

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-232>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/232>

УДК 631.674:628.17

## ВОДОПОТРЕБА СУПУТНІХ КУЛЬТУР НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

**А.М. Рокочинський<sup>1</sup>, докт. техн. наук, В.О. Турченко<sup>2</sup>, докт. техн. наук,  
П.П. Волк<sup>3</sup>, канд. техн. наук, Р.М. Коптюк<sup>4</sup>, канд. техн. наук, Н.В. Приходько<sup>5</sup>, канд. техн.  
наук, Д.М. Ричко<sup>6</sup>, аспірант**

<sup>1</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-5248-6394>; e-mail: a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua

<sup>2</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-1938-0344>; e-mail: v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua

<sup>3</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0001-5736-8314>; e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua

<sup>4</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-7086-3608>; e-mail: r.m.koptiuk@nuwm.edu.ua

<sup>5</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0003-1424-2628>; e-mail: n.v.prihodko@nuwm.edu.ua

<sup>6</sup> Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;  
<https://orcid.org/0000-0002-8819-9098>; e-mail: d.m.synchaievych@nuwm.edu.ua

**Анотація.** *Останні дослідження погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України свідчать про стійку тенденцію до посилення посушливості клімату в регіоні. Подальше підвищення температури повітря та зниження природної вологозабезпеченості цих територій неминуче призведе до збільшення сумарного випаровування та, відповідно, величини водопотреби при зрошенні культур рисової сівозміни. За таких умов у регіоні прогнозується суттєве загострення існуючої проблеми дефіциту водних ресурсів, від наявності яких напряму залежить ефективність вирощування сільськогосподарських культур на зрошуваних землях рисових систем. У зв'язку з цим, існує об'єктивна необхідність адаптації аграрного виробництва на зрошуваних землях рисових систем до наявних та прогнозованих змін клімату, що, насамперед, потребує оцінювання зміни водопотреби при зрошенні як провідної культури затоплюваного рису, так і супутніх культур рисової сівозміни. Відповідно до цього, у статті представлені результати оцінювання величини водопотреби супутніх культур рисової сівозміни у змінних природно-аграрно-меліоративних умовах функціонування рисових систем. Дослідження виконані на прикладі Придніпурських рисових зрошувальних систем в Одеській області, конструктивні та природно-меліоративні умови яких є типовими для більшості рисових систем України. У межах виконання дослідження реалізовано широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ, що ґрунтується на комплексі відповідних прогнозно-імітаційних моделей, які на основі довготермінового прогнозу дозволяють оцінювати погодно-кліматичні умови, водний режим, технології водорегулювання та продуктивність меліорованих земель. Під час експерименту було досліджено умови формування сумарного випаровування, за якими визначено величини водопотреби різних видів супутніх культур рисової сівозміни для прийнятих схем технологій та режимів водорегулювання на зрошуваних землях рисових систем у розрахункові щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації. Виконано оцінювання технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо змінних природно-аграрно-меліоративних умов функціонування рисових систем та здійснено порівняння отриманих результатів із реальними виробничими даними. Розглянутий підхід дозволяє оцінити та спрогнозувати водопотребу супутніх культур рисової сівозміни у множинних змінних природно-аграрно-меліоративних умовах функціонування рисових систем, а отримані результати можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні режимно-технологічних рішень у проектах реконструкції і модернізації діючих рисових систем та розробці адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату в регіоні.*

**Ключові слова:** водні ресурси, рисові зрошувальні системи, супутні культури рисової сівозміни, сумарне випаровування, водопотреба, технології водорегулювання.

**Актуальність дослідження.** Сучасні зміни клімату, наявність яких є незаперечним фактом як на глобальному, так і місцевому рівнях, суттєво впливає на усі сфери діяльності людини. Найбільш відчутний вплив

має місце у галузях аграрного виробництва, насамперед у зоні зрошувальних меліорацій, ефективність яких безпосередньо залежить від наявності водних ресурсів необхідної якості та достатньої кількості.

Якщо нині, за даними Інституту водних проблем і меліорації НААН [1], близько 62% ріллі України належить до площ із дефіцитом природного водозабезпечення – 150 мм і більше, то можна припустити, що в 2050 р. таких земель уже буде 67%, а до 2100 р. їхня частка сягне 80%. Тобто понад 25 млн га орних земель будуть практично непридатними для вирощування сільськогосподарських культур без штучного зволоження. Крім того, по регіонах існує суттєвий дисбаланс між потребою у водних ресурсах та забезпеченістю ними, який є значним та катастрофічним для південних областей країни – зони зрошеного землеробства.

Зважаючи на те, що в умовах змін клімату у зоні зрошення України й надалі прогнозується загострення дефіциту водних ресурсів через зменшення кількості доступної та придатної для зрошення води, існує нагальна необхідність перегляду водної політики та стратегії управління водними ресурсами щодо адаптації до наявних та прогнозованих змін.

Найбільш гостро потреба сталого управління водними ресурсами існує і у галузі рисосіяння, яка належить до однієї з найбільш водо- та енергозатратних, що пов'язане із застосуванням традиційного поверхневого поливу затопленням при вирощуванні провідної культури рису, а також необхідністю створення та підтримання промивного водного режиму засоленних ґрунтів як обов'язкової умови ефективного функціонування рисових зрошувальних систем (РЗС) у складних гідрогеологічних умовах зони рисосіяння України. Тому реалізація ефективного управління водними ресурсами на РЗС потребує, насамперед, удосконалення технологій водорегулювання при вирощуванні культур рисової сівозміни, що досі розглядалося переважно із погляду вирощування провідної культури затоплюваного рису [2, 3]. До того ж питання щодо удосконалення техніки поливу та режимів зрошення супутніх культур рисової сівозміни є остаточно невирішеним [2].

Отже, зміни клімату призводять до збільшення сумарного випаровування та загальної водопотреби при вирощуванні як провідної культури затоплюваного рису, так і супутніх культур рисової сівозміни, дані про які є основою для розробки проектних і формування експлуатаційних режимів водорегулювання, що здійснюється шляхом управління водними ресурсами в умовах зростання їхнього дефіциту на основі обґрунтування та застосування ресурсоощадливих способів

і режимів водорегулювання на зрошуваних землях рисових систем.

Оскільки ресурсоощадливі технології та способи вирощування рису до тепер є пріоритетними і мають вже відповідні напрацювання, а раціональна частка супутніх культур у рисовій сівозміні має складати 40–50% [2, 3], **метою нашого дослідження** є оцінювання змін водопотреби при вирощуванні супутніх культур рисової сівозміни на зрошуваних землях РЗС для обґрунтування відповідних адаптивних рішень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Представлені матеріали є додатковим результатом, отриманим нами у розвиток попередніх досліджень щодо формування водопотреби на осушуваних землях, здійснених у рамках спільного проекту Інституту водних проблем і меліорації НААН та Національного університету водного господарства та природокористування «Виконати оцінку впливу змін клімату на вологозабезпечення рослин і розробити ГІС-систему управління зрошенням і водорегулюванням».

Проведені дослідження погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України підтверджують наявність їхніх змін та свідчать про стійку динаміку посилення посушливості клімату регіону [2, 4]. Оцінюючи ситуацію загалом, важливо відзначити, що сучасні вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик близькі або вже знаходяться у зоні їхніх прогнозованих змін [5]. До того ж останні роки характеризуються рекордними температурними максимумами (до прикладу, середня температура повітря за вегетаційний період у 2018 р. становила 19,3°C при середньобагаторічній нормі 17,1°C) та збільшенням сезонної нерівномірності випадання атмосферних опадів, що негативно впливає на доступні для вирощування культур запаси природної ґрунтової вологи.

Основою формування величини водопотреби вирощуваних культур є сумарне випаровування, значення якого залежать, насамперед, від погодно-кліматичних умов місцевості. У зв'язку зі складною його залежністю також і від інших численних чинників на сьогодні існує багато різних за ступенем складності моделей зв'язку інтенсивності випаровування з впливаючими на нього показниками. Такі моделі розроблені І.А. Шаровим, Г.К. Льговим, С.І. Харченком, А.Р. Константиновим, М.І. Будико, М.В. Данильченко, Д.А. Штойко, Х.Л. Пенманом, Л. Тюрком та ін. Серед іноземних розробок найбільшою популярністю користуються методи Блейні і Кридла,

Тортвейна, Пенмана-Монтейта. Водночас в Україні для зрошуваних земель широкого застосування набув біокліматичний метод А.М. та С.М. Алпатьєвих.

Отже, вирішення завдання щодо оцінювання змін водопотреби вирощуваних культур у множинних змінних умовах реального об'єкта потребує застосування відповідного комплексу прогнозно-імітаційних моделей, які реалізуються за довготерміновим прогнозом.

Для ефективної реалізації таких завдань на кафедрі водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування розроблено комплекс прогнозно-імітаційних моделей щодо оцінювання кліматичних умов місцевості та метеорологічних режимів, водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, а також їхньої продуктивності. Практичне застосування прогнозно-імітаційних моделей регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [6–8]. Дані моделі адаптовані нами для застосування і в умовах зрошення.

#### Методи та матеріали дослідження.

Методи дослідження ґрунтуються на застосуванні теорії систем з основами системного підходу, системного аналізу та моделювання, орієнтованого на широке використання ЕОМ, та відповідного методичного, програмного й інформаційного забезпечення при розробці сучасних підходів до обґрунтування технічних, а також технологічних рішень щодо водорегулювання зрошуваних земель у змінних природно-агро-меліоративних умовах [9].

Для реалізації зазначеної мети нами був спланований і здійснений широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ з обґрунтування водопотреби супутніх культур рисової сівозміни в досліджуваних умовах.

Об'єктом дослідження є Придунайські РЗС в Одеській області загальною площею 13,6 тис. га, конструктивні та природно-меліоративні умови яких типові для більшості рисових систем України. Джерелом зрошення та водоприймачем дренажно-скидних вод систем є р. Дунай.

Як показали накопичений досвід та практика, найбільш широко застосовувані для поливу супутніх культур рисової сівозміни традиційний поверхневий полив затопленням (аналогічно поливу рису) та зрошення дощуванням у контексті сучасних технологічних, економічних та екологічних вимог є недостатньо ефективними.

Тому серед варіантів технологій водорегулювання нами розглянуто удосконалений

варіант поверхневого поливу затопленням, який конструктивно забезпечений для реалізації на рисових системах [10]. Він передбачає полив супутніх культур рисової сівозміни шляхом їхнього затоплення шаром води 2–4 см циклічно і тільки у темний період доби. Величина поливної норми змінюється відповідно до динаміки сумарного випаровування і опадів упродовж періоду вегетації та становить 200–400 м<sup>3</sup>/га. При добовій водопотребі культур 5–7 мм зрошувальна норма становить 2–6 тис. м<sup>3</sup>/га. Величина поливної норми за один цикл забезпечується та контролюється водовипусками, обладнаними гідроавтоматами, що здійснюють подачу розрахункової витрати із зрошувального каналу рисової системи у нічний час. Перевагами такого циклічного поливу у темний період доби є зменшення непродуктивних втрат зрошувальної води на сумарне випаровування, більш раціональне використання водних та енергетичних ресурсів на системі.

Нова запатентована технологія направлена на підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану зрошуваних земель РЗС відповідно до сучасних екологічних та економічних вимог загалом, що забезпечить покращення умов росту і продуктивність супутніх культур рисової сівозміни.

Крім того, на чеках, де вирощується рис, та прилеглих до них територіях спостерігається так званий підпертий режим рівня ґрунтових вод (РГВ) із глибиною залягання 0,8–1,2 м. Тобто в такому режимі працює близько 60% системи, а решта системи та території з підвищеними рельєфними відмітками поверхні землі – у непідпертому режимі РГВ з глибиною залягання 1,4–2,0 м. Оскільки підпертий та непідпертий режими РГВ суттєво впливають на формування вологообміну, водного режиму та продуктивності зрошуваних земель, необхідно здійснювати їхній прогноз з урахуванням відповідного фоновому режиму РГВ.

Виходячи з розглянутого, прогнозні розрахунки у машинному експерименті виконані за такими множинними змінними умовами:

- щодо ґрунтів (g): суглинкові за гранулометричним складом ґрунти,  $k_{\phi} = 0,6$  м/добу;
- щодо супутніх культур проектною рисовою сівозміною сукупності  $\{k\}$ ,  $k = 1, n_k$  із загальним їхнім вмістом 50% та відповідною часткою посівних площ під кожною з них на системі,  $f_k$ : 1 – багаторічні трави, потенційна врожайність 800 ц/га,  $f_k = 0,25$ ; 2 – озимі зернові – 75 ц/га,  $f_k = 0,1$ ; 3 – овочеві (помідори) – 800 ц/га,  $f_k = 0,05$ ; 4 – кукурудза на зерно – 90 ц/га,  $f_k = 0,05$ ; 5 – бобові (соя) – 38 ц/га,  $f_k = 0,05$ ;

– за типовими (розрахунковими) роками щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = 1, n_p$  ( $n_p = 5$ ): дуже вологі ( $p=10\%$ ); вологі ( $p=30\%$ ); середні ( $p=50\%$ ); сухі ( $p=70\%$ ) та дуже сухі ( $p=90\%$ );

– за різними технологіями водорегулювання сукупності  $\{s\}$ ,  $s = 1, n_s$  розглядаються варіанти без зрошення, зрошення дощуванням та удосконалений поверхневий полив затопленням, які реалізуються при двох фонових режимах РГВ – підпертому та непідпертому:

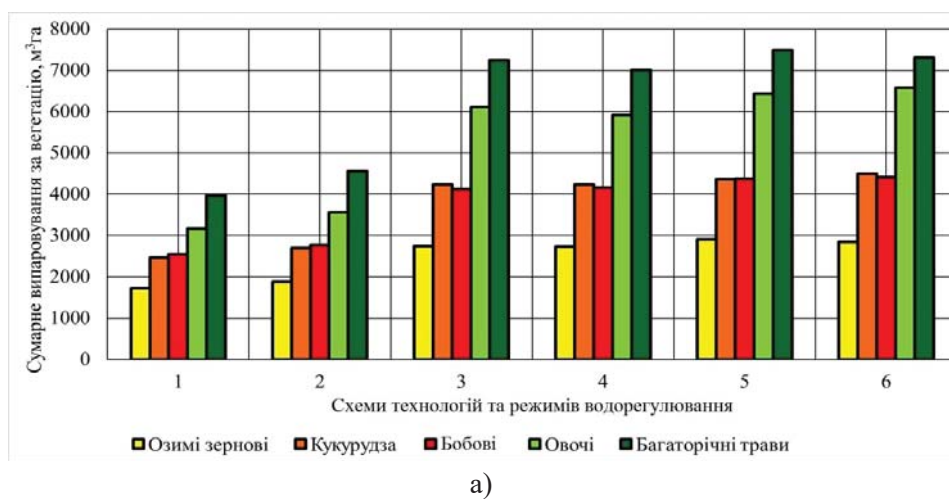
- 1 – непідпертий режим РГВ без зрошення;
- 2 – підпертий режим РГВ без зрошення;
- 3 – зрошення дощуванням при непідпертому режимі РГВ;
- 4 – зрошення дощуванням при підпертому режимі РГВ;
- 5 – удосконалений поверхневий полив затопленням при непідпертому режимі РГВ;

6 – удосконалений поверхневий полив затопленням при підпертому режимі РГВ.

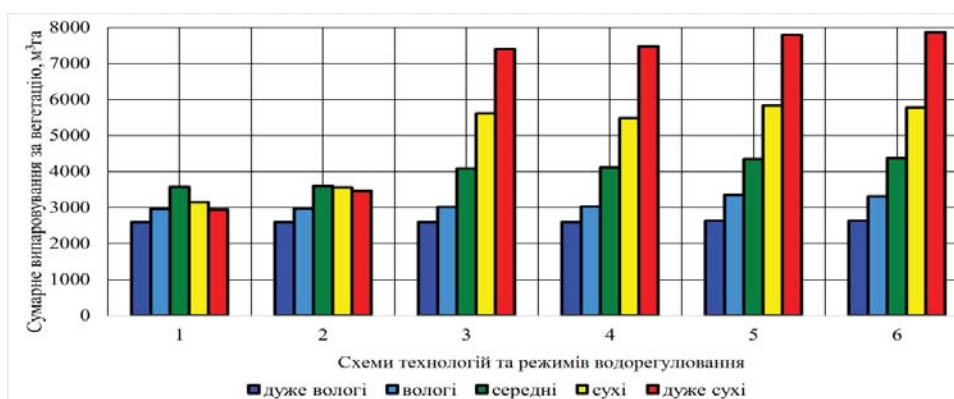
**Результати дослідження та їхнє обговорення.** Результати прогнозних розрахунків за здійсненим машинним експериментом опрацьовані нами за такою схемою і подані у відповідній послідовності:

1. Вивчення й аналіз умов формування сумарного випаровування на рисових системах щодо видів вирощуваних супутніх культур, схем технологій та режимів водорегулювання, умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації (рис. 1).

Наведені результати відображають чітку диференціацію сумарного випаровування на рисових системах у досліджуваних умовах щодо видів вирощуваних супутніх культур, схем технологій та режимів водорегулювання, умов тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації. Величина сумарного випаровування



а)



б)

Рис. 1. Формування сумарного випаровування за різних схем технологій та режимів водорегулювання на зрошуваних землях РЗС: а) щодо різних видів супутніх культур в умовах розрахункового сухого ( $p=70\%$ ) року; б) щодо умов розрахункових років для усереднених значень за сукупністю вирощуваних супутніх культур

тут варіює у досить широкому діапазоні від 1800 м<sup>3</sup>/га для озимих зернових в умовах розрахункового сухого (p=70%) року без зрошення (рис. 1-а) до 7500–7800 м<sup>3</sup>/га для усереднених значень за сукупністю вирощуваних супутніх культур в умовах дуже сухого року (p=90%) при зрошенні дощуванням та удосконаленому поверхневому поливі затопленням (рис. 1-б).

Отримані результати є основою для подальшого визначення величин водопотреби супутніх культур на зрошуваних землях рисових систем.

2. Визначення водопотреби супутніх культур на рисових системах щодо природно-агримеліоративних умов функціонування РЗС.

Відповідні результати прогнозних режимних розрахунків представлені, насам-

перед, для багаторічних трав як культури, яка відіграє надзвичайно важливу роль у структурі рисової сівозміни. Вони є найкращою культурою-відновлювачем після вирощування затоплюваної культури рису і гарним попередником для інших культур, характеризуються найбільшою величиною водоспоживання і займають найбільшу посівну площу порівняно з іншими супутніми культурами.

Прогнозні значення режиму зрошення, затрат зрошувальної води (водопотреби) та врожаю багаторічних трав у досліджуваних змінних погодно-кліматичних умовах, технологіях зрошення та фонових режимах РГВ на системі подані для порівняння у табличному (табл. 1) та графічному (рис. 2) вигляді.

1. Режим зрошення, водопотреба та урожайність багаторічних трав щодо різних технологій зрошення при підпертому режимі РГВ на системі та різних погодно-кліматичних умов

Роки розрахункової забезпеченості, p, %	Опади, мм	Сума температур, °С	Сума дефіцитів вологості, мм	Затрати зрошувальної води (водопотреба) у декадному перерізі, м <sup>3</sup> /га												Сумарні затрати зрошувальної води (водопотреба), м <sup>3</sup> /га	Урожайність, т/га
				10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
<b>Зрошення дощуванням</b>																	
10%	360	3542	1214													0	49,0
30%	265	3602	1307													0	47,4
50%	260	3622	1433						600			600				1200	52,0
70%	185	3735	1582					600		600	600		600	600		3000	52,8
90%	167	3867	1814				600	600	1200	600	600	1200	600			5400	61,1
<b>Удосконалений поверхневий полив затопленням</b>																	
10%	360	3542	1214													0	49,0
30%	265	3602	1307				200		200		200		200			800	54,9
50%	260	3622	1433			200		200	200	200	200	200		400		1600	61,2
70%	185	3735	1582		200		400	200	400	400	400	400	400	400		3200	64,3
90%	167	3867	1814	200		400	400	600	800	1000	800	1000	800			6000	69,8

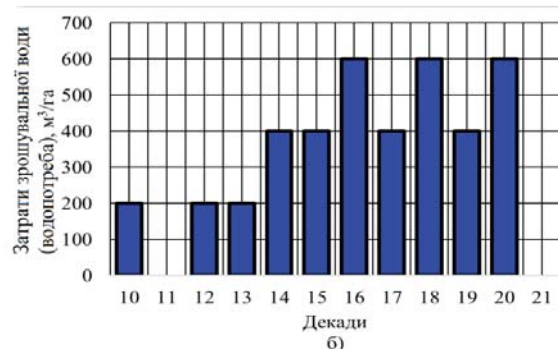
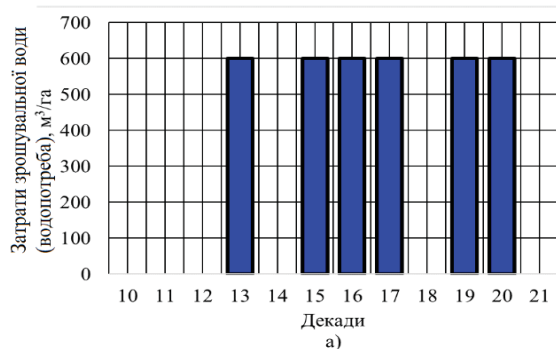


Рис. 2. Режим зрошення, водопотреба та урожайність багаторічних трав щодо різних технологій зрошення при підпертому режимі РГВ в умовах розрахункового сухого (p=70%) року: а) зрошення дощуванням; б) удосконалений поверхневий полив затопленням

3. Оцінювання технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо природно-аграрно-меліоративних умов функціонування РЗС.

Така оцінка виконана і відображена за сукупністю прогнозних значень основних показників, що відображають технологічну ефективність різних технологій зрошення супутніх культур рисової сівозміни у досліджуваних умовах для розрахункового сухого ( $p=70\%$ ) року: вегетаційних значень затрат зрошувальної води (водопотреби) та електроенергії, врожайності вирощуваних культур, а також похідних від них питомих показників (табл. 2).

Отримані та наведені результати показують (табл. 1, рис. 2, табл. 2), що вегетаційні значення затрат води (водопотреби) при

зрошенні супутніх культур рисової сівозміни цілком відповідають умовам та характеру формування сумарного випаровування на зрошуваних землях РЗС щодо видів вирощуваних культур, схем технологій та режимів водорегулювання при зрошенні, умов теплої вологозабезпеченості періодів вегетації. Вони варіюють від 1200 м<sup>3</sup>/га для озимих зернових до 6000 м<sup>3</sup>/га для багаторічних трав і можуть покривати до 70–80% величини сумарного випаровування в посушливі періоди вегетації. До того ж затрати води на зрошення в умовах підпертого режиму РГВ на 20–30% менші ніж при непідпертому режимі. І хоча наведені дані щодо технологічної ефективності різних схем технологій та режимів зрошення свідчать про перспективність застосування удосконаленої техно-

2. Порівняльна характеристика основних показників технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни щодо різних схем технологій та режимів водорегулювання на системі в умовах розрахункового сухого ( $p=70\%$ ) року

Схеми технологій та режимів водорегулювання	Супутні культури	Показники технологічної ефективності				
		Зрошувальна норма, м <sup>3</sup> /га	Енергозбезпеченість, тис. кВт·год/га	Урожайність, т/га	Питома затрата зрошувальної води, м <sup>3</sup> /т	Питома енергозатрапність, кВт·год/т
Зрошення дощуванням при не підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3600	0,18	53,35	67,48	3,37
	озимі зернові	1200	0,06	4,95	242,42	12,12
	овочі	3600	0,18	56,64	63,56	3,18
	кукурудза	2000	0,10	5,81	344,23	17,21
	бобові	3000	0,10	3,17	946,37	31,55
<b>Середньозважене значення:</b>		<b>2800</b>	<b>0,14</b>	–	<b>217,64</b>	<b>9,30</b>
Зрошення дощуванням при підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3000	0,15	52,87	56,74	2,84
	озимі зернові	1200	0,06	5,42	221,40	11,07
	овочі	3000	0,15	50,33	59,61	2,98
	кукурудза	2000	0,10	6,89	290,28	14,51
	бобові	2800	0,08	3,40	823,53	23,54
<b>Середньозважене значення:</b>		<b>2400</b>	<b>0,12</b>	–	<b>189,99</b>	<b>7,73</b>
Удосконалений поверхневий полив затопленням при не підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	4000	0,20	67,84	58,96	2,95
	озимі зернові	1600	0,08	6,50	246,15	12,31
	овочі	3800	0,19	62,81	60,50	3,02
	кукурудза	2200	0,11	6,86	320,70	16,03
	бобові	3200	0,11	3,22	990,71	34,06
<b>Середньозважене значення:</b>		<b>3140</b>	<b>0,16</b>	–	<b>215,90</b>	<b>9,25</b>
Удосконалений поверхневий полив затопленням при підпертому режимі РГВ	багаторічні трави	3200	0,16	64,27	49,79	2,49
	озимі зернові	1400	0,07	5,93	236,09	11,80
	овочі	3600	0,18	69,13	52,08	2,60
	кукурудза	2200	0,11	7,43	296,10	14,80
	бобові	3000	0,10	3,56	842,70	28,09
<b>Середньозважене значення:</b>		<b>2660</b>	<b>0,13</b>	–	<b>191,20</b>	<b>8,16</b>

логії поверхневого поливу супутніх культур остаточне рішення щодо їх застосування має прийматись з урахуванням умов реалізації та конструкції кожної конкретної рисової системи, а також обов'язково економічної й екологічної ефективності її функціонування відповідно до сучасних вимог.

Для співставлення та порівняння результатів прогнозного оцінювання водопотреби й технологічної ефективності зрошення супутніх культур рисової сівозміни в умовах виробництва в табл. 3 наведені їхні усереднені значення при зрошенні традиційним поливом затопленням як провідної культури рису, так і супутніх культур, отримані за результатами функціонування Придунайських РЗС за останні п'ять років упродовж 2015–2019 рр.

Наведені результати показують, що при досягненні врожайності провідної культури затоплюваного рису 5,8 т/га на площі 4,90 тис. га проти 4,8 т/га на площі 1,94 тис. га для супутніх культур, серед яких за площею вирощування переважають (до 70%) зернові культури, показники водопотреби рису, як й інші показники технологічної ефективності його вирощування, значно перевищують аналогічні значення для супутніх культур. Це має місце і загалом по системі за умовами функціонування Придунайських РЗС на сучасному етапі. Одночасно слід також відзначити високий рівень співставності прогнозних значень розглянутої сукупності показників водопотреби та технологічної ефективності зрошення, отриманих для

супутніх зернових культур з їхніми виробничими характеристиками.

**Перспективи подальших досліджень** полягають у необхідності дослідження даного питання за довготерміновим прогнозом можливих змін погодно-кліматичних умов зони рисосіяння України.

**Висновки.** Наявний рівень змін погодно-кліматичних умов, вплив яких вже є відчутним в аграрному виробництві, насамперед у зоні рисосіяння, вимагає адаптації до збільшення величин водопотреби при вирощуванні культур рисової сівозміни на зрошуваних землях РЗС в умовах зростання дефіциту водних ресурсів. За таких умов, сучасний розвиток зрошувальних меліорацій повинен ґрунтуватися на впровадженні нових та прогресивних технологій водорегулювання з урахуванням природно-меліоративних умов конкретного об'єкта, які мають забезпечувати економію водних та енергетичних ресурсів, а також покращення або підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану зрошуваних земель РЗС. Розглянутий підхід дає змогу оцінити та спрогнозувати величини водопотреби різних видів супутніх культур рисової сівозміни у множинних змінних природно-агромеліоративних умовах функціонування РЗС. Результати виконаного дослідження можуть бути ефективно використані при обґрунтуванні режимно-технологічних рішень у проектах реконструкції і модернізації діючих РЗС та розробці адаптивних заходів до прогнозованих змін клімату в регіоні.

3. Усереднені значення показників технологічної ефективності функціонування Придунайських РЗС упродовж 2015–2019 рр. (за даними Кілійського міжрайонного управління водного господарства)

№ з/п	Показники	Рис	Супутні культури	По системі
1	Посівна площа, тис. га	4,90	2,88	7,78
2	в т.ч. зернові та зернобобові (озимі, ярі, кукурудза), тис. га	–	1,94	–
3	Валовий врожай, тис. т	28,4	9,3	–
4	Середня урожайність, т/га	5,8	4,8	–
5	Водозабір, млн м <sup>3</sup>	98,13	2,87	100,10
6	Затрати електроенергії, млн кВт•год	4,54	0,14	4,68
7	Середня зрошувальна норма, м <sup>3</sup> /га	20027	1479	12866
8	Питомі затрати зрошувальної води на одиницю продукції, м <sup>3</sup> /т	3455,28	308,60	–
9	Питомі затрати електроенергії: – на одиницю продукції, кВт•год/т – на одиницю площі, кВт•год/га	159,86 926,53	15,05 72,16	– 601,54

**Бібліографія**

1. Зневоднення. В Україні можуть обмежити використання води. Кому це загрожує? URL: [https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312\\_.html](https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312_.html) (дата звернення: 28.03.2020).
2. Рис Придунав'я: колективна монографія / за ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, П.І. Мендуса, В.О. Турченюка. Херсон: Гринь Д.С., 2016. 620 с.
3. Підвищення ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем: науково-методичні рекомендації / Сташук В.А., Рокочинський А.М., Турченко В.О. та ін. Одеса-Рівне: НУВГП, 2018. С. 107.
4. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України: науково-методичні рекомендації / заг. ред. В.А. Сташука, Р.А. Вожегової, В.В. Дудченка, А.М. Рокочинського, В.В. Морозова. Київ-Херсон-Рівне: НУВГП, 2020. 203 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/16836/> (дата звернення: 03.04.2020).
5. Rokochynskiy, A., Turcheniuk, V., Prykhodko, N., Volk, P., Gerasimov, Ie. & Cengiz Koç. (2020). Evaluation of Climate Change in the Rice-Growing Zone of Ukraine and Ways of Adaptation to the Predicted Changes. Agric Res. URL: <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00473-4>
6. Посібник 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 та ін. Київ: ВАТ «Укрводпроект», 2008. 63 с.
7. 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.
8. Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (розділ 3. Осушувальні системи). Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / Рокочинський А.М. та ін. Рівне: НУВГП, 2006. 50 с.
9. Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / За редакцією академіка УААН Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
10. Спосіб поливу супутніх культур рисової сівозміни: пат. 123380 Україна, № у 201709006; заявл. 11.09.2017; опублік. 26.02.2018, Бюл. № 4.

**References**

1. Znevodnennia, V. Ukraini mozhut obmezhyty vykorystannia vody. Komu tse zahrozhuie? [Dehydration. Water use may be restricted in Ukraine. Who is it at risk?]. Retrieved from [https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312\\_.html](https://m.dt.ua/ECOLOGY/znevodnennya-342312_.html). [in Ukrainian].
2. Stashuk, V., Rokochynskiy A., Mendus, P., & Turcheniuk, V. et al. (2016). Rys Prydunav'ia [Rice Danube]. Kherson, 620. [in Ukrainian].
3. Stashuk, V., Rokochynskiy A., & Turcheniuk, V. et al. (2018). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia Prydunaiskykh rysovykh zroshuvalnykh system [Improving the efficiency of functioning of the Danube rice irrigation systems]. Odessa-Rivne: NUWEE. [in Ukrainian].
4. Stashuk, V., Vozhehova, R., Dudchenko, V., Rokochynskiy A., & Morozov, V., et al. Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system Ukrainy [Improving the efficiency of functioning of rice irrigation systems in Ukraine]. Kyiv-Kherson-Rivne: NUWEE. Retrieved from: <http://ep3.nuwm.edu.ua/16836/>. [in Ukrainian].
5. Rokochynskiy, A., Turcheniuk, V., Prykhodko, N., Volk, P., Gerasimov, Ie., & Cengiz Koç. (2020). Evaluation of Climate Change in the Rice-Growing Zone of Ukraine and Ways of Adaptation to the Predicted Changes. Agric Res. URL: <https://doi.org/10.1007/s40003-020-00473-4>
6. Rokochynskiy, A., Halik, O., Frolenkova, N., Voloshchuk, V., Shalai, S., Zubyk, Ya., Bezduk, V., Zubyk, L., Pokladnov, Ye., Savchuk, T., Koptiuk, R., Nesteruk, L., Volk, P., & Kotiai, L. (2008). Posibnyk do DBN V.2.4.-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushuvalni systemy). Meteorologichne zabezpechennia inzhenerno-melioratyvnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushuvalnykh system [Guide to DBN V.2.4.-1-99 «Reclamation systems and structures» (Chapter 3. Drainage systems) Meteorological support of engineering and reclamation calculations in drainage systems construction and reconstruction projects]. Kiev: (Vidkryte aktsionerne tovarystvo) VAT «Ukrvodproekt». [in Ukrainian].
7. Rokochynskiy, A.M., Stashuk, V.A., Dupliak, V.D., & Frolenkova, N.A. (et al.) (2011). Tymchasovi rekomendatsii z prohnaznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodorehulivannia



osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Temporary recommendations for the predictive assessment of the water regime and water regulatory technologies for drained lands in the projects of construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian].

8. Rokochynskiy, A.M. et al. (2006). Posibnyk do DBN V.2.4-1-99 «Melioratyvni systemy ta sporudy» (Rozdil 3. Osushivalni systemy). Obgruntuvannia efektyvnoi proektnoi vrozhaivosti na osushuvanykh zemliakh pry budivnytstvi y rekonstruktsii melioratyvnykh system [Guide to DBN V.2.4-1-99 «Reclamation systems and structures» (Chapter 3. Drainage systems) Substantiation of the effective project yield on the drained lands during construction and reconstruction of reclamation systems]. Rivne: NUVGP. [in Ukrainian].

9. Rokochinskiy, A. 2010. Naukovi ta praktichni aspekty optimizatsii vodoregulyuvannya osushuvanykh zemel' na ekologo-ekonomichnikh zasadakh: Monografiya [The scientific and practical aspects optimization of water regulation drained lands on environmental and economic grounds. Monograph]. Ed. M.I. Romashchenko. Rivne: NUVGP. ISBN 978-966-327-141-5. [in Ukrainian].

10. Rokochynskiy, A.M., Mendus, P.I., Synhaievych, D.M., Turcheniuk, V.O., Prykhodko, N.V., & Matus, S.V. (2018). Sposib polyvu sputnykh kultur rysovoi sivozminy [The method of watering of the accompanying crops of rice crop rotation]. Patent of Ukraine. № u 201709006. [in Ukrainian].

**А.Н. Рокочинский, В.А. Турченко, П.П. Волк,  
Р.Н. Коптюк, Н.В. Приходько, Д.М. Рычко**

#### **Водопотребность сопутствующих культур на рисовых оросительных системах**

**Аннотация.** Последние исследования погоднo-климатических условий зоны рисосеяния Украины свидетельствуют об устойчивой тенденции к усилению засушливости климата в регионе. Дальнейшее повышение температуры воздуха и снижение естественной влагообеспеченности этих территорий неизбежно приведет к увеличению суммарного испарения и соответственно величины водопотребности при орошении культур рисового севооборота. В таких условиях в регионе прогнозируется существенное обострение существующей проблемы дефицита водных ресурсов, от наличия которых напрямую зависит эффективность выращивания сельскохозяйственных культур на орошаемых землях рисовых систем. В связи с этим, существует объективная необходимость адаптации аграрного производства на орошаемых землях рисовых систем к имеющимся и прогнозируемым изменениям климата, что, прежде всего, требует оценки изменения водопотребности при орошении как ведущей культуры затопляемого риса, так и сопутствующих культур рисового севооборота. В соответствии с этим, в статье представлены результаты оценки величины водопотребности сопутствующих культур рисового севооборота в изменчивых природно-аграрно-мелиоративных условиях функционирования рисовых систем. Исследования выполнены на примере Придунайских рисовых оросительных систем в Одесской области, конструктивные и природно-мелиоративные условия которых являются типичными для большинства рисовых систем Украины. В рамках выполнения исследования реализован широко-масштабный машинный эксперимент на ЭВМ, основанный на комплексе соответствующих прогнозно-имитационных моделей, которые путем долгосрочного прогноза позволяют оценивать погоднo-климатические условия, водный режим, технологии водорегулирования и продуктивность мелиорированных земель. В ходе выполнения эксперимента были исследованы условия формирования суммарного испарения, по которым определены величины водопотребности различных видов сопутствующих культур рисового севооборота для принятых схем технологий и режимов водорегулирования на орошаемых землях рисовых систем в расчетные относительно условий тепло- и влагообеспеченности периоды вегетации. Выполнена оценка технологической эффективности орошения сопутствующих культур рисового севооборота относительно изменчивых природно-агро-мелиоративных условий функционирования рисовых систем и проведено сравнение полученных результатов с реальными производственными данными. Рассмотренный подход позволяет оценить и спрогнозировать водопотребность сопутствующих культур рисового севооборота во множественных изменчивых природно-аграрно-мелиоративных условиях функционирования рисовых систем, а полученные результаты могут быть эффективно использованы при обосновании режимно-технологических решений в проектах реконструкции и модернизации действующих рисовых систем и разработке адаптивных мероприятий к прогнозируемым изменениям климата в регионе.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, рисовые оросительные системы, сопутствующие культуры рисового севооборота, суммарное испарение, водопотребность, технологии водорегулирования.

A.M. Rokochinskiy, V.O. Turcheniuk, P.P. Volk,  
R.M. Koptyuk, N.V. Prykhodko, D.M. Rychko

### Water needs of interplanted crops on rice irrigation systems

**Abstract.** Recent studies of the weather and climatic conditions of the rice-growing zone of Ukraine indicate a steady tendency to increase the aridity of the climate in the region. Further increase of the air temperature and decrease of natural water availability of these territories will lead to the increase of total evaporation and water needs for irrigation of the crops in rice crop rotation. Under such conditions a significant exacerbation of the existing problem of water deficit is expected in the region. The availability of water resources directly affects the efficiency of agricultural production on the irrigated lands of rice systems. In this regard, there is an objective need to adapt agricultural production on the irrigated lands of rice systems to the existed and predicted climate change, which, first of all, requires the assessment of water needs for irrigation both the leading crop of flooded rice and the interplanted crops of rice crop rotation. Accordingly, the article presents the results of the estimation of water needs for irrigation of the interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning. Research was performed on the example of the Danube rice irrigation systems in the Odessa region, design, natural and reclamation conditions of which are typical for the most of rice systems in Ukraine. As a part of the research, it was implemented a large-scale computer experiment, based on a complex of predictive-simulation models, which basing on a long-term forecast, allow to estimate weather and climatic conditions, water regime, water regulation technologies and productivity of reclaimed lands. During the experiment the conditions of total evaporation formation were investigated, water needs of different types of interplanted crops of rice crop rotation were determined for the scheme of technology and regime of water regulation on the irrigated lands of rice systems in the condition of the typical groups of vegetation periods of target years in view of general heat and moisture provision. It was evaluated the technological efficiency of irrigation of the interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning and obtained results with the actual production data were compared. This approach makes it possible to evaluate and predict water needs for irrigation of interplanted crops of rice crop rotation in the variable natural-agro-reclamation conditions of rice system functioning. The obtained results can be effectively used for justification of regime and technological decisions in the projects of reconstruction and modernization of existing rice systems and developing adaptive measures to the predicted climate change in the region.

**Key words:** water resources, rice irrigation systems, interplanted crops of rice crop rotation, total evaporation, water needs, water regulation technologies.