

## ГІДРОТЕХНІЧНІ МЕЛІОРАЦІЇ

УДК 631/635 (043.3)

<https://doi.org/10.31713/vt120181>

Турченко В. О., к.т.н., Рокочинський А. М., д.т.н. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ

Обґрунтовано та розроблено підходи до оптимізації на еколого-економічних засадах технічних і технологічних рішень з водорегулювання у проектах реконструкції та експлуатації рисових зрошувальних систем (РЗС). Досліджено та оцінено режимні, технологічні та технічні аспекти водорегулювання на РЗС у взаємозв'язку в змінних природно-агро-меліоративних умовах на прикладі Придунайських РЗС. Розроблено загальні принципи побудови й реалізації моделей оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання на РЗС на еколого-економічних засадах.

**Ключові слова:** системна оптимізація, рисова зрошувальна система, ефективність функціонування, водорегулювання.

**Вступ.** Сталий розвиток зрошувальних меліорацій, як одного з найважливіших факторів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та невід'ємної складової продовольчого і ресурсного забезпечення населення, потребує раціонального та ефективного використання водних та енергетичних ресурсів і, одночасно, забезпечення екологічної стійкості природних ландшафтів та територій.

При цьому, одним зі стратегічно важливих і актуальних завдань розвитку сільськогосподарського виробництва й зрошувального землеробства на сучасному етапі є відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу галузі рисівництва на основі підвищення ефективності водо- та енергокористування й покращення загального еколого-меліоративного стану (ЕМС) існуючих рисових зрошувальних систем (РЗС).

Комплексність та надзвичайна складність вирішення даної проблеми визначають необхідність запровадження ефективних методів управління їх меліоративним станом з урахуванням сучасних технічних, технологічних, екологічних й економічних вимог до їх функціонування на основі подальшого розвитку теорії оптимізації щодо водо- та енергокористування, методів та засобів їх реалізації.

Це підвищує вимоги до якості оцінювання, прогнозування й оптимізації управління водним, сольовим і загальним природно-меліоративним режимами (ПМР) РЗС, як обов'язкової умови розв'язання означеної проблеми, через формалізацію цих процесів на всіх стадіях побудови схем прийняття рішень у часі при їх проектуванні та експлуатації.

Оскільки РЗС представляють собою надзвичайно складний та специфічний об'єкт досліджень в силу умов їх створення та функціонування, порівняно з іншими традиційними меліоративними, зокрема зрошувальними системами, то за методологічну основу розв'язання означеної проблеми останнім часом приймалось, а тому прийнято і нами системний підхід та системний аналіз з його невід'ємними складовими – методом оптимізації та моделювання складних об'єктів і систем.

### **Огляд літературних джерел**

Різні аспекти від режимних, технологічних, технічних до еколого-економічних розглядалися в численних публікаціях відповідних фахівців різного профілю. Так питання ефективного використання водних ресурсів при вирощуванні рису в умовах дефіциту води та необхідності управління зрошувальною водою для підвищення продуктивності рисівництва розглядаються в роботах [1–6].

Позитивні результати виробництва основного продукту харчування більшої частини людства – рису, та його вплив на навколишнє природне середовище наводяться в [2; 5].

Що стосується питань оптимізації водо- та енергокористування при створенні й функціонуванні меліоративних систем, в тому числі РЗС, то вони мають переважно пошуковий і постановочний характер [6]. За результатами досліджень [3] запропоновано модель для оптимізації рішень з використання водних ресурсів при вирощуванні рису для отримання високих врожаїв рису з меншою кількістю зрошувальної води.

Оптимізаційна модель для розробки оптимальних графіків зрошування для рисової культури протягом періоду вегетації в умовах дефіциту води пропонується дослідженнями [4].

Актуальні проблеми щодо зниження енергетичних затрат на рисових системах водогосподарського комплексу Нижньої Кубані розглянуті в [5]. В результаті досліджень розроблено та наведено параметри оптимізації рисових зрошувальних систем, які дозволяють знизити енергозатрати на їх колекторно-дренажній мережі.

Визначення оптимальних параметрів зрошувальної мережі рисових систем за оптимізаційним підходом розглядалися в роботі [7].

Відсутність відповідних технічних критеріїв для встановлення оптимальних розмірів зрошувальних каналів призводить до низької ефективності багатьох іригаційних схем. Тому на основі оптимізаційного підходу встановлюються такі розміри каналів, які є економічними і призводять до мінімальних втрат зрошувальної води.

Таким чином, дослідження на рисових системах зводяться, в основному, до вирішення окремих, переважно вузьких питань їх функціонування.

В цілому, за минулий період головна увага приділялась переважно питанню підвищення врожайності сільськогосподарських культур без урахування збереження та покращення родючості ґрунтів, раціонального використання земельних, водних й інших ресурсів, охорони довкілля. Це зумовлене виникненням широкого кола гострих проблем щодо дефіциту водних ресурсів, підтоплення, неефективного використання водних, енергетичних й інших ресурсів, деградації меліорованих ґрунтів тощо. Дана проблема значно загострюється в умовах зміни клімату.

Водночас, підходи до обґрунтування комплексу заходів з комплексної оптимізації режимних, технологічних та технічних рішень при створенні та функціонуванні розроблені недостатньо через виражену специфічність РЗС (складні гідрогеологічні умови, засоленість ґрунтів, ґрунтових вод тощо). Це визначає необхідність поєднувати в одній оптимізаційній моделі різномірні критерії. Зокрема, економічні критерії, що виражені у вартісному вигляді і характеризують економічну ефективність меліоративних заходів. А також екологічні критерії, що представлені сукупністю відповідних фізичних показників водного, сольового та інших режимів і характеризують екологічну ефективність РЗС. Тому питання створення єдиної еколого-економічної оптимізаційної моделі залишається актуальним і потребує пошуку нових підходів до його вирішення.

**3. Ціль та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення загальної ефективності водо-та енергокористування на основі оптимізації режимних, технологічних і технічних рішень з водорегулювання при створенні та функціонуванні РЗС з урахуванням сучасних економічних й екологічних вимог.

Для досягнення вказаної мети вирішувалися завдання:

- розвинути теоретичні засади й розробити сучасні підходи до комплексної (системної) оптимізації на еколого-економічних засадах режимних, технологічних і технічних рішень з водорегулювання у проектах реконструкції та експлуатації РЗС;

- дослідити та оцінити режимні, технологічні та технічні аспекти

водорегулювання на РЗС у взаємозв'язку в змінних природно-агро-меліоративних умовах на прикладі Придунайських РЗС (ПРЗС);

– розробити загальні принципи побудови й реалізації комплексних моделей оптимізації режимних, технологічних і технічних рішень з водорегулювання на РЗС на еколого-економічних засадах.

**4. Наукові підходи та принципи реалізації моделі системної оптимізації на РЗС.** Оскільки в складних природно-технічних та аналогічних системах чітко простежується структурний зв'язок виду **ефект**  $\Leftrightarrow$  **режим**  $\Leftrightarrow$  **технологія**  $\Leftrightarrow$  **конструкція** [8; 9], то стосовно розглянутої проблеми щодо оптимізації водо-та енергокористування на РЗС, а відповідно **режимних** (природно-меліоративний режим як водний, сольовий та фільтраційний режими), **технологічних** (водоподача, водовідведення, енергозатрати) і **технічних** (конструкція, параметри тощо) **рішень** із застосуванням принципів системного підходу до її розв'язання як складної проблеми, вважаємо, що в основу їх прийняття стосовно різних часових рівнів (1 – проект, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління) має бути покладене наступне співвідношення у вигляді ієрархічної блочної структури: **(врожай)**  $\Leftrightarrow$  **(екологічний ефект)**  $\Leftrightarrow$  **(природно-меліоративний режим)**  $\Leftrightarrow$  **(технологія водорегулювання)**  $\Leftrightarrow$  **(тип, конструкція, параметри)** системи та її елементів.

Складові такого структурного співвідношення взаємозумовлені та взаємозв'язані між собою і для РЗС можуть бути представлені такою структурною схемою, наведеною на рисунку.

Для рисових систем ключовим блоком є «Режимний блок», оскільки, з одного боку, визначає загальний еколого-економічний ефект, а також технічні і технологічні рішення для його забезпечення – з іншого. Оптимальні параметри ПМР забезпечуються оптимальними параметрами технології водорегулювання та відповідними оптимальними параметрами конструктивних рішень.

На РЗС оптимізація ПМР зводиться до оптимізації промивного водного режиму або відповідних параметрів фільтрації при застосуванні поверхневого поливу затопленням, оскільки створення та підтримання мінімально необхідного рівня промивності зрошуваних засоленних ґрунтів за рахунок фільтрації поливної води на карті-чеку є ключовою особливістю та необхідною умовою ефективного функціонування існуючих рисових систем, що побудовані в складних гідро-геологічних умовах.

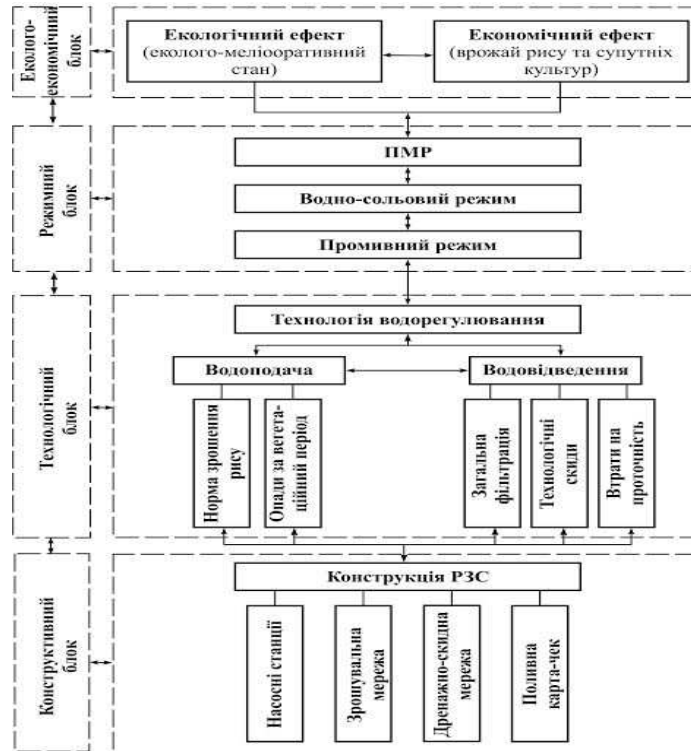


Рисунок. Структурна схема взаємозв'язку основних складових елементів щодо умов та створюваного ефекту при функціонуванні РЗС

В розвиток та на відміну від наукових положень [9] формалізація моделі оптимізації параметрів ефективності меліоративних заходів на РЗС може бути представлена таким чином: **параметри ефекту**  $\Leftrightarrow$  **оптимальні параметри режиму**  $\Leftrightarrow$  **оптимальні параметри технології**  $\Leftrightarrow$  **оптимальні параметри конструкції**.

Тоді, функціональний зв'язок між його складовими, у загальному випадку, може бути представлений як системна оптимізація, коли послідовно розглядається взаємозв'язок між оптимальними параметрами режиму та технології водокористування з параметрами конструкції та її елементів на РЗС для заданого рівня ефективності

$$\hat{y}_i = f_1^* \left( f_2^* \left( f_3^* (z_i) \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (1)$$

де  $\hat{y}_i$  – задана величина загального еколого-економічного ефекту  $FE_i$ , який складається з параметрів продуктивності (врожайності) вирощуваних сільськогосподарських культур  $FY_k$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$  та відповідних параметрів створюваного екологічного ефекту  $FZ_{ji}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$  на системі;

$f_1^*$  – функція оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму  $FR_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$f_2^*$  – функція оптимізації параметрів технологій водорегулювання  $FS_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;

$f_3^*$  – функція оптимізації параметрів конструктивних рішень щодо РЗС  $FK_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  та реалізації відповідних технологій водорегулювання;

$i$  – сукупність  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  можливих варіантів функціонування РЗС як складних природно-технічних еколого-економічних систем (СПТЕЕС), тобто реалізації відповідних технічних і технологічних рішень з водорегулювання на системі у відповідних природно-агромеліоративних умовах реального об'єкта.

Тоді, пошук оптимальних параметрів складових складеної функції (1) і, в першу чергу, параметрів режимів та пов'язаних з ними технологічних рішень щодо способів водорегулювання на РЗС і технічних рішень щодо типу й конструкції систем, що їх забезпечує, а також складових їх технічних елементів (дренажно-скидна мережа, зрошувальні канали, регулюючі гідротехнічні споруди, насосні станції тощо), залежно від створюваного загального еколого-економічного ефекту, формально може бути здійснений через відповідні обернені функції:

- щодо оптимальних параметрів режимів водорегулювання  $z_{1i}^*$

$$z_1^* = f_1^{*-1}(\hat{y}_i), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (2)$$

- щодо оптимальних параметрів технологій  $z_{2i}^*$

$$z_2^* = f_2^{*-1}\left(f_1^{*-1}(z_1^*)\right), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (3)$$

- щодо оптимальних параметрів конструкції  $z_{3i}$

$$z_3^* = f_3^{*-1}\left(f_2^{*-1}\left(f_1^{*-1}(z_1^*)\right)\right), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (4)$$

В основу реалізації функцій оптимізації (2-4) мають бути покладені дослідження закономірностей взаємозв'язаних процесів руху води, солей та фільтрації у всіх різних за своєю природою складових елементах (підсистемах) РЗС та існуючі підходи до розв'язання оптимізаційних задач у СПТЕЕС

$$z_i^* = \text{extr}(z_i), \quad i = \overline{1, n_i} . \quad (5)$$

І хоча розглянуті складені функції (1-5) на даному етапі досліджень не можуть бути досить адекватно виражені аналітично, все ж вони теоретично обґрунтовують можливість подальшої постановки задачі та пошуку оптимальних параметрів режимних, технологічних і технічних рішень з водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах, бодай на емпіричному або навіть на значно об'єктивнішому, емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

Таким чином, **системна оптимізація** водо- та енергокористування на РЗС визначає за необхідне обґрунтування відповідних критеріїв економічної та екологічної ефективності і комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей з їх визначення відповідно до прийняття рішень щодо їх реалізації в часі (проект, планова експлуатація, оперативне управління об'єктом).

**Висновки.** Запропонований методичний підхід та принципи його реалізації дають змогу підвищити загальну ефективність функціонування РЗС. Він враховує сучасні економічні та екологічні вимоги через узгодження параметрів рівня конструктивної та екологічної надійності й, відповідно, вартості з рівнем створюваного загального ефекту прийнятих рішень.

1. Federica Monaco, Guido Sali / How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. A multivariate analysis based on field experiment data. *Agricultural Water Management*, V. 195, 1, 2018, P. 47–57. 2. Van Niel T. G. Current and potential uses of optical remote sensing in rice-based irrigation systems: a review / T. G. Van Niel, T. R. McVicar // *Journal Article published 2004 in Australian Journal of Agricultural Research*, V. 55, 2, 155 p. 3. Botes J. H. F., Bosch D. J., Oosthuizen L. K. (1996) A simulation and optimization approach for evaluating irrigation information. *Agricultural Systems*, 51, 2, 165–183. 4. Soundharajan B., Sudheer K. P. (2009) Deficit irrigation management for rice using crop growth simulation model in an optimization framework. *Paddy and Water Environment*, 7, 2, 135–149. 5. Якуба С. Параметры оптимизации рисовых оросительных систем для обеспечения энергетической безопасности водохозяйственного комплекса Нижней Кубани. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 34. С. 109–113. 6. Заєць В. В. Нормування водо- та енергокористування Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2014. Вип. 2(66). С. 67–73. 7. Paudyal G. N. Optimization of design of on-farm channel network in an irrigation area / G. N. Paudyal, D. S. Pandit, A. Goto // *Irrigation and Drainage Systems*, V. 5, 4, P. 383–395. 8. Rokochynskyi A. M. Substantiation of evaluation criteria for overall functioning efficiency of Ukrainian Danube rice

irrigation systems / A. Rokochynskiy, S. Mendus, V. Turcheniuk // International Journal of New Economics and Social Sciences № 1 (3) 2016. P. 154–161. **9.** Рокочинський А. М., Сташук В. А., Зубик Л. В. Обґрунтування проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель на багатоваріантній основі. *Вісник Рівненського державного технічного університету. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво* : зб. наук. праць. Рівне, 2000. Вип. 5(7). С. 67–71.

## REFERENCES:

**1.** Federica Monaco, Guido Sali / How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. A multivariate analysis based on field experiment data. *Agricultural Water Management*, V. 195, 1, 2018, P. 47–57. **2.** Van Niel T. G. Current and potential uses of optical remote sensing in rice-based irrigation systems: a review / T. G. Van Niel, T. R. McVicar // *Journal Article published 2004 in Australian Journal of Agricultural Research*, V. 55, 2. 155 r. **3.** Botes J. H. F., Bosch D. J., Oosthuizen L. K. (1996) A simulation and optimization approach for evaluating irrigation information. *Agricultural Systems*, 51, 2, 165–183. **4.** Soundharajan B., Sudheer K. P. (2009) Deficit irrigation management for rice using crop growth simulation model in an optimization framework. *Paddy and Water Environment*, 7, 2, 135–149. **5.** Yakuba S. Параметри оптимальності рисових зрошувальних систем для забезпечення енергетичної безпеки водокористувачів комплексу Нижньої Кубані. *Політематичний мережевий електронний науковий журнал Кубанського державного аграрного університету*, 34. С. 109–113. **6.** Zaiets V. V. Normuvannya vodo- ta enerhokorystuvannya Prydunaiskykh RZS na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*. 2014. Vyp. 2(66). S. 67–73. **7.** Paudyal G. N. Optimization of design of on-farm channel network in an irrigation area / G. N. Paudyal, D. S. Pandit, A. Goto // *Irrigation and Drainage Systems*, V. 5, 4, P. 383–395. **8.** Rokochynskiy A. M. Substantiation of evaluation criteria for overall functioning efficiency of Ukrainian Danube rice irrigation systems / A. Rokochynskiy, S. Mendus, V. Turcheniuk // *International Journal of New Economics and Social Sciences* № 1 (3) 2016. R. 154–161. **9.** Rokochynskiy A. M., Stashuk V. A., Zubyk L. V. Obhruntuvannya proektnykh rishen z vodrehulivannya osushuvanykh zemel na bahatovariantnii osnovi. *Visnyk Rivnenskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Hidromelioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo* : zb. nauk. prats. Rivne, 2000. Vyp. 5(7). S. 67–71.

Рецензент: д.т.н. професор Ткачук М. М. (НУВГП)

---

**Turcheniuk V. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Rokochynskiy A. M., Doctor of Engineering, Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)



## **THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF OPTIMIZING THE FUNCTIONING OF RICE IRRIGATION SYSTEMS ON ECOLOGICAL AND ECONOMIC PRINCIPLES**

The approaches to optimization on ecological and economic bases of technical and technological decisions on water regulation in projects of reconstruction and operation of rice irrigation systems (RIS) are grounded and developed. The regime, technological and technical aspects of water regulating at the RIS in the interconnection in the variables of the natural agro-reclamation conditions on the example of the Danube RIS are researched and evaluated. The general principles of construction and implementation of models of optimization of technical and technological decisions on water regulating at RIS on ecological and economic principles have been developed.

*Keywords:* system optimization, rice irrigation system, efficiency of functioning, water regulation.

---

**Турченко В. А., к.т.н., Рокочинський А. М., д.т.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПАХ**

Обоснованы и разработаны подходы к оптимизации на эколого-экономических основах технических и технологических решений по водорегулированию в проектах реконструкции и эксплуатации рисовых оросительных систем (РОС). Исследованы и оценены режимные, технологические и технические аспекты водорегулирования РОС во взаимосвязи в переменных естественно-агро-мелиоративных условиях на примере Придунайских РОС. Разработаны общие принципы построения и реализации моделей оптимизации технических и технологических решений по водорегулированию РОС на эколого-экономических основах.

*Ключевые слова:* системная оптимизация, рисовая оросительная система, эффективность функционирования, водорегулирование.

---