

ГІДРОТЕХНІКА

УДК 631.6:502.6

<https://doi.org/10.31713/vt320201>

Волк П. П., к.т.н., докторант, Рокочинський А. М., д.т.н., професор, Тимейчук О. Ю., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, e-mail: p.p.volk@nuwm.edu.ua)

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ

Розглянуто необхідність та шляхи удосконалення оптимізаційного підходу щодо системної оптимізації типу, конструкції й параметрів дренажних систем та їх елементів на еколого-економічних засадах. Визначено підходи до системної оптимізації технологічних та конструктивних рішень при створенні й функціонуванні дренажних систем. Представляється, що дренажна система – це складна природно-технічна еколого-економічна система. Знаходження загального оптимуму в такій системі на основі системної оптимізації полягає в обґрунтуванні загальних (глобальних) та локальних оптимумів для всіх її основних складових різнорідних елементів у їх взаємозв'язку. Розроблено загальні принципи побудови та реалізації комплексних моделей системної оптимізації, які включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом, а її екологічна складова, як обмеження, визначає прийнятність оптимального економічного рішення. Розглянуто критерії економічної та екологічної оптимізації щодо різних рівнів прийняття управлінських рішень в часі (1 – проєкт, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління) та комплекс прогнозно-імітаційних моделей з їх визначення на багатоваріантній основі з урахуванням змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта. Застосування системної оптимізації дасть змогу підвищити загальну технічну, технологічну та еколого-економічну ефективність створення й функціонування дренажних систем.

Ключові слова: системна оптимізація, створення та функціонування, дренажна система, еколого-економічні засади.

Серед найбільших викликів сучасності, разом з енергетичною незалежністю, гостро постає питання продовольчої, водної та екологічної безпеки, що загострюються через зміни кліматичних та антропогенних чинників як на планетарному, так і регіональних рівнях.

У сучасних умовах значна кількість продукції вирощується на землях з регульованим водним режимом з використанням різних типів та конструкцій меліоративних систем (МС).

Проектування МС на надлишково перезволожених землях традиційно здійснювалося з використанням сільськогосподарського дренажу. За усталених кліматичних умов максимальна продуктивність таких земель залежала в основному від ефективності роботи дренажу шляхом переведення поверхневого стоку в ґрунтовий та з подальшим його відведенням за границі осушуваної території. Сучасні зміни кліматичних умов, зокрема зміна кількості та інтенсивності ґрунтового зволоження за рахунок зміни режиму атмосферних опадів та істотного підвищення температури, визначають за необхідне забезпечення максимальної продуктивності меліорованих сільськогосподарських земель на основі застосування відповідних адаптивних заходів щодо, насамперед, регулювання й акумуляції вологи в ґрунті та в межах системи [1].

Водночас, технічний стан побудованих 40–50 років тому дренажних систем (ДС) погіршується через відхилення їх проєктних параметрів внаслідок невиконання необхідного комплексу експлуатаційних заходів, що призвело до зниження продуктивності сільськогосподарських земель на 25...50% проти проєктної.

Отже, надзвичайно актуальним постає питання щодо зміни підходів до створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, удосконалення технологій водорегулювання, відповідно типів, конструкції й параметрів МС та їх технічних елементів, що адаптовані до цих змін [2].

Розв'язання таких складних міждисциплінарних, багатофункціональних і багатопараметричних проблем можливе тільки завдяки зміні методології створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, в тому числі і ДС в зоні достатнього та нестійкого зволоження України, що визначаються зміною умов, відповідно зміною вимог до їх створення й функціонування на основі оцінювання їх загальної ефективності з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог.

А це, в свою чергу, потребує зміни методологічних підходів до обґрунтування в проєктах будівництва та реконструкції ДС їх оптимальних конструктивних рішень (тип, конструкція, параметри систем

та складових їх технічних елементів) щодо різних технологій (способів, режимів, схем) водорегулювання залежно від множинних змінних природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов функціонування об'єкта у їх взаємозв'язку.

Тому при проєктуванні та експлуатації ДС на всіх стадіях прийняття рішень у часі (1 – проєкт, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління об'єктом) [3; 4], надзвичайно важливо правильно (об'єктивно) визначити параметри системи та її складових технічних елементів (регулюючої мережі, провідної мережі, регулюючих гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо). Саме вони значною мірою зумовлюють вартість системи, її економічну та екологічну ефективність. Це дасть змогу підвищити вимоги до якості оцінювання, прогнозування й оптимізації управління водним і загальним природно-меліоративним режимами осушуваних земель як обов'язкової умови розв'язання означеної проблеми [3].

Узагальнені концептуальні підходи до оптимізації меліоративного режиму через формулювання загальних принципів та визначення показників, критеріїв і створення моделей оптимізації розглянуто в рекомендаціях І. П. Айдарова, О. І. Голованова, Ю. М. Нікольського, Л. М. Рекса та ін. [5; 6 та ін.]. Основні положення цих рекомендацій стосовно зони осушувальних меліорацій, разом з іншими аналогічними розробками, взяті нами за основу проведених досліджень.

Практичне застосування оптимізаційного підходу для визначення параметрів МС і раціональних схем використання водних ресурсів при розробці методів прийняття й обґрунтування технічних розв'язань в проєктах будівництва й реконструкції водогосподарських і меліоративних об'єктів, що досить інтенсивно розроблялись в 70–80-ті роки минулого століття, мало місце як для зони зрошувальних меліорацій (А. Є. Агрест, К. П. Арент, В. Н. Кардаш, О. П. Кисаров, К. А. Папелішвілі, В. Г. Пряжинська, О. Г. Соломонія, Н. С. Фелінгер, К. І. Шавва, Б. Б. Шумаков та ін.), так і зони осушення перезволожених земель (Г. І. Афанасик, П. І. Закржевський, Ю. О. Канцибер, О. І. Климко, М. О. Лазарчук, І. В. Минаєв, І. С. Рабочев, П. Б. Свикліс, В. Ф. Шебеко та ін.).

Оптимізаційний підхід досить успішно застосовувався також для спроб розв'язування низки окремих задач з управління меліоративними (оптимальний режим зрошення вирощуваних сільськогосподарських культур) (Г. І. Афанасик, Є. П. Галямин, П. І. Ковальчук, А. П. Ліхацевич, Ю. М. Нікольський, В. П. Остапчик, В. А. Платонов та ін.) та агротехнічними заходами (оптимальні структури посівів, дози

внесення добрив й ін.) (Є. Є. Жуковський, В. А. Платонов, О. П. Федосєєв та ін.).

За проведеними тоді дослідженнями (К. Т. Хоммік, І. С. Рабочев, І. В. Мінаєв, Л. А. Downey, J. Doorenbos, А. Н. Kassam, М. О. Лазарчук та ін.) для визначення параметрів МС та режимів їх роботи найбільш перспективним був прийнятий економіко-математичний метод, що поєднує в собі переваги традиційних гідромеханічного та емпіричного методів і ґрунтується на реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків [7].

Але розроблені на той момент часу методи і моделі оптимізації розглядалися та використовувалися переважно для обґрунтування локальних одиничних рішень щодо окремих елементів системи або технологій водорегулювання, зокрема оптимальних параметрів магістрального каналу, гідротехнічних споруд, дренажу тощо [7].

При цьому виявилось, що в сучасних умовах переходу на ринкові відносини в країні цей метод як спрощений оптимізаційний, у тому вигляді як він був реалізований, розглядав тільки економічну складову оптимізації і не враховував екологічну ефективність при визначенні оптимальних технічних й технологічних рішень та їх параметрів, що не відповідає сучасним вимогам.

А саме:

- незабезпеченості порівняння варіантів проєктних рішень (ПР) за обсягом та якістю отриманої сільськогосподарської продукції;
- умовності та відповідної відносності реалізації цього методу щодо терміну визначення втрат урожайності та обґрунтованості проєктних величин цієї врожайності;
- неможливості диференційовано визначати оптимальні параметри технічних й технологічних рішень з водорегулювання щодо різних рівнів продуктивності вирощуваних культур з урахуванням множинних змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта;
- недотримання сучасних еколого-економічних вимог.

Водночас застосування такого, навіть спрощеного, оптимізаційного підходу наприкінці ХХ століття показало, що він може бути реалізований тільки при чіткому формулюванні цілісної системної методології, глибокого знання поведінки системи, що оптимізується, – її динаміки, критеріїв, що діють як в системі в цілому, так і в її підсистемах на кожному з етапів прийняття рішень. Труднощі такої формалізації надзвичайні, однак потенційно цей метод може дати більш якісні рішення хоча б тому, що його реалізація неможлива без побудови кількісних схем впливу зовнішніх діянь і управлінь на об'єкт.

На нашу думку [3; 4], для вирішення таких проблем треба підвищувати вимоги до якості оцінювання, прогнозування й оптимізації управління водним і загальним природно-меліоративним режимами осушуваних земель як обов'язкової умови розв'язання означеної проблеми через формалізацію цих процесів на всіх стадіях побудови схем прийняття рішень у часі при проєктуванні та експлуатації меліоративних об'єктів.

Для цього нами було удосконалено методи та моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах шляхом:

- переходу від усталеної практики розгляду меліоративних об'єктів не тільки як технічних, а як складних природно-технічних систем;

- визначення наявності в такій системі структурного зв'язку виду **ефект** \leftrightarrow **режим** \leftrightarrow **технологія** \leftrightarrow **конструкція**;

- розробки принципів побудови й реалізації комплексної моделі оптимізації режимно-технологічних та конструктивних рішень, з водорегулювання осушуваних земель, які включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом, а її екологічна складова, як обмеження, визначає прийнятність оптимального економічного рішення;

- обґрунтування критеріїв економічної та екологічної оптимізації щодо різних рівнів прийняття управлінських рішень в часі (1 – проєкт, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління);

- розроблення комплексу прогнозно-імітаційних моделей з прогновної оцінки на довготерміновій основі змінних умов щодо схематизованих погодно-кліматичних умов, водного режиму та технологій водорегулювання, продуктивності (врожайності) вирощуваних сільськогосподарських культур.

За такими принципами та науково-методичними підходами нами було розроблено, на відміну від економіко-математичного методу, що був застосований В. Г. Мурановим і М. О. Лазарчуком [7], обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу при осушуванні земель з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог [4; 9].

У подальшому, виходячи з встановлених зв'язків між різнорідними елементами МС, згідно з [3; 4; 8], нами було представлено, що таку систему у складі системи сільськогосподарського виробництва (ССВ) та гідромеліоративної системи (ГМС) слід розглядати як **складну природно-технічну еколого-економічну систему** (СПТЕЕС). Необхідною умовою є знаходження загального оптимуму в такій системі

тільки на основі застосування **системної оптимізації, суть якої полягає в знаходженні локальних оптимумів для всіх її основних складових** різномірних елементів у їх взаємозв'язку [3; 4; 8]. При цьому, для сучасного рівня розвитку водогосподарсько-меліоративної та аграрної науки, системна оптимізація з обґрунтування оптимальних ПР щодо типу, конструкції й параметрів ГМС та складових її технічних елементів здійснюється на наявний, визначений або заданий рівень економічної (врожайність сільськогосподарських культур) та екологічної ефективності функціонування досліджуваного об'єкта.

За такими принципами та науково-методичними підходами системної оптимізації нами (В. О. Турченко, А. М. Рокочинський, 2018) було виконано обґрунтування оптимальних параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водоенергокористування на рисових зрошувальних системах [10; 11].

Турченко В. О., на основі послідовного розгляду, було обґрунтовано оптимальні параметри різномірних взаємозв'язаних показників режимних (швидкість фільтрації), технологічних (зрошувальна норма рису, частка рису в сівозміні, ступінь розбавлення дренажно-скидних вод при їх повторному використанні) та конструктивних рішень (конструкція та параметри дренажу карт-чеків, в тому числі із застосуванням глибокого розпушення) у їх взаємозв'язку.

При цьому, розглядаючи окремі елементи щодо режиму та технології зрошення рису й конструкції карт-чеків при заданому рівні ефективності, він не отримав оптимального рішення щодо типу та конструкції рисової системи в цілому.

Таким чином, виклики сучасності щодо енергетичної, продовольчої, водної та екологічної безпеки, а також зміни клімату, визначають за необхідне розробку й реалізацію відповідних адаптивних заходів у зоні осушувальних меліорацій на основі обґрунтування оптимальних ПР щодо типу, конструкції та параметрів ДС в цілому та окремих їх технічних елементів з дотриманням сучасних екологічних й економічних вимог [1].

У зв'язку з цим виникає необхідність у пошуку нових підходів, методів та моделей на основі розвитку загальної теорії оптимізації щодо застосування системної оптимізації для обґрунтування оптимальних типу, конструкції та параметрів ДС на еколого-економічних засадах з урахуванням змінних кліматичних умов.

Вирішення такого завдання потребує насамперед розробки моделі системи, де відбуваються складні природно-техногенні процеси з формування водного режиму осушуваних земель під дією зовнішніх як некерованих (природних), так і керованих (меліоративних) фа-

кторів, формуються загальний еколого-економічний ефект від їх сполученості та значення показників, що його характеризують.

За аналогією, та на відміну від моделі меліорованого поля на осушуваних землях, що розглянуто нами раніше [3; 4], МС у складі ССВ (сільськогосподарських меліорованих полів з вирощуваними на них культурами) та конструктивно-технічних елементів ГМС або ДС (головна дрена, провідна та регулююча мережа, насосні станції, гідротехнічні споруди тощо), які виконують функцію регулювання водного й загального природно-меліоративного режимів у межах системи у їх взаємозв'язку, може бути представлена у такому вигляді (рис. 1).

Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємопов'язані між собою як різні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем. В представленій системі в межах кожного окремо взятого меліорованого поля ССВ реалізується водний режим осушуваних земель, який забезпечують регулюючі елементи ДС, де вирощуються певні сільськогосподарські культури та формується еколого-економічний ефект в межах полів та ДС в цілому у часі та просторі.



Рис. 1. Структурно-логічна схема взаємозв'язку основних різномірних складових та елементів ДС

Виходячи з представлені структурної моделі системи, сумарний (інтегральний) еколого-економічний ефект Y , що створюється при функціонуванні системи в часі (τ) та просторі (f) у загальному

випадку може бути визначений за моделлю виду

$$Y = \int \int_{\tau f} y_i(\tau, f_i) d\tau df, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (1)$$

де y_i – параметри загального еколого-економічного ефекту, який створюється від дії та взаємодії взаємозв'язаних між собою різнорідних складових елементів ДС; i – сукупність $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ різнорідних елементів, які взаємопов'язані між собою та оточуючим середовищем.

За аналогією з [3; 4]

$$y_i = f_1(f_2(f_3(x_i))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2)$$

де y_i – параметри загального еколого-економічного ефекту θE_i , який складається відповідно з параметрів продуктивності меліорованих угідь θY_k , $k = \overline{1, n_k}$; $i = \overline{1, n_i}$ та параметрів створюваного екологічного ефекту θZ_{ji} , $j = \overline{1, n_j}$; $i = \overline{1, n_i}$ у межах системи; f_1 – функція, що залежить від параметрів природно-меліоративного режиму осушуваних земель θR_i , $i = \overline{1, n_i}$; f_2 – функція, що залежить від параметрів застосовуваних технологій водорегулювання θS_i , $i = \overline{1, n_i}$ на системі; f_3 – функція аргументів x_i , яка залежить від параметрів технічних рішень θK_i щодо типу та конструкції ДС.

У такому випадку модель системи (1) дає змогу для будь-якого елемента або рівня її функціонування послідовно визначати сумарний (інтегральний) еколого-економічний ефект, який створюється від дії та взаємодії взаємозв'язаних між собою різнорідних складових системи з оточуючим середовищем.

Виходячи з представленої загальної моделі системи (1), модель, яка відповідає оптимальному рівню технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності роботи ДС, може бути подана як

$$Y^o = \int_0^{T_{np}} \int_0^{F_s} y_i^o(T_i, F_i) d\tau df, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3)$$

де Y^o – оптимальний (інтегральний) еколого-економічний ефект, який може бути створений при функціонуванні системи відповідно до діючих вимог; y_i^o – параметри оптимального загального еколого-економічного ефекту, який створюється під впливом взаємозв'язаних між собою різнорідних складових елементів ДС та ото-

чуючим середовищем T_i, T_{np} – відповідні періоди функціонування за i -ми різнорідними елементами та системи в цілому; F_i, F_s – відповідні площі за i -ми різнорідними елементами та системи в цілому.

Відповідно, за аналогією [10; 11 та ін.],

$$y_i^0 = f_1^* \left(f_2^* \left(f_3^* \left(z_i^0 \right) \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (4)$$

де f_1^* – функція оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму $\theta R_i, i = \overline{1, n_i}$ у межах системи; f_2^* – функція оптимізації параметрів технологій водорегулювання $\theta S_i, i = \overline{1, n_i}$ на системі; f_3^* – функція оптимізації параметрів конструктивних рішень щодо ДС θK_i ; z_i^0 – оптимальні параметри відповідно різнорідних елементів системи, що розглядаються, сукупності $\{i\}, i = \overline{1, n_i}$, які взаємопов'язані між собою та оточуючим середовищем.

У такій постановці моделі (1) та (3) у загальному неявному вигляді дають змогу теоретично обґрунтовувати можливість постановки задачі, пошуку та визначати послідовно оптимальні режимні, технологічні та конструктивні рішення щодо різнорідних складових елементів та системи в цілому у їх взаємозв'язку, бодай на емпіричному чи емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

За результатами розглянутих передумов та виконаного теоретичного аналізу щодо системної оптимізації технологічних та конструктивних рішень в СПТЕЕС, до яких відносяться ДС, управлінська модель оптимізації, що покладена в основу реалізації оптимізаційного підходу за економіко-математичним методом, згідно з [3; 4], в загальному вигляді представляється як

$$U_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5)$$

де U_0 – екстремальне значення за прийнятою умовою обраного критерію оптимізації U , що відповідає оптимальному (раціональному) рішенням із сукупності можливих альтернативних варіантів $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$.

В розвиток загальної моделі (5), середні (в статистичному розумінні) значення критеріїв економічної та екологічної оптимізації для кожного ПР, з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом у багаторічному перерізі за байєсівським підходом [4; 12], визначаються за розробленою нами комплексною моделлю оптимі-

зації виду

$$\begin{cases} U_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} U_i \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ Z_0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} Z_{ji} \cdot \alpha_p, j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (6)$$

де U_0, Z_0 – відповідні екстремальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної U_i та екологічної Z_i оптимальності, що відповідають оптимальному технічному або технологічному рішенню (ТТР) за сукупністю можливих варіантів $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}; Z_{ji}$ – сукупність $\{j\}, j = \overline{1, n_j}$ критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності відповідних варіантів ТТР; α_p – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності $\{p\}, p = \overline{1, n_p}$ у межах проєктного терміну функціонування об'єкта,

$$\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1.$$

Виходячи з структурної моделі ДС (див. рис. 1) та встановленого характеру зав'язків між різнорідними елементами МС взагалі за математичними моделями (1-3), складний внутрішній взаємозв'язок між її різнорідними елементами може бути представлений за такою структурно-ієрархічною схемою (рис. 2).

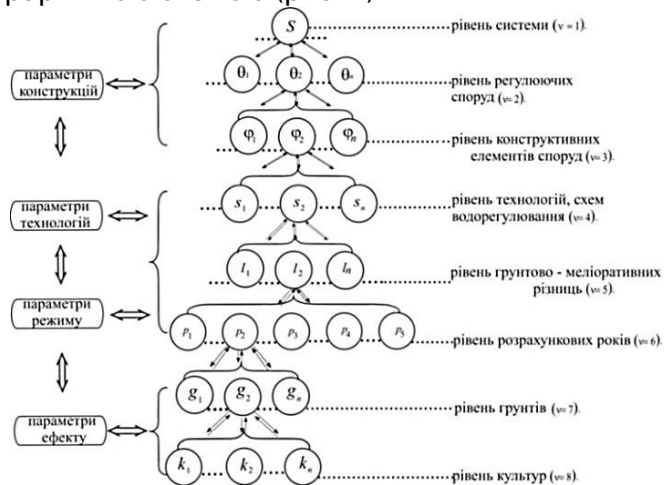


Рис. 2. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку основних складових різнорідних елементів при функціонуванні ДС

На підставі подальшого узагальнення характеру і структури

зв'язків за загальними моделями оптимізації у неявному вигляді (3, 4), принципів побудови комплексної моделі оптимізації (6) та структурно-ієрархічної схеми взаємозв'язку основних складових різнорідних елементів системи (див. рис. 2), комплексна модель системної оптимізації з послідовного обґрунтування режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку при створенні та функціонуванні ДС, з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог, у загальному вигляді може бути представлена як

$$\begin{cases} U_v^0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=1}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left(\sum_{p=1}^{n_p} \bar{U}_{ikgpls\varphi\theta}^0 \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v=\overline{1, n_v}, i=\overline{1, n_i}; \\ Z_v^0 = \underset{\{i\}}{\text{extr}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=1}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left(\sum_{p=1}^{n_p} Z_{ikgpls\varphi\theta} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v=\overline{1, n_v}, i=\overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (7)$$

де U_v^0, Z_v^0 – відповідно екстремальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної $\bar{U}_{ikgpls\varphi\theta}^0$ та екологічної $Z_{ikgpls\varphi\theta}$ оптимальності, що відповідають оптимальним режимним, технологічним та конструктивним параметрам ДС щодо різних рівнів ієрархії прийняття рішень за різнорідними елементами системи, $v=\overline{1, n_v}, n_v=8$: у загальному випадку на рівні культур проектної сівозміни ($v=1$), сукупності $\{k\}, k=\overline{1, n_k}$; на рівні ґрунтів ($v=2$), сукупності $\{g\}, g=\overline{1, n_g}$; на рівні розрахункових років ($v=3$), сукупності $\{p\}, p=\overline{1, n_p}$; на рівні ґрунтово-меліоративних різниць ($v=4$), сукупності $\{l\}, l=\overline{1, n_l}$; на рівні технологій і схем водорегулювання на системі ($v=5$), сукупності $\{s\}, s=\overline{1, n_s}$; на рівні конструктивних елементів споруд ($v=6$), (наприклад, дренажу – вид, конструкція, матеріал, фільтр та ін.), сукупності $\{\varphi\}, \varphi=\overline{1, n_\varphi}$; на рівні регулюючих споруд системи ($v=7$) (магістральний канал, канали провідної мережі шлюзи-регулятори, дренаж тощо), сукупності $\{\theta\}, \theta=\overline{1, n_\theta}$ та на рівні системи в цілому ($v=8$); $f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta$ – частки поширення у межах системи, відповідно щодо: культур проектної сівозміни $\{k\}, k=\overline{1, n_k}$; ґрунтових умов $\{g\}, g=\overline{1, n_g}$; розрахункових років $\{p\}, p=\overline{1, n_p}$; ґрунтово-меліоративних різниць $\{l\}, l=\overline{1, n_l}$; конструктивних елементів $\{\varphi\}, \varphi=\overline{1, n_\varphi}$ регулюючих споруд $\{\theta\},$

$\theta = \overline{1, n_\theta}$ та системи в цілому S за відповідними технологіями та схемами водорегулювання.

Отже, загальні принципи побудови та реалізації комплексних моделей системної оптимізації включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом та обґрунтовує економічно оптимальне проєктне рішення, а також її екологічну складову, як обмеження, що визначає екологічну прийнятність оптимального економічного рішення.

Всі складові комплексної моделі (7) при конкретній її реалізації, такі як техніко-економічні показники, що входять до складу економіко-математичної моделі (капітальні вкладення, вартість отриманої продукції рослинництва, поточні сільськогосподарські, амортизаційні та меліоративні витрати тощо), а також показники (критерії) екологічної ефективності водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель (вологообмін активного шару ґрунту, показник урожаю вирощуваних культур тощо), визначаються прийнятими параметрами ДС та складових її технічних елементів (дренаж, канали, гідротехнічні споруди тощо) є змінними і залежать від багатьох чинників, головними з яких є конструктивно-технологічні, природно-кліматичні, ґрунтово-меліоративні, агротехнічні й інші умови об'єкта.

Вони схематично можуть бути представлені у вигляді вихідних даних для постановки та розв'язування оптимізаційних задач через сукупності відповідних множинних змінних показників, площ (F_i) чи часток (f_i) їх розповсюдження в межах об'єкта:

– *прогнозно-імітаційні множинні змінні*: метеорологічні станції чи пости в межах систем сукупності $\{\omega\}$, $\omega = \overline{1, n_\omega}$; розрахункові за умовами тепло-й вологозабезпеченості періоди вегетації сукупності $\{p\}$, $p = \overline{1, n_p}$; види осушуваних ґрунтів сукупності $\{g\}$, $g = \overline{1, n_g}$; вирощувані культури проєктної сівозміни сукупності $\{k\}$, $k = \overline{1, n_k}$;

– *режимно-технологічні множинні змінні*: технології та схеми водорегулювання в межах системи $S = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$;

– *конструктивно-технологічні множинні змінні*: технічні елементи щодо регулюючих споруд (головна дрена, провідна та регулююча мережа, насосні станції, гідротехнічні споруди тощо) сукупності $\{\theta\}$, $\theta = \overline{1, n_\theta}$, конструктивних елементів споруд (вид матеріалу, діаметр, конструкції та параметри фільтрів тощо) сукупності

$\{\varphi\}$, $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$, розрахункових схемами роботи ДС щодо наявних ґрунтово-меліоративних різниць сукупності $\{l\}$, $l = \overline{1, n_l}$.

Узагальнена структура реалізації комплексної моделі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС та її складових технічних елементів на еколого-економічних засадах подана на (рис. 3).

Характерними особливостями розробленої структури є, поперше, блочна побудова та послідовна циклічність її реалізації.

Визначення необхідних значень складових загальних моделей оптимізації можливе тільки на базі вирішення складного й розгалуженого, багатопараметричного та багатофункціонального завдання шляхом застосування методів математичного моделювання з використанням ЕОМ й ґрунтується на створенні комплексу ієрархічно зв'язаних прогнозно-імітаційному, режимно-технологічному, конструктивно-технологічному й оптимізаційному блоків моделей для обґрунтування оптимальних типів, конструкції й параметрів ДС з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта, їх впливу і врожай вирощуваних культур та створюваний економічний й екологічний ефект.

Зі свого боку, реалізація комплексних моделей системної оптимізації потребує визначення показників і критеріїв економічної й екологічної ефективності ПР, що формуються безпосередньо як по окремих різнорідних елементах, так і в межах системи в цілому.

Визначення показників та критеріїв економічної ефективності (затрати чи витрати, чистий дохід та похідні від них показники) щодо рівнів прийняття управлінських рішень в часі (1 – проєкт, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління) й екологічної оптимізації (сукупність фізичних показників щодо водного режиму, технологій водорегулювання, продуктивності, та еколого-меліоративного стану осушуваних земель) спирається на розроблений нами комплекс прогнозно-імітаційних моделей, які реалізуються за довготерміновим прогнозом, щодо кліматичних умов місцевості чи метеорологічних режимів, водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, а також розвитку й формування врожаю вирощуваних культур. Практичне їх застосування регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України [13–15].

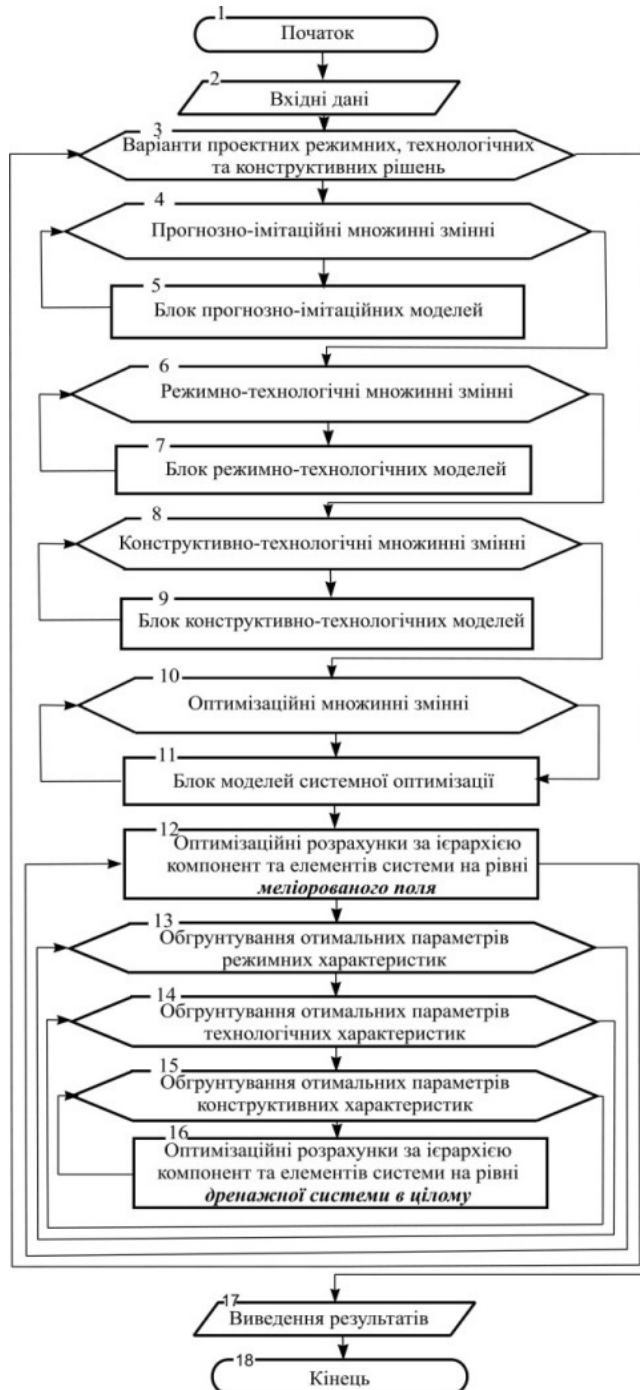


Рис. 3. Узагальнена блок-схема реалізації комплексної моделі системної оптимізації з обґрунтування типу, конструкції та параметрів ДС на еколого-економічних засадах

Таким чином, застосування системної оптимізації дасть змогу підвищити обґрунтованість і загальну технічну, технологічну та еколого-економічну ефективність створення й функціонування ДС при реалізації адаптивних заходів щодо зміни кліматичних умов у найближчій та віддаленій перспективі шляхом реконструкції та модернізації існуючих, а також нового будівництва водогосподарсько-меліоративних об'єктів у зоні осушувальних меліорацій.

1. Peter Kovalenko, Anatoliy Rokochinskiy, Jerzy Jeznach, Pavlo Volk, Roman Koptiuk, Nataliia Prykhodko. Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41. Issue 1. Pp. 72–82. **2.** Rokochinskiy A., Jeznach J., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N., Koptiuk R. Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM Scientific. *Review Engineering and Environmental Sciences*. 28 Issue 3(85)-2019. Pp. 432–443. **3.** Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. академіка УААН Ромашенка М. І. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с. **4.** Меліорація та облаштування Українського Полісся : колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с. **5.** Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель (рекомендации) / Айдаров И. П., Голованов А. И., Никольский Ю. Н. М. : Агрометеоиздат, 1990. 60 с. **6.** Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. М. : Изд-во «Аслан», 1995. 192 с. **7.** Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними : монографія / Лазарчук М. О., Черенков А. В., Рокочинський А. М. та ін. Рівне : НУВГП, 2009. С. 354. **8.** Рокочинський А. М., Системна оптимізація водорегулювання як необхідна умова створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на еколого-економічних засадах. *Меліорація і водне господарство*. Вип. 104. С. 67–71. **9.** Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами / Рокочинський А. М., Черенков А. В., Муранов В. Г., Волк П. П. та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 34 с. **10.** Турченко В. О., Рокочинський А. М. Системна оптимізація водо- та енергокористування на екологоекономічних засадах на рисових зрошувальних системах : монографія / за наук. ред. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2020. 333 с. **11.** 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. **12.** Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 304 с. **13.** Меліоративні системи та споруди : посібник до ДБН В.2.4.-1-99. (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. **14.** 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, 2010. 54 с. **15.** Тимчасові рекомендації з обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / Шалай С. В., Рокочинський А. М., Сташук В. А., Бежук В. М. та ін. Рівне : НУВГП, 2004. 44 с. **16.** Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами : монографія. Рівне : НУВГП. 2007. 258 с.

REFERENCES:

1. Peter Kovalenko, Anatoliy Rokochinskiy, Jerzy Jeznach, Pavlo Volk, Roman Koptiuk, Nataliia Prykhodko. Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41. Issue 1. Pp. 72–82. **2.** Rokochinskiy A., Jeznach J., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N., Koptiuk R. Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM Scientific. *Review Engineering and Environmental Sciences*. 28 Issue 3(85)-2019. Pp. 432–443. **3.** Rokochynskiy A. M. Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodorehulivannia osushuvanykh zemel na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh : monohrafiia / za red. akademika UAAN Romashchenka M. I. Rivne : NUVHP, 2010. 351 s. **4.** Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainskoho Polissia : kolektyvna monohrafiia / za red. d.s-h.n., profesora, akad. NAAN Ya. M. Hadzala, d.t.n., profesora, chlen-kor. NAAN V. A. Stashuka, d.t.n., profesora A. M. Rokochynskoho. Kherson : OLDI-PLIuS, 2017. T. 1. 932 s. **5.** Optimizatsiya meliorativnyih rejimov oroshaemyih i osushaemyih sels-kohozyaystvennyih zemel (rekomentatsii) / Aydarov I. P., Golovanov A. I., Nikolskiy YU. N. M. : Agrometeoizdat, 1990. 60 s. **6.** Reks L. M. Sistemnyie issledovaniya meliorativnyih protsessov i sistem. M. : Izd-vo «Aslan», 1995. 192 s. **7.** Optymizatsiia rozrakhunku osushivalnykh system ta upravlinnia nymy : monohrafiia / Lazarchuk M. O., Cherenkov A. V., Rokochynskiy A. M. ta in. Rivne : NUVHP, 2009. S. 354. **8.** Rokochynskiy A. M., Systemna optymizatsiia vodorehulivannia yak neobkhidna umova stvorennia ta funktsionuvannia vodohospodarsko-melioratyvnykh ob'ektiv na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo*. Vyp. 104. S. 67–71. **9.** Naukovo-metodychni rekomendatsii do

obgruntuvannya optimalnykh parametriv silskohospodarskoho drenazhu na osushuvanykh zemliakh za ekonomichnymy ta ekolohichnymy vymohamy / Rokochynskiy A. M., Cherenkov A. V., Muranov V. H., Volk P. P. ta in. Rivne : NUVHP, 2013. 34 s. **10.** Turcheniuk V. O., Rokochynskiy A. M. Systemna optymizatsiia vodo-ta enerhokorystuvannia na ekolohoekonomichnykh zasadakh na rysovykh zroshuvalnykh systemakh : monohrafiia / za nauk. red. A. M. Rokochynskoho. Rivne : NUVHP, 2020. 333 s. **11.** Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system Ukrainy : naukovo-metodychni rekomendatsii / zah. red. V. A. Stashuka, R. A. Vozhehovoii, V. V. Dudchenka, A. M. Rokochynskoho, V. V. Morozova. Kyiv – Kherson – Rivne : NUVHP, 2020. 203 s. **12.** Zhukovskiy E. E. Meteorologicheskaya informatsiya i ekonomicheskie resheniya. L. : Hidrometeoizdat, 1981. 304 s. **13.** Melioratyvni systemy ta sporudy : posibnyk do DBN V.2.4.-1-99. (rozdil 3. Osushuvalni systemy). Meteorolohichne zabezpechennia inzhenerno-melioratyvnykh rozrakhunkiv u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii osushuvalnykh system / A. M. Rokochynskiy ta in. Kyiv : VAT «Ukrvodproekt», 2008. 63 s. **14.** Tymchasovi rekomendatsii z prohnoznoi otsinky vodnoho rezhymu ta tekhnolohii vodrehuliuvannia osushuvanykh zemel u proektakh budivnytstva y rekonstruktsii melioratyvnykh system / A. M. Rokochynskiy, V. A. Stashuk, V. D. Dupliak, N. A. Frolenkova ta in. Rivne, 2010. 54 s. **15.** Tymchasovi rekomendatsii z obhruntuvannia efektyvnoi proektnoi vrozhainosti na osu-shuvanykh zemliakh pry budivnytstvi y rekonstruktsii melioratyvnykh system / Shalai S. V., Rokochynskiy A. M., Stashuk V. A., Bezhuk V. M. ta in. Rivne : NUVHP, 2004. 44 s. **16.** Frolenkova N. A., Kozhushko L. F., Rokochynskiy A. M. Ekoloho-ekonomichne otsiniuvannia v upravlinni melioratyvnymy proektamy : monohrafiia. Rivne : NUVHP. 2007. 258 s.

Volk P. P., Candidate of Engineering (Ph.D.), Postdoctoral Fellow,
Rokochynskiy A. M., Doctor of Engineering, Professor,
Tymeichuk O. Y., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne,
o.y.tymeichuk@nuwm.edu.ua)

THEORETICAL ASPECTS OF SYSTEM OPTIMIZATION IN THE CREATION AND OPERATION OF DRAINAGE SYSTEMS ON AN ECOLOGICAL AND ECONOMIC BASIS

The article presents the need and ways to improve the approach to system optimization for the type, design, and parameters of drainage systems and their elements based on environmental and economic principles. Approaches to system optimization of technological and

constructive decisions at the creation and functioning of drainage systems are defined. It is presented that the drainage system is a complex natural-technical ecological-economic system. The search for the general optimum in this system on the basis of system optimization is the substantiation of intermediate and local optimums for all the main elements. The basic principles of construction and implementation of complex models of system optimization are developed. These modules include a model of economic optimization, which is described by the traditional economic-mathematical approach. The environmental component is a limitation, it determines the acceptability of the optimal economic solution. The criteria of economic and environmental optimization for different levels of management decisions over time (1 – project, 2 – planned operation, 3 – operational management) are considered. The article also presents a complex of forecasting and simulation models for their calculation on a multivariate basis, taking into account the variable natural-agroameliorative conditions of the real object. The use of system optimization will increase the overall technical, technological and environmental, and economic efficiency of the creation and operation of drainage systems.

Keywords: system optimization; creation and functioning; drainage system; ecological and economic basis.

Волк П. П., к.т.н., докторант, Рокочинский А. Н., д.т.н., профессор, Тымейчук О. Ю., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ НА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОСНОВАХ

Рассмотрена необходимость и пути усовершенствования оптимизационного подхода к системной оптимизации типа, конструкции и параметров дренажных систем и их элементов на эколого-экономических основах. Определены подходы к системной оптимизации технологических и конструктивных решений при создании и функционировании дренажных систем. Представляется, что дренажная система – это сложная природно-техническая эколого-

экономическая система. Нахождение общего оптимума в такой системе на основе системной оптимизации заключается в обосновании локальных оптимумов для всех ее основных составляющих разнородных элементов в их взаимосвязи. Разработаны общие принципы построения и реализации комплексных моделей системной оптимизации, которые включают в себя модель экономической оптимизации, построена по традиционному экономико-математическому подходу, а ее экологическая составляющая, как ограничение, определяет приемлемость оптимального экономического решения. Рассмотрены критерии экономической и экологической оптимизации по различным уровням принятия управленческих решений во времени (1 – проект, 2 – техническая эксплуатация, 3 – оперативное управление) и комплекс прогностико-имитационных моделей с их определения на многовариантной основе с учетом переменных природно-агро-мелиоративных условий реального объекта. Применение системной оптимизации позволит повысить общую техническую, технологическую и эколого-экономическую эффективность при создании и функционировании дренажных систем.

***Ключевые слова:* системная оптимизация; создание и функционирование; дренажная система; эколого-экономические основы.**
