

Національний університет водного господарства та природокористування

СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ

В роботі обґрунтовано необхідність проведення системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів водорегулювання при функціонуванні рисових зрошувальних систем, викладені методичні підходи і результати, сформульовані підходи до вибору проектних критеріїв та умов економічної й екологічної оптимізації при побудові комплексних оптимізаційних моделей у проектах їх реконструкції та експлуатації з урахуванням кліматологічної стратегії управління такими об'єктами. Запропонований комплекс заходів як результат системної оптимізації, орієнтовані на покращення природно-меліоративного стану рисових зрошувальних систем, підвищення їх технологічної та технічної досконалості, запровадження водо- та ресурсозберігаючих режимів зрошення рису та супутніх культур рисової сівозміни.

Ключові слова: системна оптимізація, природно-меліоративний режим, рисова зрошувальна система, еколого-економічні засади

Постановка проблеми

Одним із стратегічно важливих та актуальних завдань розвитку аграрного сектора економіки України на сучасному етапі є відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу галузі рисівництва, що неможливе без підвищення загальної технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності функціонування існуючих рисових зрошувальних систем (РЗС). Загострення екологічних проблем у зрошуваному землеробстві і, особливо в рисівництві,

вимагає узгодження економічних та екологічних цілей, при яких досягається найбільший сукупний еколого-економічний ефект. Це можливо шляхом упровадження заходів, які направлені на формування таких агросистем, яким притаманна екологічна стабільність природного середовища та висока відтворювальна спроможність на основі використання науково обґрунтованих, ресурсозберігаючих технологій зрошувального землеробства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Тому метою сучасної меліорації земель повинно бути не тільки збільшення сільськогосподарської продукції, але й збереження та покращання родючості ґрунтів за умови раціонального використання природних ресурсів і охорони навколишнього середовища [2].

Рисові системи мають низку особливостей, що відрізняють їх від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення. Ці особливості зумовлені складними ґрунтовими, геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їх улаштування територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Особливість технології водорегулювання при вирощуванні затоплюваного рису полягає у створенні та підтриманні на рисових полях необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови їх використання у якості угідь сільськогосподарського призначення, що забезпечуються відповідними режимами водоподачі та водовідведення, які витрачаються на створення шару води на полі у відповідності з біологічними особливостями та потребами культури рису, а також транспірацію і фільтраційні втрати. Суть промивного водного режиму полягає тут в зниженні сезонної акумуляції солей у верхніх горизонтах та вимивання їх низхідними токами води в нижні горизонти і в дренажну мережу. Забезпечення необхідного рівня промивності рисового поля як у період створення і підтримання шару води на ньому, так і у період його осушення, є необхідною умовою підвищення продуктивності рисосіяння та покращення еколого-меліоративного стану в межах системи та на прилеглий території.

У світлі сучасних економічних та екологічних вимог до такого роду об'єктів виникає потреба переходу від звичної практики розгляду РЗС не суто як технічних, а як складних природно-технічних систем з відповідною зміною усієї методології, технічної та технологічної стратегії їхнього створення й функціонування, а також безпосереднього врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером природно-кліматичних умов, оскільки саме вони, разом з меліоративними чинниками, справляють визначальний вплив на загальний природно-меліоративний режим земель РЗС та створюваний відповідний еколого-економічний ефект [9, 10].

Як показують практика і накопичений досвід, вирішення такої складної проблеми для існуючих РЗС, які по суті є також і еколого-економічними

об'єктами [11], вимагає застосування відповідних комплексних і системних рішень, насамперед, оптимізації їх природно-меліоративного режиму.

Природно-меліоративний режим (ПМР) [5, 10] – це сукупність водного, повітряного, теплового, поживного, окисно-відновного та інших ґрунтових режимів, що регулюються за допомогою гідромеліоративних, агротехнічних і організаційних заходів на фоні природних чинників в умовах зрошуваної, в тому числі рисової системи. Головне завдання підтримання сприятливого ПМР – узгодження потреб розширеного відтворення родючості ґрунту і охорони природи в умовах інтенсивного землеробства, що забезпечує отримання заданих урожаїв сільськогосподарських культур з дотриманням екологічних вимог.

Природно-меліоративний режим РЗС визначається цілою низкою факторів, головними з яких є природні (кліматичні фактори), технологічні (подача та відведення води), конструктивні (конструкція та параметри зрошувальної і дренажно-скидної мережі тощо). Результати досліджень [5] свідчать про те, що найбільш суттєвий вплив на ПМР діючих РЗС здійснює дренажно-скидна мережа, яка на рисових системах визначає інтенсивність та направленість фільтраційних процесів, що мають місце при тривалому перезволоженні ґрунтів в умовах застосування поливу затопленням. Дренажно-скидна мережа на РЗС направлена на формування їх водного і сольового режимів і є визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь та гарантом підтримання належного еколого-меліоративного стану зрошуваних земель рисової системи.

Мета, завдання та методика досліджень

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем шляхом оптимізації їх природно-меліоративного режиму.

Для досягнення вказаної мети вирішувалися завдання:

- розвиток теоретичних основ і розробка сучасних підходів до системної оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання на РЗС на еколого-економічних засадах щодо різних рівнів прийняття у часі в проектах їх реконструкції та експлуатації;

- дослідження, аналіз й оцінка режимних, технологічних та технічних аспектів водорегулювання на РЗС у їхньому взаємозв'язку в змінних природно-агро-меліоративних умовах;

- розробка загальних принципів побудови та реалізації моделей оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання на РЗС на еколого-економічних засадах;

- удосконалення методів розрахунку й оптимізації при розв'язанні комплексу прогнозно-оптимізаційних завдань з водорегулювання на РЗС у проектах їх будівництва, реконструкції та експлуатації, впровадження та оцінка їхньої ефективності.

Результати досліджень

За аналогією з [7, 9] РЗС являє собою складну *природно-технічну еколого-економічну систему*, яка потребує одночасного поєднання технічних, технологічних, економічних й екологічних інтересів на основі **системної оптимізації**. Суть системної оптимізації полягає у знаходженні в ідеалі всіх проміжних і локальних оптимумів за всіма основними елементами технології водорегулювання (насосна станція, водоподаюча мережа, дренажно-скидна мережа, водоподача, водовідведення), всіма основними змінними факторами в просторі і часі, які впливають на ефективність водорегулювання та природно-меліоративний режим РЗС в цілому (клімат, рельєф, склад культур сівозміни, гідрогеологічні умови та ін.) для всіх рівнів реалізації відповідної моделі оптимізації. Тоді, оскільки в складних природно-технічних еколого-економічних системах, згідно з [5, 9], має місце виражений зв'язок виду *ефект-режим-технологія-конструкція*, то для діючих РЗС системна оптимізація полягає в науковій оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму, удосконаленні технології водорегулювання та конструктивних рішень щодо їх забезпечення.

Оптимізація природно-меліоративного режиму РЗС, виходячи з необхідності створення та підтримання промивного водного режиму на зрошуваних засолених землях як основного фактора забезпечення їх сприятливого агро-меліоративного стану, а також підвищення загальної технічної, технологічної, економічної і екологічної ефективності системи, може бути зведена, в результаті, до оптимізації інтенсивності фільтрації при поверхневому поливі провідної культури рису за рахунок відповідного співвідношення між подачею і відведенням води при відповідному режимі зрошення. Саме фільтраційний режим, який формується на поливних рисових картах у період підтримання шару води при вирощуванні рису, а також у подальшому і в поза вегетаційний період, визначає їх загальний еколого-меліоративний стан, а також дає оцінку технологічній ефективності роботи дренажної мережі в різні періоди функціонування РЗС.

На підставі та в розвиток [11, 10], системна оптимізація на еколого-економічних засадах режимних, технологічних та конструктивних рішень на стадії проектування реконструкції РЗС з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом може бути реалізована за такою загальною комплексною моделлю виду:

$$\begin{cases} ZP_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ksp} \cdot a_p; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s}; \\ Z_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum |Z_{jks} - \hat{Z}_j| \cdot a_p; j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s}, \end{cases} \quad (1)$$

де ZP_{iks}^0 – мінімальне значення приведених витрат за прийнятою умовою обраного критерію економічної оптимальності ZP_{ksp} , що відповідає оптимальному проектному рішенню із сукупності можливих варіантів $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

Z_{jks} – сукупність $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності водорегулювання на РЗС за сукупністю проектних рішень $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, відповідною технологією водорегулювання $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$;

\hat{Z}_j – відповідні лімітуючі показники екологічної ефективності, що розглядаються;

α_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 проектного терміну функціонування

$$\text{об'єкта, } \sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1.$$

При цьому, виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків на довготерміновій основі має ґрунтуватися на сумісній реалізації за схематизованими вихідними даними та умовами реального об'єкта ієрархічно зв'язаного комплексу прогнозно-імітаційних моделей, моделей показників та критеріїв ефективності, моделей технологічних та технічних параметрів і, зрештою, моделей та умов оптимізації проектних рішень з водорегулювання на РЗС [9, 10].

Згідно з [11], в якості економічного критерію та умови оптимізації конструкції і параметрів дренажу РЗС на стадії проекту вважаємо за доцільне розглядати показник приведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику R_i при відхиленні водного режиму рисового поля від оптимального у розрахункові як у позавеgetацію осінньо-весняний (передпосівний), так і у вегетаційний періоди роботи системи на реалізацію відповідних варіантів проектних рішень (ПР) сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$

$$ZP_i = Z_i \cdot k_{Z_i}^V = [(C_i + E_n K_i) + R_i] / V_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2)$$

де $k_{Z_i}^V$ – коефіцієнт зведення приведених витрат Z_i за обсягом (вартістю) V_i отриманої продукції за варіантами режимних, технологічних та технічних рішень сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, який визначається оберненим співвідношенням $1/V_i$;

C_i – поточні витрати на отримання продукції за варіантами ПР;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень K_i за відповідними варіантами ПР;

R_i – погодно-кліматичний ризик за відповідними варіантами проектних рішень.

Погодно-кліматичний ризик, згідно з [11] – це можливість втрати або недоотримання прибутку в результаті впливу несприятливих факторів під час проведення господарської діяльності, або імовірність виникнення непередбачених втрат очікуваного прибутку чи доходу, у зв'язку з випадковою зміною умов економічної діяльності, впливом несприятливих обставин тощо.

Він визначається за формулою

$$\overline{R}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \overline{W}_{ii})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де W_{ij} – вартість валової продукції за фактичною врожайністю вирощуваних сільськогосподарських культур, отриманою за i -тим варіантом ПР, грн/га;

\overline{W}_{ii} – вартість валової продукції за потенційно можливою їх врожайністю на об'єкті, грн/га.

У виразі (2) поточні витрати C_i на отримання продукції складаються із сільськогосподарських C_i^{cs} і експлуатаційних C^e витрат. Останні включають відрахування на амортизацію і ремонт A_i , меліоративні витрати C_i^M – на догляд за системою та витрати на воду C_i^g для проведення зволожувальних заходів на РЗС.

Що стосується екологічного оцінювання меліоративних заходів, то це надзвичайно складне питання, яке досі не вирішене через низку причин, перш за все, об'єктивного характеру, а саме, через надзвичайну складність визначення економічних наслідків їх негативного впливу на природне середовище [4]. Вартісна оцінка екологічних факторів завжди пов'язана з певними умовностями і показники екологічного ефекту від реалізації меліоративних проектів дуже складно, а іноді навіть неможливо обчислити у грошовому виразі. Тому більш правомірним є підхід до врахування екологічних факторів, що заснований на їх якісній або відносній оцінці. Саме тому існує необхідність і доцільність використання та подальшого розвитку існуючих підходів залежно від поставленої мети, задач, складності та наявних інформаційних можливостей.

Тому, за аналогією з [10, 11], визначення екологічно прийнятних варіантів проектних рішень на рівні рисового поля і системи в цілому у загальному вигляді можуть бути представлені у вигляді необхідних умов та обмежень за визначеною, обґрунтованою і прийнятою до розгляду сукупністю фізичних показників (критеріїв) оцінювання водного, сольового і загального природно-меліоративного режиму як рисового поля, так і системи: за режимом рівня ґрунтових вод у позавеgetаційний період (Hg); тривалістю глибини їх стояння нижче критичної глибини (T); інтенсивністю фільтраційних процесів під затопленим рисовим полем (V), ступенем засолення кореневмісного шару ґрунту (S); зрошувальною нормою (M); мінералізацією ґрунтових вод (G) тощо.

$$Z_{jks} = (Hg_{ks}, T_{ks}, V_{ks}, S_{ks}, M_{ks}, G_{ks}), \quad j = \overline{1, n_j}, \quad k = \overline{1, n_k}, \quad s = \overline{1, n_s}. \quad (4)$$

За такими показниками, порівняно з їх граничними значеннями, відповідно до конкретних ґрунтово-меліоративних умов об'єкта, можна передбачити направленість процесів, що відбуваються на рисовому полі і системі в цілому, тим самим, неявно оцінити екологічний ефект від реалізації меліоративних заходів.

Формально це може бути представлено як у комплексні моделі (1) або більш детально

$$Z_{ji} \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} Z_j, \quad j = \overline{1, n_j}, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5)$$

Обґрунтування оптимальних загального природно-меліоративного та ґрунтових режимів, відповідно до параметрів технологічних та технічних проектних рішень на РЗС за інтегральною оцінкою сукупності показників їхньої екологічної ефективності, може бути достатньо ефективно виконане на основі методу Б. П. Карука [1].

За цим підходом характеристику екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна представити у вигляді вектора H з компонентами H_z

$$H = H_z / z = 1, 2, \dots, N /, \quad (6)$$

де N – кількість елементів (факторів), які характеризують екологічну надійність меліоративного проекту.

Тут компоненти H_z приймають відповідні значення за умови, що

$$H_z = \begin{cases} 1, & \text{якщо } H_z \leq H_{nz}; \\ 0, & \text{якщо } H_z > H_{nz}, \end{cases} \quad (7)$$

де H_{nz} – нормативне, критичне або допустиме значення z -го елемента.

При допущенні, що в системі факторів всі вони є однаково важливими, можна відсутність певного елемента вважати як відповідне зменшення міри екологічної надійності.

Тоді коефіцієнт екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна визначити за формулою

$$k_n = \frac{\sum_{z=1}^N H_z}{N}. \quad (8)$$

У даному разі, коли компоненти H_z приймають фіксовані значення «0» або «1», такий коефіцієнт являє собою наближену оцінку екологічної стійкості проекту і ступінь урахування факторів екологічної надійності його функціонування, в першу чергу, з точки зору підтримання сприятливих загального природно-меліоративного та ґрунтових режимів у межах проектного терміну.

У розвиток та на відміну від розглянутого підходу, нами пропонується більш гнучкий інструмент визначення компоненти H_z , коли вона приймає більш гнучкі значення в інтервалі від 0 до 1 за умови, що

$$H_z = \begin{cases} H_z = 1 - \left(\frac{H_{iz} - H_{\hat{oz}}}{H_{iz}} \right), & \text{якщо } H_{\hat{oz}} \leq H_{iz}; \\ H_z = 1 + \left(\frac{H_{iz} - H_{\hat{oz}}}{H_{iz}} \right), & \text{якщо } H_{\hat{oz}} \geq H_{iz}, \end{cases} \quad (9)$$

де $H_{\hat{oz}}$ – фактичне значення z -го показника екологічної ефективності;

H_{iz} – відповідно нормативне, критичне або допустиме його значення, яке відповідає \hat{Z}_j .

Даний підхід до оцінювання екологічної надійності проекту відрізняється від класичної теорії надійності, де фігурують імовірнісні величини, проте він є

досить простим та універсальним за своєю суттю, оскільки дає змогу залежно від постановки завдання використовувати різні, переважно експертні методи оцінювання та будь-який комплекс різнорідних показників.

Таким чином, екологічно оптимальні загальний природно-меліоративний та ґрунтовий режими земель РЗС, за розглянутою методикою, забезпечуються за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності за варіантом меліоративного проекту знаходиться в інтервалі значень

$$0,5 < k_{n_i} \leq 1,0. \quad (10)$$

Запропонована схема оцінювання екологічної надійності меліоративного проекту є досить універсальною, оскільки в якості складових елементів надійності може виступати будь-який комплекс факторів як кількісних, так і якісних, які характеризують еколого-меліоративний стан території.

Враховуючи попередні результати досліджень [5], якими визначаються параметри водо- та енерговикористання щодо раціонального та ресурсозберігаючого рівнів ефективності функціонування Придунайських РЗС і які дають змогу знизити, порівняно з проектним, затрати водних й енергетичних ресурсів залежно від умов тепло- та вологозабезпеченості років та підвищити загальний рівень технічної експлуатації рисових систем, нами були сформовані відповідні варіанти досліджень, за якими була здійснена системна оптимізація природно-меліоративного режиму, технології водорегулювання та основних конструктивних елементів Придунайських РЗС щодо конструкції та параметрів дренажно-скидної мережі за розглянути методами.

Як варіанти досліджень нами були розглянуті наступні:

- варіанти 1...3 – конструкція та параметри дренажу, згідно з рекомендаціями Мендуся С. П. [3];
- варіанти 4...8 – удосконалена нами конструкція дренажно-скидної мережі на картах-чеках шляхом улаштування проміжних закритих дренажних колекторів [5];
- варіанти 9...12 – конструкція та параметри існуючої дренажно-скидної мережі у вигляді відкритих каналів [5].

Оптимізація оптимальних параметрів дренажу здійснювалася з урахуванням оптимальних параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС, а також встановленого оптимального показника дольової частки рису в сівозміні – 50...60%.

Розрахунок економічних показників здійснювався за цінами і розцінками 2015 року.

Узагальнені результати такої оцінки наведені в таблицях 1, 2.

Таблиця 1. Основні результати оптимізаційних розрахунків для Придунайських РЗС щодо обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на рисових картах-чеках

Варіанти ПР	Відстань між дренами	Глибина залягання РГВ в осінньо-зимовий період, м	Швидкість вертикальної фільтрації з поверхні рисового поля V, мм/добу	Капіталовкладення, грн/га	Амортизаційні відрахування, грн/га	Сільськогосподарські витрати, грн/га	Меліоративні витрати, грн/га	Вартість проектної валової продукції, грн	Вартість фактичної валової продукції, грн	Погодно-кліматичний ризик	Показник приведених витрат з врахуванням погодно-кліматичного ризику
1	50	1,86	27,1	149311,2	7465,6	10353,0	11768,7	55800	31248,0	16663,3	2,20
2	75	1,78	12,0	112712,4	5635,6	11764,9	11063,9	55800	39606,8	16193,2	1,55
3	85	1,75	9,4	107484,0	5374,2	13670,6	10938,6	55800	50889,6	4910,4	1,00
4	100	1,59	6,8	97027,2	4851,4	14125,8	10497,1	55800	53584,7	2215,3	0,86
5	125	1,49	4,7	86570,4	4328,5	13086,3	10718,8	55800	47430,0	8370,0	1,04
6	150	1,35	3,0	83433,4	4171,7	12187,1	10639,0	55800	42106,7	13693,3	1,26
7	175	1,23	2,2	81342,0	4067,1	10894,9	9023,6	55800	34456,5	21343,5	1,67
8	200	1,11	1,7	73499,4	3675,0	10248,3	8999,1	55800	30628,4	25171,6	1,93
9	225	0,95	1,3	70885,2	3544,3	9206,8	8982,4	55800	24462,0	31338,0	2,60
10	250	0,83	1,0	65656,8	3282,8	8856,3	8970,4	55800	22387,0	33413,0	2,88
11	300	0,60	0,7	61996,9	3099,8	7600,0	8954,8	55800	14948,8	40851,2	4,67
12	500	0,40	0,3	55200,0	2760,0	7286,1	8932,0	55800	13090,7	42709,3	5,34

Таблиця 2. Оцінка екологічної надійності варіантів ПР залежно від створюваної швидкості вертикальної фільтрації на рисових картах-чеках

Швидкість вертикальної фільтрації V, мм/добу	Компонента Hz за Hg	Компонента Hz за T	Компонента Hz за S	Компонента Hz за G	Компонента Hz за M	Коефіцієнт екологічної надійності, кн
0,5	0,80	0,82	0,51	0,43	0,24	0,56
1,0	0,95	0,98	0,55	0,50	0,28	0,65
2,0	1,00	1,00	0,67	0,60	0,33	0,72
4,0	0,93	0,93	0,73	0,75	0,50	0,77
6,0	0,87	0,89	0,80	0,86	0,61	0,80
8,0	0,80	0,93	0,89	1,00	0,74	0,87
10,0	0,67	0,86	1,00	0,83	0,77	0,83
12,0	0,70	0,86	1,00	0,73	0,77	0,81
14,0	0,65	0,86	0,75	0,67	0,83	0,75
16,0	0,59	0,82	0,63	0,50	0,96	0,70
18,0	0,50	0,79	0,50	0,33	0,91	0,61

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків оптимальний, економічно вигідний варіант проектного рішення щодо розрахункової відстані між дренажно-скидними каналами і додатковими закритими дренажними колекторами для умов Придунайських РЗС становить 100 м. Така міждренна відстань, на відміну від існуючої 200...500 м між відкритими дренажно-скидними каналами, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі промивного водного режиму з оптимальною інтенсивністю вертикальної фільтрації 6...8 мм/добу. Порівняно з Мендусем С. П.[3], який на основі гідромеханічного способу розрахунку, визначив необхідну відстань між систематичним закритим дренажем 70...75м, оптимізаційний метод дає змогу отримати економічний ефект – 1343,5 грн з кожного гектара рисової системи.

Доцільність запропонованих проектних рішень, які направлені на підвищення дренажності рисових полів як головної умови створення промивного водного режиму, з яким пов'язане, в цілому, ефективне функціонування РЗС, підтверджується оцінкою їх екологічної надійності. Так коефіцієнт екологічної надійності при створенні та підтриманні необхідного рівня промивності на рисовому полі у період вегетації 6...8 мм/добу дорівнює 0,80...0,87, що відповідає необхідним вимогам.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, системна оптимізація природно-меліоративного режиму РЗС на еколого-економічних засадах дає змогу підвищити загальну ефективність функціонування РЗС з врахуванням економічних та екологічних вимог через узгодження параметрів, рівня конструктивної та екологічної надійності й відповідно вартості цих рішень з рівнем створюваного загального ефекту при їхній реалізації.

Безперечно, що отримані загальні рекомендації повинні у подальшому уточнюватися для умов кожного реального об'єкта, який буде розглядатися, за відповідними техніко-економічними та екологічними показниками.

Література

1. Карук Б. П. Экологическое обоснование проектов мелиоративных систем : конспект лекций / Б. П. Карук. – К. : Изд-е ВИПК Минводстроя СССР, 1989. – 110 с.
2. Маслов Б. С. Мелиорация и охрана природы / Б. С. Маслов, И. В. Минаев. – М. : Россельхозиздат, 1985. - 271 с.
3. Мендусь С. П. Обґрунтування необхідності та посилення дренажності поливних карт рисових систем (на прикладі Придунайських рисових зрошувальних систем) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 06.01.02 «Сільськогосподарські меліорації» / Мендусь С. П. – Рівне, 2012. – 21 с.

4. Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України. – Рівне : НУВГП, 2005. – 50с.

5. Айдаров И. П. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский. – М. : Агрометеиздат, 1990. – 60 с.

6. Пат. № 104000 Україна, МПК (2015.01) E02B 13/00, E02B 11/00. Карта – чек рисової системи з закритою дренаю-колектором / А.М. Рокочинський, В.О.Турченко, С.М. Кропивко, С.П. Мендусь; власник НУВГП. – № 2015 06186; заявл. 23.06.2015; опублік. 12.01.2016р, Бюл. №1. – 6 с.

7. Сташук В. А. Рис в Україні : монографія / В. А. Сташук, А. М. Рокочинський, Л. М. Грановська. – Херсон : Грінь Д.С., 2014. – 976 с.

8. Рис Придунав'я : [кол. монографія] /за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинський, П. І. Мендусь, В. О. Турченко. – Херсон : Грінь Д.С., 2016. – 620 с.

9. Рокочинский А. Н. Системная оптимизация водорегулирования на мелиорированных землях / А. Н. Рокочинский // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14-17 сент. 2016 г.) : в 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2016. – Т. 2. – С. 111–114.

10.Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / А. М. Рокочинський ; за ред. М. І. Ромашенка. – Рівне : НУВГП, 2010. – 351 с.

11.Фроленкова Н. А. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія / Н. А. Фроленкова, Л. Ф. Кожушко, А. М. Рокочинський. – Рівне : НУВГП, 2007. – 257 с.