

# Економіко-математичне моделювання динамічних процесів при запровадженні проектних рішень на Придунайських рисових системах

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.068>

Василь Турченко

Кафедра водної інженерії та водних технологій  
Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна  
[v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua](mailto:v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua)

Анатолій Рокочинський

Кафедра водної інженерії та водних технологій  
Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна  
[a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua](mailto:a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua)

Наталія Приходько

Кафедра водної інженерії та водних технологій  
Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна  
[n.v.prihodko@nuwm.edu.ua](mailto:n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

Павло Волк

Кафедра водної інженерії та водних технологій  
Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна  
[p.p.volk@nuwm.edu.ua](mailto:p.p.volk@nuwm.edu.ua)

Орест Тимейчук

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин  
Національний університет водного господарства та природокористування  
м. Рівне, Україна  
[o.y.tymeichuk@nuwm.edu.ua](mailto:o.y.tymeichuk@nuwm.edu.ua)

*Анотація* — Сформульовані підходи до вибору складу та черговості запровадження комплексу розроблених режимних, технологічних та технічних заходів з підвищення ефективності функціонування Придунайських РЗС. Виконано оцінювання економічної ефективності запропонованого комплексу заходів та інвестиційна оцінка черговості впровадження варіантів проектних рішень. На підставі застосування динамічного програмування розроблено науковий підхід та обґрунтовано оптимальний склад заходів і черговість їх реалізації в процесі реконструкції діючих РЗС.

**Ключові слова**— рисова зрошувальна система; метод динамічного програмування; принцип оптимальності Беллмана, економічна ефективність.

## I. 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 й енергетичних ресурсів і, одночасно, забезпечення екологічної стійкості природних ландшафтів та територій.

Водночас, одним зі стратегічно важливих і актуальних завдань розвитку агровиробництва на

сучасному етапі є відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу галузі рисівництва на підставі підвищення ефективності водо- та енергокористування й поліпшення загального еколого-меліоративного стану наявних рисових зрошувальних систем (РЗС).

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

На підставі системної оптимізації обґрунтовано комплекс різномірних але взаємопов’язаних режимно-технологічних та конструктивних заходів з підвищення ефективності функціонування РЗС, які спрямовані на удосконалення технології водорегулювання, підвищення дренажності та рівномірності фільтрації за площею та профілем карти-чека на підставі глибокого розпушення; повторне використання дренажно-скидних вод (ДСВ), промивку засолених ґрунтів на фоні глибокого

розпушення, удосконалення конструкції дренажно-скидної мережі [1 – 5].

**Метою роботи** є оптимізація складу та черговості запровадження комплексу розроблених режимних, технологічних та технічних заходів з підвищення ефективності функціонування Придунайських РЗС.

## II. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На кінцевому етапі проведеного комплексу оптимізаційних розрахунків режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо підвищення ефективності функціонування РЗС ми зустрічаємось з випадком, коли метою (ціллю) оптимізації є встановлення найкращої послідовності тих чи інших робіт пов'язаних з впровадженням запланованих заходів, оскільки проведення капітальної реконструкції РЗС вимагає значних капіталовкладень. При обмежених інвестиційних можливостях постає питання поетапної реконструкції, встановлення пріоритетів для першочергового фінансування з точки зору оптимальної економічної доцільності. Такі економічні задачі, де одним з факторів є час можна розв'язати методами динамічного програмування.

Основними особливостями розв'язання економічних задач з використанням методів динамічного моделювання є такі: не існує загальної постановки задач; не існує єдиного алгоритму розв'язку; основою кожної динамічної моделі є функціональне рівняння; для кожної задачі функціональні рівняння виводяться індивідуально; всі функціональні рівняння базуються на принципі оптимальності Беллмана [6; 7].

Загальна постановка задачі динамічного програмування полягає в наступному: нехай деяка керована система знаходиться в початковому стані  $S$  (керована – означає, що можна керувати процесом який відбувається в системі, а спосіб впливу на неї – управління  $U$ ). Завдяки здійсненню певного управління  $U$  вказана система переходить з початкового стану в кінцевий. З процесом зміни стану системи пов'язаний деякий числовий критерій  $W$  (функція). Отже мета керуючої сторони полягає в пошуку такого можливого управління  $U$ , яке надало б максимального значення функції  $W=W(U)$ .

Основу методу динамічного програмування визначає принцип оптимальності Беллмана [6–9], при якому оптимальне продовження процесу визначається відносно стану, який досягнуто на даний момент. Основна умова того, щоб цей принцип здійснювався така: процес управління повинен бути без зворотнього зв'язку, тобто керування на даному кроці не повинно впливати на попередні кроки.

Основне функціональне рівняння Беллмана можна записати у такому вигляді:

$$F_{n-k}(X^k) = \max_{u_{k+1}} \left[ W_{k+1}(X^{(k)}, u_{k+1}) + F_{n-k}(X_n^{(k+1)}) \right],$$

$$k = \overline{0, n-1}.$$

де  $X^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$  – є сукупністю чисел, що визначають стан системи  $S$  на  $k$ -му кроці і отримані в результаті керування  $U_k$ , яке забезпечує перехід системи  $S$  із стану  $X^{(k-1)}$  в  $X^{(k)}$ ;  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  – оптимальна стратегія керування;  $F_{n-k}(X_n^{(k)})$  – це прибуток, який отримується при переході будь-якого стану  $X^{(k)}$  в кінцевий стан  $X^{(n)}$  при реалізації оптимальної стратегії керування на решті  $(n-k)$  кроках.

Процедура побудови оптимального управління методом динамічного програмування розпадається на дві стадії: попередню та остаточну. Як відомо, в кожному процесі є останній крок, на якому прийнятті рішення не залежать від майбутнього. Тому на цьому кроці вибирають керування, яке дозволяє отримати найбільший ефект. Спланувавши цей крок, до нього приєднуємо попередній, до якого в свою чергу приєднуємо попередній і т. д. до початкового стану. Щоб спланувати останній крок, потрібно знати стан системи на попередньому кроці. Якщо ж він невідомий, то роблять різноманітні припущення, про можливі стани системи на цьому кроці. Для кожного припущення вибирають оптимальні керування на попередньому кроці. Таке оптимальне керування називається умовно оптимальним. Тобто, попередня оптимізація проводиться за кроками у зворотньому порядку (від кінця до початку), а остаточна оптимізація по кроках від початку до кінця.

## III. РЕЗУЛЬТАТИ

Задача оптимального розподілу ресурсів за варіантами проектних рішень щодо запровадження комплексу технологічних та конструктивних заходів щодо підвищення ефективності функціонування РЗС на стадії їх експлуатації розглядалась за умови отримання максимального загального прибутку.

При цьому нами розглядалось шість наступних варіантів проектних рішень із обґрунтованого комплексу заходів:

- **варіант 1** – перехід на запровадження ресурсозберігаючого режиму зрошення рису із обґрунтованою зрошувальною нормою  $M=18000 \text{ м}^3/\text{га}$ ;
- **варіант 2** – використання ДСВ для зрошення рису та супутніх культур з їх розбавленням в співвідношенні 1:1;
- **варіант 3** – використання ДСВ для зрошення рису та супутніх культур з їх розбавленням в співвідношенні 1:2;
- **варіант 4** – проведення розпушення ґрунту на глибину 0,6 м без реконструкції рисових карт;
- **варіант 5** – проведення дооснащення відкритої дренажно-скидної мережі закритими дренами-колекторами з  $B=100 \text{ м}$  в поєднанні з розпушенням ґрунту та влаштуванням приукісного дренажу;

## Моделювання, керування та інформаційні технології – 2023

- **варіант 6** – проведення реконструкції карт-чеків шляхом ліквідації картових дренажно-сکیدних каналів з проведенням поливу рису та супутніх культур дощуванням.

Результати динамічного програмування щодо вибору найкращого поєднання варіантів приведені в таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1. Оптимізація розподілу ресурсів між варіантами проектних рішень

Показники	Варіанти проектних рішень						Усього
	3	2	4	1	6	5	
<b>Необхідні затрати, грн/га</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>800</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>	<b>13000</b>	<b>19100</b>
<b>Прибуток, грн/га</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>4000</b>	<b>15000</b>	<b>2000</b>	<b>22000</b>	<b>44300</b>
0	0	0	0	0	0	0	
100	600	0	0	0	0	0	
200	600	700	0	0	0	0	
300	600	1300	0	0	0	0	
800	600	1300	4000	0	0	0	
900	600	1300	4600	0	0	0	
1000	600	1300	4700	0	0	0	
2000	600	1300	5300	15000	0	0	
2100	600	1300	5300	15600	0	0	
2300	600	1300	5300	16300	0	0	
3000	600	1300	5300	16300	2000	0	
3100	600	1300	5300	16300	2600	0	
3300	600	1300	5300	16300	3300	0	
3900	600	1300	5300	16300	6600	0	
4000	600	1300	5300	16300	6700	0	
5900	600	1300	5300	16300	17000	0	
13000	600	1300	5300	16300	17000	22000	
13100	600	1300	5300	16300	17000	22600	
13300	600	1300	5300	16300	17000	23300	
15000	600	1300	5300	16300	17000	37000	
<b>Реальні витрати</b>				<b>2000</b>		<b>13000</b>	<b>15000</b>
<b>Залишок</b>				<b>0</b>		<b>2000</b>	
<b>Прибуток, грн/га</b>				<b>15000</b>		<b>22000</b>	<b>37000</b>

Розрахунки показали, що загальні затрати на повну реконструкцію Придунайських РЗС, яка включає запровадження ресурсозберігаючої технології водокористування з комплексом заходів на підвищення ефективності їх функціонування з проведенням модернізації насосних станцій та заміни і ремонту гідротехнічних споруд будуть становити 70–80 тис. грн/га. Як показали результати моделювання, найкращим рішенням щодо вкладання ресурсів на Придунайські РЗС є першочергове запровадження на них ресурсозберігаючої технології зрошення рису, в поєднанні з реконструкцією карт-чеків. Її суть зводиться до дооснащення існуючої дренажно-сکیدної мережі закритими дренами-колекторами, проведенням глибокого розпушення ґрунту та влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-сکیدних каналів від руйнування їх русла, що потребує на її реалізацію 15–20 тис. грн/га. Друга черга реконструкції – це реконструкція насосних станцій, яка за укрупненими показниками в розрахунку на 1 га площі рисової системи буде становити біля 20 тис. грн/га. І третя черга – це реконструкція гідротехнічних споруд на зрошувальній і дренажно-сکیدній мережі, яка потребує найбільших капіталовкладень – понад 35 тис. грн/га. Проводиться вона в останню чергу, аби окупились інвестиції попередніх етапів реконструкції. Залежно від фінансування, повні затрати на

реконструкцію Придунайських РЗС можуть окупитись за 9–12 років.

### IV. ВИСНОВКИ

На основі застосування методу динамічного програмування розроблено науковий підхід та обґрунтовано оптимальний склад заходів та черговості їх реалізації при реконструкції діючих РЗС.

На прикладі Придунайських РЗС встановлено, що загальні затрати на їх повну реконструкцію, яка включає запровадження ресурсозберігаючої технології водокористування з комплексом заходів на підвищення ефективності їх функціонування з проведенням модернізації насосних станцій та заміни і ремонту гідротехнічних споруд будуть становити 70–80 тис. грн/га. При цьому, найкращим рішенням є першочергове запровадження на них ресурсозберігаючої технології зрошення рису в поєднанні з реконструкцією карт-чеків з дооснащення їх відкритої дренажно-сکیدної мережі закритими дренами, проведенням глибокого розпушення ґрунту та влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-сکیدних каналів від руйнування їх русла, яка потребує на її реалізацію 15–20 тис. грн/га. Друга черга реконструкції – це реконструкція насосних станцій, яка за укрупненими показниками в розрахунку на 1 га площі рисової системи буде становити близько 20 тис. грн/га. І третя черга – це реконструкція гідротехнічних споруд на зрошувальній і дренажно-сکیدній мережі, яка потребує найбільших капіталовкладень – понад 35 тис. грн/га. Проводиться вона в останню чергу, аби окупились інвестиції попередніх етапів реконструкції.

Так, залежно від фінансування та досягненні сукупного дисконтованого доходу 70–90 тис. грн/га, повні затрати на реконструкцію Придунайських РЗС можуть окупитись за 9–12 років.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] В. О. Турченко, А. М. Рокочинський, “Оптимізація природно-меліоративного режиму рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах,” Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки, 2014, Вип. 2(66), С. 3–9.
- [2] В. О. Турченко, Н. А. Фроленкова, А. М. Рокочинський, “Системна оптимізація водо-та енергокористування на рисових зрошувальних системах на еколого-економічних засадах,” Меліорація і водне господарство, 2017, Вип. 106, С. 22–27.
- [3] V. Turchenyuk, N. Frolenkova and A. Rokochynskyi, “Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems,” Environmental Economics, 2017, vol. 8 (2), P. 76–82.
- [4] В. А. Сташук, А. М. Рокочинський, П. І. Мендусь, В. О. Турченко та ін., “Рис Придунав’я,” Херсон: Гринь Д.С., 2016.
- [5] В. А. Сташук, Р. А. Вожегова, А. М. Рокочинський та ін., “Рисові зрошувальні системи України: підвищення ефективності їх функціонування,” Київ-Херсон-Рівне: НУВГП, 2023.
- [6] Бугір М. К., “Математика для економістів. Лінійна алгебра, лінійні моделі,” К.: Академія, 1998.
- [7] Гетманцев В. Д., “Лінійна алгебра і лінійне програмування,” К.: Либідь, 2001.
- [8] Зайченко Ю. П., “Дослідження операцій,” К.: ЗАТ “ВПОЛ”, 2000.
- [9] Кутковецький В. Я., “Дослідження операцій,” Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2003.