

**Волк П. П., д.т.н., професор, Рокочинський А. М., д.т.н., професор,
Волк Л. Р., к.т.н., доцент, Ромащенко Є. В., аспірант**
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, p.p.volk@nuwm.edu.ua)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СИСТЕМОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДПОВІДНО ДО СУЧАСНИХ ЗМІНЮВАНИХ УМОВ ТА ВИМОГ

Обґрунтовано, що перехід на оптимізаційні методи визначає об'єктивну необхідність відповідних змін та удосконалення технології проектування дренажних систем. Наявність множинних змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта, багаторівневість (багатоваріантність), багатопараметричність, блочність та циклічність реалізації прогнозно-імітаційних й оптимізаційних розрахунків визначають необхідність послідовного обґрунтування за ієрархічною підпорядкованістю режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо основних регулюючих елементів і дренажних систем в цілому у їх взаємозв'язку, їх поетапного еколого-економічного та інвестиційного оцінювання. Все це також визначає необхідність удосконалення технології проектування дренажних систем на основі поєднання й послідовної реалізації різнорідних методів оцінювання технічних, технологічних, економічних й екологічних параметрів різнорідних елементів та системи в цілому з відповідними базовими проєктними процедурами. Обов'язковою умовою практичної реалізації такого підходу є необхідність застосування сучасних інформаційних та комп'ютерних АСУ, САПР, BIM та ГІС-технологій.

Ключові слова: технології; дренажна система; системна оптимізація; сучасні умови та вимоги.

Актуальність напряму дослідження. Загострення найбільших викликів сучасності, що стосуються війни з Росією, енергетичних, продовольчих та водних криз, під впливом зміни кліматичних та антропогенних чинників, як на планетарному, так і регіональних рівнях, що обумовлює необхідність зміни підходів до створення та

функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на осушуваних землях, які адаптовані до цих змін [1–3].

Тому головним стратегічним напрямом подальшого розвитку гідромеліорацій в зоні достатнього та нестійкого зволоження України в умовах змін клімату, що визначений «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», буде всеохоплююча реконструкція і удосконалення існуючих типів й конструкцій дренажних систем (ДС) з метою застосування прогресивних, економічно вигідних та екологічно прийнятних технологій і режимів водорегулювання для досягнення проектного рівня ефективності використання наявного фонду осушуваних земель [2].

Аналіз літературних даних. Традиційно питання обґрунтування типу та конструкції ДС і складових їх технічних елементів вирішувалися на основі застосування водобалансових, гідромеханічних, емпіричних методів. При цьому кожен з них має свої переваги та недоліки. Дані методи були високого наукового рівня, отримали всебічне визнання, увійшли у відповідні галузеві нормативи та широко впроваджені на практиці в умовах виробництва [4].

Початком великих осушувальних заходів в Західній частині в 1873 р. на площі понад 8 млн га була експедиція по осушенню боліт, організована під керівництвом генерала Й. І. Жилінського. Ці роботи в зоні Полісся були першою великою державною програмою з осушення земель відкритими каналами і закритим дренажем, параметри яких приймалися переважно конструктивно. При цьому на багатьох каналах влаштовували шлюзи, греблі, перемички для управління (регулюванням) водним режимом.

Надалі найбільш масштабні роботи з розширення та осушення сільськогосподарських угідь в зоні Українського Полісся (1,5 млн га осушених земель, в тому числі понад 700 тис. га з зволоженням) відбувалися в радянський період розвитку регіону, починаючи з другої половини 60-х років минулого століття. Традиційно ці питання вирішувалися на основі застосування гідродинамічних методів розрахунку руху ґрунтових вод до осушувача (водоприймачів) й гідравлічних розрахунків параметрів дренажних ліній, русел каналів, річок тощо, за якими визначалися положення рівня ґрунтових вод в критичні за умовами перезволоження періоди.

Наявна практика вибору конструкції та параметрів насамперед регулюючої, а також провідної мережі осушувальних систем (ОС), ґрунтується на застосуванні достатньо теоретично обґрунтованих й апробованих на виробництві методів розрахунку, в основу яких

покладено теоретичні засади руху води в природних і технічних системах, що розглядаються в гідромеханіці і гідравліці (С. Ф. Авер'янов, А. М. Костяков, А. І. Івицький, О. І. Мурашко, О. Я. Олійник, М. Г. Пивовар, В. Т. Климков, М. О. Лазарчук, В. Л. Поляков, Р. А. Тумас, Ц. М. Шкінкіс та ін.). Вони дають змогу визначити параметри конструктивних елементів ОС на їхню пропускну здатність, обмежену прийнятим рівнем розрахункової забезпеченості (й відповідно надійності і вартості) на розрахунковий період за діючими нормами проєктування: для дренажу – від 2–5 до 10% забезпеченості щодо розрахункового модуля дренажного стоку; для магістральних каналів – 10% забезпеченості за розрахунковими витратами (посівна, чи висока літня, чи повенева).

В умовах України це завдання традиційно вирішувалося шляхом виконання прогностичних інженерно-меліоративних розрахунків за загальновідомою водобалансовою моделлю А. М. Янголя [5] на основі оцінювання вегетаційного значення показника водного балансу для середнього (50%), сухого (75%) та гостропосушливого (90%) розрахункових років за умовами забезпеченості опадів.

Це дозволяло приймати у досліджуваних умовах реального об'єкта такі технології як осушення, попереджувальне шлюзування та двобічне регулювання водного режиму осушуваних земель з відповідним типом й конструкцією ДС. На той момент часу це було безперечним кроком вперед у теорії і практиці реалізації прогностичних водобалансових розрахунків, які дозволяли з певним рівнем детальності і точності прийняти тип та конструкцію ДС на моноваріантній основі [6].

Однак реалізація даного підходу дозволяла отримати фактично безальтернативний результат щодо оцінки ефективності застосування можливих технологій водорегулювання осушуваних земель в конкретних природно-агромеліоративних умовах реального об'єкта. Крім того, параметри складових технічних елементів і системи в цілому визначалися на підставі нормування рівня розрахункової забезпеченості, що знижувало об'єктивність обґрунтованість і загальну ефективність даних рішень.

Таким чином, водобалансові розрахунки давали змогу уточнити проєктне рішення (ПР) щодо типу, конструкції ДС в заданих умовах. За тим, згідно з базовими проєктними процедурами, розроблявся робочий проєкт ДС за уточненим технічним та технологічним рішенням з водорегулювання осушуваних земель, визначалися їх основні питомі техніко-економічні показники (проєктна вартість

системи, експлуатаційні витрати тощо), економічна ефективність в цілому та доцільність його реалізації (рис. 1).

Реалізація такого підходу дозволяла обґрунтувати необхідність періодичного зволоження осушуваних земель у посушливі періоди вегетації, але не давала при цьому конкретної оцінки ефективності застосування різних можливих технологій водорегулювання: від осушення до попереджувального шлюзування, підґрунтового зволоження чи зрошення дощуванням, або можливих їх комбінацій в межах системи.



Рис. 1. Структурна блок-схема обґрунтування типу та конструкції ДС на моноваріантній основі

У подальшому, для усунення цього недоліку та в розвиток існуючого підходу, була розроблена й удосконалена методика оцінювання технологічної ефективності застосування різних можливих технологій водорегулювання залежно від природно-агромеліоративних умов об'єкта осушення. Це стало можливо завдяки введенню у водобалансову модель А. М. Янголя показника вологообміну активного кореневмісного шару ґрунту (0,5 м) та її реалізації з помісячним кроком дискретизації щодо розрахункових років.

Основу удосконаленої методики складають спрощені математичні моделі водного балансу для оцінювання умов вирощування сільськогосподарських культур проєктної сівозміни на осушуваних землях при різних технологіях водорегулювання, що реалізуються за потенційно можливими (кліматично забезпеченими) значеннями їх складових, отримані шляхом удосконалення наявного методу і моделі А.М. Янголя. Через значний об'єм необхідних вихідних даних і виконаних розрахунків останні реалізуються на ЕОМ. Але введені удосконалення у методику водобалансових розрахунків та можливість уточнення щодо типу та конструкції ДС в заданих умовах все ж не дозволяють обґрунтувати ПР відповідно до сучасних умов та вимог щодо еколого-економічної ефективності їх створення та функціонування.

Тому у подальшому, за допомогою більш детальних прогнозно-імітаційних розрахунків за відповідними моделями при реалізації оптимізаційного методу [2; 6], можуть бути визначені реальні рівні загальної технічної, технологічної та еколого-економічної ефективності кожного з варіантів та вибраний до реалізації оптимальний з них залежно від множинних змінних природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов функціонування об'єкта у їх взаємозв'язку.

Враховуючи складність проєктування водогосподарсько-меліоративних об'єктів та зміни принципу проєктування і розрахунку ДС за комплексом оптимізаційних та прогнозно-імітаційних моделей [6], який включає врахування множинних природно-агромеліоративних умов як в часі, так і в просторі, слід переходити на просторову постановку та реалізацію вирішення такого роду завдань в цілому по об'єкту, що спирається на застосування сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій, АСУ, САПР, ВІМ та ГІС-технологій. Останні поєднують спільне та взаємне

використання даних [7].

Результати досліджень. Вирішення складних міждисциплінарних, багатофункціональних і багатопараметричних завдань щодо зміни підходів до створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, удосконалення технологій водорегулювання, відповідно типів, конструкції й параметрів ДС та їх технічних елементів можливе тільки завдяки переходу від традиційних переважно моноваріантних підходів на оптимізаційні методи, які визначають необхідність зміни та удосконалення технології проектування ДС на основі реалізації базових проектних процедур за основними етапами їх розробки з використання різнорідних методів, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій [8].

Сучасною методологічною основою та одночасно універсальним технічним інструментом, який дозволяє удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, що сьогодні успішно використовуються і розвиваються практично в усіх галузях науки, техніки і промисловості, є традиційні системи автоматизованого проектування (САПР) або сучасні BIM-технології проектування [9].

У структурному відношенні САПР представляє собою організаційно-технічний комплекс, що складається з великої кількості взаємозв'язаних і взаємодіючих компонентів. Головною функцією САПР є здійснення автоматизованого проектування об'єктів та їх складових елементів на основі застосування математичних й інших моделей, автоматизованих проектних процедур і засобів обчислювальної техніки [4; 9].

Застосування САПР при проектуванні ДС потребує насамперед уточнення базових проектних процедур, що пов'язане з поетапним оцінюванням варіантів ПР, вибором найкращого з них на багатоваріантній основі із застосуванням методів системної оптимізації (див. рис. 2).

Характерними особливостями розробленої логічної схеми є послідовна реалізація базових проектних процедур щодо загальної моделі еколого-економічного оцінювання меліоративного проєкту, як-от ініціювання проєкту, що передбачає насамперед, формування ідеї та мети проєкту, постановку завдань, формування основних його характеристик та попереднє оцінювання доцільності інвестицій на його реалізацію; попереднє (пошукове) проектування шляхом

проведення передпроектних досліджень для подальшого визначення можливих варіантів ПР і вибору з них найбільш обґрунтованих в умовах реального об'єкта.

На етапі ескізного проектування здійснюється подальше уточнення і конкретизація загальних структурних схем об'єкта за вибраними до розгляду можливими варіантами. Для ДС на осушуваних землях це насамперед тип та конструкція системи як компоновка певного набору (кількісного та якісного) відповідних технічних елементів (дренажу, каналів бокової мережі, магістрального каналу, шлюзів-регуляторів тощо). На цьому етапі вирішується завдання інженерного синтезу та аналізу: синтез охоплює формування принципів реалізації і конкретизацію проектних технічних та технологічних рішень, а аналіз включає дослідження (за допомогою математичної моделі чи прототипу) вибраних варіантів та їх оцінку за основними укрупненими техніко-економічними показниками і параметрами.

Згідно з [3; 6; 9] одна з головних цілей проектування полягає в пошуку економічно оптимального та екологічно прийняттого ПР з вибраної сукупності можливих варіантів на основі системної оптимізації.

Сутність системної оптимізації при цьому зводиться до послідовного пошуку за кожним варіантом проекту оптимальних рішень за ієрархічною структурою їх підпорядкованості за елементами та ДС в цілому при послідовному обґрунтуванні їх параметрів режимних, технологічних та технічних характеристик з урахуванням множинних змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створюваний економічний й екологічний ефект [8].

За вибраними на попередньому етапі перспективними з екологічної та економічної точок зору варіантами проекту розробляється, відповідно до діючих вимог, необхідна робоча документація, уточнюються прийняті конструктивні рішення та їхні технічні параметри, визначаються реальні обсяги основних будівельно-монтажних робіт, потреби в ресурсах тощо. На цьому етапі, на основі розрахованих технічних характеристик ПР, визначається кошторисна вартість об'єкта за реальними витратами матеріалів, видами й обсягами будівельно-монтажних робіт, основні техніко-економічні показники, які є, відповідно, основою подальшого інвестиційного оцінювання.



Рис. 2. Типова логічна схема процесу проектування за базовими проектними процедурами на багатоваріантній основі за системною оптимізацією

На відміну від попередньої стадії, на етапі остаточного інвестиційного оцінювання простих методів визначення економічної доцільності інвестицій вже недостатньо. Тому для інвестиційного оцінювання та остаточного вибору оптимального варіанта МП слід використовувати динамічні методи оцінювання доцільності інвестицій, що відповідають сучасним вимогам проектного аналізу. На цьому етапі відбір найкращих варіантів слід здійснювати за відповідним комплексом основних економічних критеріїв, що відповідають цілям та задачам інвесторів [3].

Така схема наочно відображає принципи переходу від традиційного, переважно моноваріантного підходу до обґрунтування ПР при створенні водогосподарсько-меліоративних об'єктів, до переходу на оптимізаційні методи з вибором оптимального ПР на багатоваріантній основі за методами системної оптимізації.

Таким чином, створення й функціонування ДС відповідно до сучасних умов та вимог потребує переходу від традиційних, переважно моноваріантних підходів, на оптимізаційні методи, які визначають необхідність зміни та удосконалення технології їх проєктування на основі реалізації базових проектних процедур за основними етапами їх розробки з використанням поєднання та послідовної реалізації різнорідних методів, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій.

1. Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : затв. розпорядженням КМУ від 14 серпня 2019 р. № 688-р. **2.** Рокочинський А. М., Волк П. П. Моделі системної оптимізації для створення й функціонування дренажних систем у сучасних умовах. *Меліорація і водне господарство*. 2021. № 1. С. 75–86. **3.** 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. **4.** 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. **5.** Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М. : Колос, 1970. 135 с. **6.** Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах / Сташук В. А., Рокочинський А. М., Волк П. П., та ін. Рівне : НУВГП, 2021. 104 с. **7.** Rokochinskiy A., Kuzmych L., & Volk P. Eds. Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone. 2023. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3>. (дата звернення:

02.03.2024). **8.** Волк П. П., Рокочинський А. М., Тимейчук О. Ю. Теоретичні аспекти системної оптимізації створення та функціонування дренажних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 3 (90). С. 3–21. **9.** 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*. 2019. Vol. 28. Issue 3(85). P. 432–443. URL: http://iks_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html. (дата звернення: 02.03.2024).

REFERENCES:

1. Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku : zatv. rozporiadzhenniam KМУ vid 14 serpnia 2019 r. № 688-р. **2.** Rokochynskiy A. M., Volk P. P. Modeli systemnoi optymizatsii dlia stvorennia y funktsionuvannia drenazhnykh system u suchasnykh umovakh. *Melioratsiia i vodne gospodarstvo*. 2021. № 1. S. 75–86. **3.** 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. **4.** Rokochynskiy A. M. Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodrehulivannia osushuvanykh zemel na elokoloho–ekonomichnykh zasadakh : monohrafiia / za red. akademika UAAN. Romashchenka M. I. Rivne : NUVHP, 2010. 351 s. **5.** Yanhol A. M. Dvustoronnee rehulyrovanye vlazhnosti pry osushenyi. M. : Kolos, 1970. 135 s. **6.** Naukovo-metodychni rekomendatsii shchodo stvorennia ta funktsionuvannia drenazhnykh system u zminnykh suchasnykh umovakh / Stashuk V. A., Rokochynskiy A. M., Volk P. P., ta in. Rivne : NUVHP, 2021. 104 c. **7.** Rokochinskiy A., Kuzmych L., & Volk P. Eds. Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone. 2023. URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3>. (data zvernennia: 02.03.2024). **8.** Volk P. P., Rokochynskiy A. M., Tymeichuk O. Yu. Teoretychni aspekty systemnoi optymizatsii stvorennia ta funktsionuvannia drenazhnykh system na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 3 (90). S. 3–21. **9.** 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*. 2019. Vol. 28. Issue 3(85). P. 432–443. URL: http://iks_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html. (data zvernennia: 02.03.2024).

Volk P. P., Doctor of Engineering, Professor, Rokochynskyi A. M., Doctor of Engineering, Professor, Volk L. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Romashchenko Ye. V., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

IMPROVEMENT OF DRAINAGE SYSTEM DESIGN TECHNOLOGY BASED ON SYSTEM OPTIMIZATION TAKING INTO ACCOUNT MODERN CHANGING CONDITIONS AND REQUIREMENTS

This paper presents the justification that the transition to optimization methods determines the objective need for changes and improvement of drainage system design technology. The presence of multiple variable natural agromeliorative conditions of a real object, multi-level (multi-variant), multi-parametric, block-like, and cyclical implementation of forecast simulation and optimization calculations determine the need for consistent substantiation. It is determined by the hierarchical subordination of regulatory, technological, and constructive decisions regarding the main regulatory elements and drainage systems as a whole in their relationship, and their step-by-step ecological, economic, and investment evaluation. All this determines the need to improve the technology of designing drainage systems based on the combination and consistent implementation of various methods of evaluating the technical, technological, economic, and environmental parameters of various elements and the system as a whole with the corresponding basic design procedures. A condition for the practical implementation of this approach is the need to use modern information and computer automated management systems (AMS), automated design and calculation systems (ADCS), BIM, and GIS-technologies.

***Keywords:* technologies; drainage system; system optimization; modern conditions and requirements.**