації. Для визначення існуючих потреб щодо адаптації галузей економіки до зміни клімату у жовтні 2021 року Кабінет Міністрів України прийняв Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року [5], який є першим національним документом, що створює законодавчу базу відповідних заходів для систематичної та довгострокової роботи

щодо адаптації до зміни клімату.

Крім того, з початком повномасштабної війни втрати посівних площ України, що спричинені тимчасовою окупацією та воєнними діями, склали понад 25% від їх загального фонду, а основна частина цих втрат це високопродуктивні зрошувані землі півдня та сходу країни. Після терористичного акту Росії на Каховській ГЕС, який призвів до подальшого скорочення доступних посівних площ, критичного рівня досягла і без того актуальна як на регіональному, так і планетарному рівнях проблема дефіциту водних ресурсів для зрошення [6]. Також залишається надзвичайно актуальним і питання щодо забезпечення енергетичними ресурсами, необхідними для реалізації процесу зрошення.

У зв'язку з цим, досягнення і підтримання продовольчої безпеки країни в умовах дефіциту необхідних ресурсів потребує впровадження природоорієнтованих та екологіоефективних рішень щодо підвищення ефективності зрошення, зокрема шляхом розробки режимно-технологічних й технічних ресурсощадних заходів і засобів, які ґрунтуватимуться на економії водних й енергетичних ресурсів для виробництва рослинницької продукції.

Саме природоорієнтовані рішення є ефективним інструментом для задоволення потреб суспільства й подолання суспільних викликів за допомогою природи у дружній до неї спосіб та з дотриманням засад сталого розвитку на основі зниження і більш ефективного використання природних ресурсів, в тому числі водних й енергетичних [7].

У сучасних практиках існує декілька основних підходів до реалізації цієї ідеї, а саме: покращення властивостей ґрунту з метою підвищення його водоутримуючої здатності; зменшення випаровування з полів; оптимізація обсягів води на зрошення, у тому числі шляхом удосконалення техніки поливу та режимів зрошення сільськогосподарських культур.

В останні роки у США набирає поширення тенденція цілеспрямованого скорочення витрат води на зрошення, коли фермери свідомо йдуть на зниження врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур задля скорочення витрат дефіцитних та дороговартісних водних ресурсів [8]. Аналогічні практики застосовують і в Китаї шляхом впровадження так званого «дефіцитного зрошення» [9].

Враховуючи вищесказане, у сучасних умовах надзвичайно актуальними є дослідження, які направлені на обґрунтування доцільності й рівня зниження затрат водних й енергетичних ресурсів

щодо отриманих при цьому врожаїв вирощуваних культур як головного результату аграрного виробництва та ефективності зрошення в цілому.

Таким чином, метою проведених нами досліджень є вивчення впливу рівня забезпеченості зрошення дощуванням на витрачання водних й енергетичних ресурсів та його загальну ефективність у змінних кліматичних умовах.

Для досягнення поставленої мети був спланований та проведений машинний експеримент, для реалізації якого були використані отримані нами у ході оцінювання ефективності розробленого С.О. Білоконем вібраційного фільтра відстійника для очищення зрошувальної води різного ступеня забруднення у ТОВ «С-Росток» Херсонської області з використанням дощувальної машини «Фрегат» модифікації ДМУ-Б_{нм}463-57-01 [10; 11].

Для реалізації машинного експерименту використано комп'ютерну програму [12], розроблену у науково-дослідній лабораторії оптимізації та автоматизації управління у водній інженерії та водних технологіях при кафедрі водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна). Ця програма ґрунтується на застосуванні комплексу оптимізаційних, економіко-математичних та прогнозно-імітаційних методів і моделей, у тому числі моделі кліматичних умов місцевості, моделі водного режиму та технологій водорегулювання, а також моделі врожайності вирощуваних культур на меліорованих землях для прогнозного оцінювання на довготерміновій основі показників та параметрів технологічної, економічної, екологічної й інвестиційної ефективності функціонування об'єкта, застосування яких регламентовано відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [13–15].

Вихідними умовами для виконаного машинного експерименту є: **область** – Херсонська; **природно-кліматична зона** – Степ; **розрахункові групи років за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації** (дуже вологий (p=10%); вологий (p=30%); середній (p=50%); сухий (p=70%); дуже сухий (p=90%)); **грунти** – чорноземи південні малогумусні; **сукупність культур проєктної сівозміни з дільовою часткою їх вмісту** (багаторічні трави (зелена маса) – 0,4; озима пшениця (зерно) – 0,2; овочі (помідори) – 0,2; кукурудза (зерно) – 0,2).

У табл. 1 представлені використані нами для проведення машинного експерименту дані щодо величин поливних норм та

затрат електроенергії на їх подачу при різних за витратами ресурсів режимах зрошення культур проєктної сівозміни, для характеристики яких введено показник **рівня забезпеченості зрошення (φ , %)**. Цей показник у відсотковому еквіваленті характеризує рівень відповідності досліджуваних режимів зрошення їх проєктному режиму, тобто який відсоток становлять для поливних (φ_m , %) та зрошувальних (φ_n , %) норм їх значення при певному режимі зрошення відносно проєктних значень.

Таблиця 1

Значення поливних норм та затрат електроенергії для зрошення культур проєктної сівозміни при різних за рівнями забезпеченості режимах зрошення

Культури проєктної сівозміни та показники режиму зрошення		Рівень забезпеченості зрошення (φ ,%)					
		$\varphi=100\%$ (проєктний)	$\varphi=73\%$	$\varphi=70\%$	$\varphi=67\%$	$\varphi=62\%$	$\varphi=52\%$
Багаторічні Трави (зелена маса)	поливна норма ($m, m^3/га$)	600	440	420	400	360	300
	затрати електроенергії ($\omega_m, кВт-год/га$)	200	147	140	133	120	100
Овочі (томати)	поливна норма ($m, m^3/га$)	540	400	380	360	350	300
	затрати електроенергії ($\omega_m, кВт-год/га$)	180	133	127	120	117	100
Озимі зернові (зерно)	поливна норма ($m, m^3/га$)	380	270	260	250	240	200
	затрати електроенергії ($\omega_m, кВт-год/га$)	127	90	87	83	80	67
Кукурудза (зерно)	поливна норма ($m, m^3/га$)	420	300	290	280	260	220
	затрати електроенергії ($\omega_m, кВт-год/га$)	140	100	97	93	87	73

Тобто як основні **варіанти дослідження** розглянуто сукупність режимів зрошення дощуванням, що відрізняються за рівнями їх забезпеченості відносно проєктних значень:

– **контроль** – проєктний режим зрошення дощуванням, $\varphi_m=100\%$;

– **варіант 1** – режим зрошення дощуванням, якому відповідає $\varphi_m=73\%$;

– **варіант 2** – режим зрошення дощуванням, якому відповідає $\varphi_M=70\%$;

– **варіант 3** – режим зрошення дощуванням, якому відповідає $\varphi_M=67\%$;

– **варіант 4** – режим зрошення дощуванням, якому відповідає $\varphi_M=62\%$;

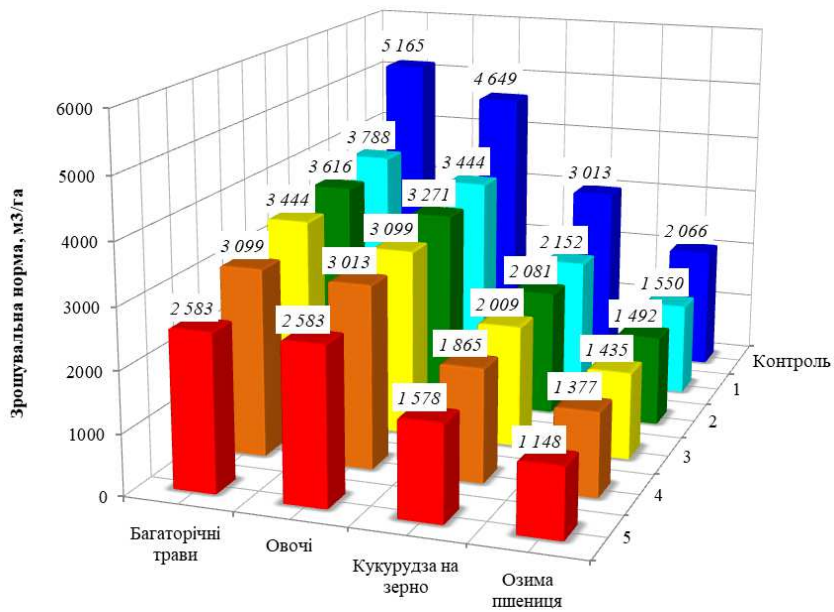
– **варіант 5** – режим зрошення дощуванням, якому відповідає $\varphi_M=52\%$.

За результатами виконаного імітаційного моделювання для розглянутих розрахункових груп років та культур проєктної сівозміни були встановлені зміни величин зрошувальних норм, а також пов'язані з цим зміни врожайності, які представлені у балах відносно потенційного рівня продуктивності кожної з культур. Бальна оцінка продуктивності викликана необхідністю порівняльного оцінювання різних видів культур із різними видами врожаю.

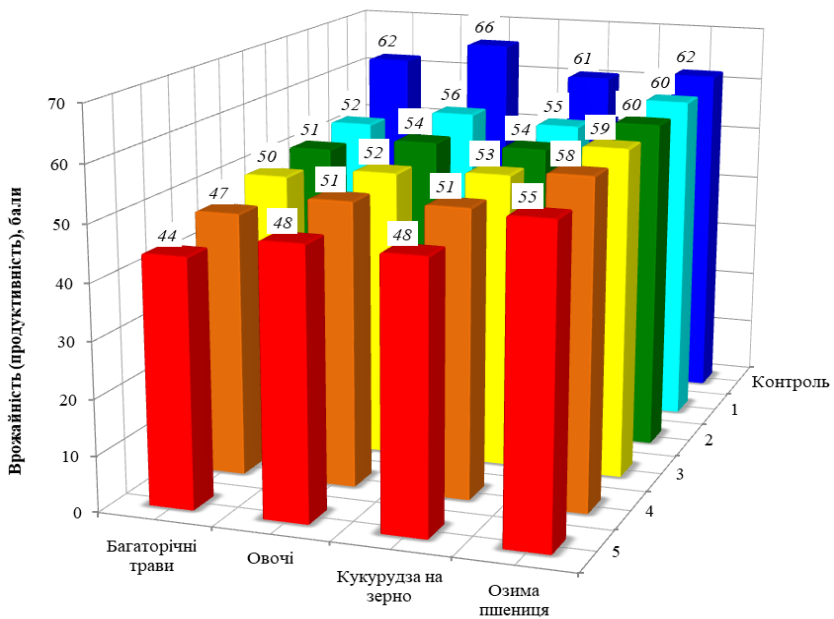
На рис. 1 представлено фрагмент отриманих результатів, який відображає зміну величин зрошувальної норми (рис. 1, а) та врожайності (продуктивності) культур проєктної сівозміни (рис. 1, б) за дослідними варіантами при різних рівнях забезпеченості зрошення дощуванням відповідно до розрахункового за умовами тепло- й вологозабезпеченості року ($p=70\%$).

Наведені на рис. 1 результати дослідження переконливо засвідчують, що по кожній з культур проєктної сівозміни та за всіма варіантами дослідження спостерігається чітка залежність між скороченням величин зрошувальної норми та зниженням врожайності (продуктивності) вирощуваних культур. Однак, варто зазначити, що при відносно суттєвому зниженні величин зрошувальної норми від 27 до 48% ми спостерігаємо значно менші амплітуди зниження врожайності (продуктивності) культур проєктної сівозміни від 14 до 27%.

Крім того, були отримані узагальнені результати щодо усереднених даних за сукупністю культур проєктної сівозміни з оцінювання ефективності режимів зрошення дощуванням при різних рівнях його забезпеченості для умов середнього ($p=50\%$), сухого ($p=70\%$) та дуже сухого ($p=90\%$) років як таких, що з усієї сукупності розрахункових груп років характеризуються вищими рівнями затрат водних ресурсів на зрошення та для яких вплив їх дефіциту на врожайність вирощуваних культур є більш критичним (рис. 2).



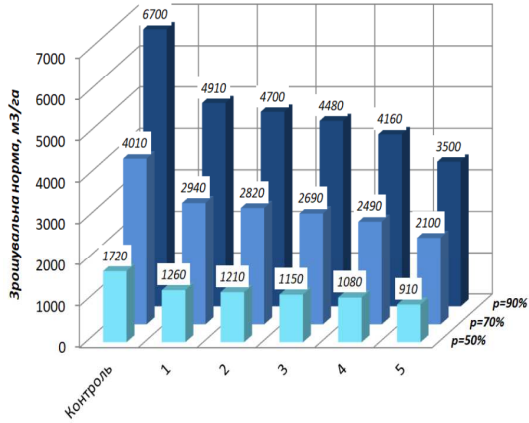
а)



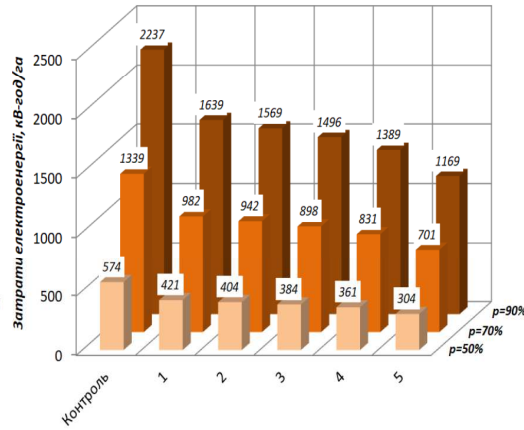
б)

Рис. 1. Зміна величин зрошувальної норми (а) та врожайності (продуктивності) культур проєктної сівозміни (б) за дослідними варіантами при різних рівнях забезпеченості зрошення дощованням відповідно до розрахункового за умовами тепло- й вологозабезпеченості року ($p=70\%$)

Зміна величини зрошувальної норми за дослідними варіантами щодо розрахункових груп років



Зміна величини затрат електроенергії на зрошення за дослідними варіантами щодо розрахункових груп років



Зміна фактичної врожайності (продуктивності) за дослідними варіантами відносно її потенційної величини щодо розрахункових груп років

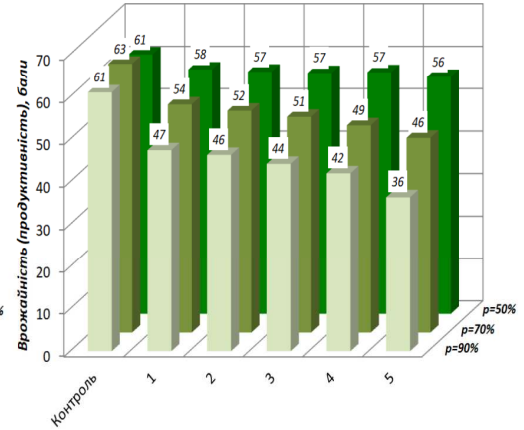


Рис. 2. Усереднені за сукупністю культур проектної сівозміни результати оцінювання ефективності режимів зрошення дощуванням при різних рівнях його забезпеченості для умов середнього (p=50%), сухого (p=70%) та дуже сухого (p=90%) років

Усереднені результати оцінювання ефективності різних рівнів забезпеченості зрошення дощуванням (рис. 2) показали, що по розрахункових роках також зберігається чітка залежність між скороченням величин зрошувальної норми, які призводять до зменшення затрат електроенергії та зниженням рівня врожайності (продуктивності) проектної сівозміни. При цьому амплітуда зниження врожайності (продуктивності) проектної сівозміни при збільшенні посушливості року зростає від 4,9–8,1% для умов середнього року до 22,9–41% для умов дуже сухого року. Однак, в цілому відсоток скорочення затрат водних й енергетичних ресурсів за варіантами дослідження відносно проектного показника є більшим ніж відсоток втрат врожаю.

Високий рівень сполученості основних різнорідних показників ефективності, що характеризують різні аспекти зрошення: φ_M – рівень забезпеченості зрошення (за зрошувальною нормою), %; M – зрошувальна норма, м³/га; ζ – вартість валової продукції сівозміни, грн/га; C_e – поточні експлуатаційні витрати на зрошення, грн/га; $ЧД$ – чистий дохід, грн/га, підтверджується результатами виконаного багатокритеріального регресійного аналізу (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця коефіцієнтів парної кореляції між показниками, що характеризують ефективність реалізації зрошення

Показники	φ_M	M	ζ	C_e	$ЧД$
φ_M	1.0000	0.9853	0.9758	-0.9561	0.9831
M	0.9853	1.0000	0.9865	-0.9368	0.9803
ζ	0.9758	0.9865	1.0000	-0.9149	0.9721
C_e	-0.9561	-0.9368	-0.9149	1.0000	-0.9741
$ЧД$	0.9831	0.9803	0.9721	-0.9741	1.0000

Загальний коефіцієнт кореляції між основними різнорідними показниками ефективності становить $R=0,9867$, що свідчить про наявність тісного взаємозв'язку.

Разом з тим, також були отримані розрахункові емпіричні залежності, що відображають характер та рівень зв'язку між розглянутими показниками:

- вартість валової продукції сівозміни від зрошувальної норми та рівня забезпеченості зрошення (за зрошувальною нормою)

$$\zeta = 52336 \cdot \exp(0,0067 \cdot \varphi_M - 0,0001 \cdot M), r^2 = 0,9508; r = 0,9751; \quad (1)$$

- експлуатаційних витрат від зрошувальної норми та рівня забезпеченості зрошення (за зрошувальною нормою)

$$C_e = 23303 \cdot \exp(0,0045 \cdot \varphi_M - 0,0006 \cdot M), r^2 = 0,9124; r = 0,9552; \quad (2)$$

- чистого доходу від зрошувальної норми та рівня забезпеченості зрошення (за зрошувальною нормою)

$$ЧД = 455 \cdot \exp(-0,0979 \cdot \varphi_M + 0,0045 \cdot M), r^2 = 0,9459; r = 0,9726. \quad (3)$$

Виконаний багатокритеріальний регресійний аналіз між основними різнорідними показниками ефективності підтверджує достовірність та правомірність отриманих результатів.

Більше того, отримані результати дають змогу виконувати оцінювання і прогнозування ефективності реалізації зрошення дощуванням при різних рівнях його забезпеченості з метою обґрунтування доцільності та частки зниження затрат водних й енергетичних ресурсів щодо отриманих при цьому врожаїв вирощуваних культур як головного результату аграрного виробництва та ефективності зрошення в цілому.

Узагальнені результати оцінювання ефективності режимів зрошення дощуванням з різними рівнями його забезпеченості за розглянутими варіантами дослідження виконано щодо сукупності основних технологічних (зниження затрат зрошувальної води та електроенергії на її подачу, зниження врожайності (продуктивності) проєктної сівозміни) й економічних (чистий дохід) показників (табл. 3).

Отримані результати порівняльного оцінювання ефективності режимів зрошення дощуванням з різними рівнями його забезпеченості за сукупністю технологічних та економічних показників показали, що фактично переважна частина досліджуваних варіантів, за виключенням тих, яким відповідає рівень забезпеченості зрошення 62% та 52% в умовах дуже сухого року, мають позитивний чистий дохід, тобто такі режими зрошення дощуванням є рентабельними. Це пов'язано з тим, що для умов дуже сухого року при зниженні зрошувальної норми на 38 та 48% за 4 і 5 варіантами дослідження мають місце і найбільш суттєві втрати врожаю – 31,1 та 41% відповідно. Для решти дослідних варіантів в умовах середнього та сухого року визначено, що втрати врожаю є відносно меншими – від 4,9 до 27%, насамперед порівняно зі зниженням затрат водних й енергетичних ресурсів, особливо враховуючи зростання дефіциту і вартості води для зрошення.

Таблиця 3

Основні показники порівняльної технологічної та економічної ефективності режимів зрошення дощуванням за варіантами дослідження для умов середнього (p=50%), сухого (p=70%) та дуже сухого (p=90%) років

Варіанти дослідження режимів зрошення з різним рівнем його забезпеченості	Розрахункові групи років за умовами тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації		
	p=50%	p=70%	p=90%
1	2	3	4
<i>*Зниження затрат зрошувальної води (водний ресурс) та електроенергії на її подачу (енергетичний ресурс), %</i>			
варіант 1 – $\phi_M = 73\%$	27	27	27
варіант 2 – $\phi_M = 70\%$	30	30	30
варіант 3 – $\phi_M = 67\%$	33	33	33
варіант 4 – $\phi_M = 62\%$	38	38	38
варіант 5 – $\phi_M = 52\%$	48	48	48
<i>*Зниження врожайності (продуктивності) проєктної сівозміни, %</i>			
варіант 1 – $\phi_M = 73\%$	4,9	14,3	23,0
варіант 2 – $\phi_M = 70\%$	6,6	17,5	24,6
варіант 3 – $\phi_M = 67\%$	6,6	19,0	27,9
варіант 4 – $\phi_M = 62\%$	6,6	22,2	31,1
варіант 5 – $\phi_M = 52\%$	8,2	27,0	41,0
<i>Чистий дохід, грн/га</i>			
контроль – $\phi_M = 100\%$	14757	18565	18769
варіант 1 – $\phi_M = 73\%$	12733	11520	5510
варіант 2 – $\phi_M = 70\%$	12033	9875	5288
варіант 3 – $\phi_M = 67\%$	11474	7980	2476
варіант 4 – $\phi_M = 62\%$	10409	5955	-356
варіант 5 – $\phi_M = 52\%$	9709	3612	-5713

Примітка: 1. * – дані вказані відносно контрольного варіанту дослідження; 2. Зниження затрат води та електроенергії за варіантами дослідження є тотожними, %

Водночас слід відзначити, що інтенсивність зниження продуктивності проєктної сівозміни є майже удвічі нижчою за інтенсивність зниження затрат води й електроенергії практично для більшості розглянутих дослідних варіантів щодо різних рівнів забезпеченості зрошення дощуванням, що підтверджується

відповідними показниками чистого доходу.

Таким чином, наявні глобальні проблеми, що пов'язані зі зміною клімату, продовольчою, водною та енергетичною кризами потребують зміни підходів до реалізації гідромеліоративної діяльності, переходу на природоорієнтовані та екологоефективні рішення, зокрема шляхом економії гостродефіцитних водних й енергетичних ресурсів при зрошенні, що за результатами наших досліджень може бути досягнуто шляхом свідомого зниження поливних та зрошувальних норм відносно їх проєктних значень ґрунтуючись на оцінюванні впливу показника рівня забезпеченості зрошення на його ефективність.

1. Agriculture and climate change – Challenges and opportunities at the global and local Level – Collaboration on Climate-Smart Agriculture. Rome : FAO, 2019. 52 p.
2. План відновлення України за напрямом «Нова аграрна політика». URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/new-agrarian-policy.pdf> (дата звернення: 20.02.2024).
3. В Україні зрошують лише 0,5 мільйона гектар з майже 20, які цього потребують. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3261361-v-ukraine-orosaut-lis-05-milliona-gektar-s-pochi-20-kotorye-v-etom-nuzdautsa-iae.html> (дата звернення: 20.02.2024).
4. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.02.2024).
5. Стратегія з екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.02.2024).
6. Знищення росіянами Каховської ГЕС завдало значних збитків сільському господарству України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/znyshchennia-rosiiianamy-kakhovskoi-hes-zavdalo-znachnykh-zbytkiv-silskomu-hospodarstvu-ukrainy> (дата звернення: 20.02.2024).
7. FAO: Nature-Based Solutions for agricultural water management and food security. URL: <http://www.fao.org/3/CA2525EN/ca2525en.pdf> (дата звернення: 20.02.2024).
8. David Widmar. Agriculture Irrigation Trends in the United States. 2021. URL: <https://aei.ag/2021/03/22/agriculture-irrigation-trends-in-the-united-states/> (дата звернення: 20.02.2024).
9. Li Q., Chen Y., Sun S. et al. Research on Crop Irrigation Schedules Under Deficit Irrigation—A Meta-analysis. *Water Resources Management*. 2022. № 36. Pp. 4799–4817. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03278-y>.
10. Білоконь С. О., Приходько Н. В., Коптюк Р. М., Ричко Д. М., Рокочинський А. М. Оцінка ефективності зрошення дощуванням із застосуванням вібраційного фільтру відстійника для очищення зрошувальної води. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2019. Вип. 1(85). С. 31–39.
11. Білоконь С. О., Турбал Ю. В., Токар Л. О., Токар О. І., Приходько Н. В. Вплив

забруднення поливної води на пропускну здатність дощувальної техніки та величину поливної норми при зрошенні. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки.* 2018. Вип. 3(83). С. 21–29. **12.** Свідectво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс з обґрунтування проектних рішень при створенні та функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів»: пат. № 115481 Україна: заявл. 27.10.2022; опубл. 31.01.2023, Бюл. № 73 / Р. М. Коптюк, А. М. Рокочинський, П. П. Волк. **13.** Тимчасові рекомендації з прогнозої 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, 2011. 54 с. **14.** 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, 2010. 52 с. **15.** 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.

REFERENCES:

1. Agriculture and climate change – Challenges and opportunities at the global and local Level – Collaboration on Climate-Smart Agriculture. Rome : FAO, 2019. 52 p.
2. Plan vidnovlennia Ukrainy za napriamom «Nova ahrarna polityka». URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/new-agrarian-policy.pdf> (data zvernennia: 20.02.2024).
3. V Ukraini zroshuiut lyshe 0,5 miliona hektar z maizhe 20, yaki tsoho potrebuieut. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3261361-v-ukraine-orosaut-lis-05-milliona-gektar-s-pocti-20-kotorye-v-etom-nuzdautsa-iae.html> (data zvernennia: 20.02.2024).
4. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (data zvernennia: 20.02.2024).
5. Stratehiia z ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu do 2030 roku. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (data zvernennia: 20.02.2024).
6. Znyshchennia rosiianamy Kakhovskoi HES zavdalo znachnykh zbytkiv silskomu hospodarstvu Ukrainy. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/znyshchennia-rosiianamy-kakhovskoi-hes-zavdalo-znachnykh-zbytkiv-silskomu-hospodarstvu-ukrainy> (data zvernennia: 20.02.2024).
7. FAO: Nature-Based Solutions for agricultural water management and food security. URL: <http://www.fao.org/3/CA2525EN/ca2525en.pdf> (data zvernennia: 20.02.2024).
8. David Widmar. Agriculture Irrigation Trends in the United States. 2021. URL: <https://aei.ag/2021/03/22/agriculture-irrigation-trends-in-the-united-states/>

(data zvernennia: 20.02.2024). **9.** Li Q., Chen Y., Sun S. et al. Research on Crop Irrigation Schedules Under Deficit Irrigation—A Meta-analysis. *Water Resources Management*. 2022. № 36. Pp. 4799–4817. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03278-y>. **10.** Bilokon S. O., Prykhodko N. V., Koptiuk R. M., Rychko D. M., Rokochynskiy A. M. Otsinka efektyvnosti zroshennia doshchuvanniam iz zastosuvanniam vibratsiinoho filtru vidstiinyka dlia ochyshchennia zroshuvalnoi vody. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. 2019. Vyp. 1(85). S. 31–39. **11.** Bilokon S. O., Turbal Yu. V., Tokar L. O., Tokar O. I., Prykhodko N. V. Vplyv zabrudnennia polyvnoi vody na propusknu zdatnist doshchuvalnoi tekhniky ta velychynu polyvnoi normy pry zroshenni. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Tekhnichni nauky*. 2018. Vyp. 3(83). S. 21–29. **12.** Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir. Kompiuterna prohrama «Prohramnyi kompleks z obgruntuvannia proektnykh rishen pry stvorenni ta funktsionuvanni vodohospodarsko-melioratyvnykh ob'ektiv»: pat. № 115481 Ukraina: zaiavl. 27.10.2022; opubl. 31.01.2023, Biul. № 73 / R. M. Koptiuk, A. M. Rokochynskiy, P. P. Volk. **13.** Tymchasovi rekomendatsii z prohnoznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodorehuliuвання osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system / A. M. Rokochynskiy, V. A. Stashuk, V. D. Dupliak, N. A. Frolenkova ta in. Rivne, 2011. 54 s. **14.** 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, 2010. 52 s. **15.** 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.

Prykhodko N. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Koptiuk R. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Rokochynskiy A. M., Doctor of Engineering, Professor, Volk P. P., Doctor of Engineering, Professor (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

IMPACT OF THE LEVEL OF SPRINKLER IRRIGATION PROVISION ON THE SPENDING OF WATER AND ENERGY RESOURCES AND ITS OVERALL EFFICIENCY IN CHANGEABLE CLIMATIC CONDITIONS

New modern approaches to solving the problem of growing water deficit for irrigation in the context of climate change are considered,

based on the input of the level of its availability indicator, which reflects the reduction of irrigation and irrigation norms relative to their project values, as well as the results of the study of the impact of this indicator on the consumption of water and energy resources and the overall efficiency of sprinkler irrigation in changeable climatic conditions. The necessity of changing approaches to the implementation of irrigation and moving to nature-oriented and ecologically effective solutions is substantiated. The study was carried out on the basis of a machine experiment using a computer program based on the application of a set of optimization, economic-mathematical, forecasting-simulation methods and models, including a model of climatic conditions of the area, a model of water regime and water regulation technologies, as well as crop yield models for forecasting long-term assessment of the technological, economic, environmental and investment efficiency of the facility, the use of which is regulated by the industry standards of the State Agency of Water Resources of Ukraine. It has been experimentally determined that the intensity of the reduction in productivity of the project crop rotation is almost twice lower than the intensity of the reduction in water and electricity consumption for almost most of the considered variants of sprinkler irrigation regimes with different levels of its provision, which is confirmed by the corresponding net income indicators. Thus, the targeted reduction of irrigation water consumption for sprinkler irrigation is a completely reasonable and necessary solution on the way to saving water and energy resources and moving hydromelioration activities to nature-based and ecologically effective solutions.

***Keywords:* level of irrigation provision; sprinkling; water resources; energy resources; irrigation efficiency; changeable climatic conditions.**