

# Необхідність та принципи удосконалення методів і засобів планування водокористування при зрошенні

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2024.006>

Наталія Приходько  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Рівне, Україна  
[n.v.prihodko@nuwm.edu.ua](mailto:n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

Анатолій Рокочинський  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Рівне, Україна  
[n.v.prihodko@nuwm.edu.ua](mailto:n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

Павло Волк  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Рівне, Україна  
[n.v.prihodko@nuwm.edu.ua](mailto:n.v.prihodko@nuwm.edu.ua)

**Анотація** – У статті розглянуто необхідність та принципи удосконалення методів і засобів планування водокористування при зрошенні. Представлено аналіз міжнародного та вітчизняного досвіду розробки й впровадження інформаційних систем підтримки прийняття управлінських рішень у зрошуваному землеробстві. Наведено загальну характеристику зміни умов та вимог до ведення аграрного виробництва на зрошенні щодо сучасних реалій, які зумовлюють необхідність удосконалення методів і засобів планування водокористування при зрошенні. Запропоновано відповідні рішення.

**Ключові слова** — удосконалення, методи і засоби, планове водокористування, зрошення.

## I. ВСТУП

Ситуація у зрошуваному землеробстві в останні десятиріччя та його подальший розвиток залежать від існуючих викликів, що формуються у водному та сільському господарстві України, відіграючи значну роль у розвитку меліоративної науки та практики. Ці виклики обумовлені змінами навколишнього соціально-економічного та природного середовища: реформами державного управління та окремих секторів економіки, зміною клімату, науковим та інноваційним розвитком, змінами умов водоземлекористування [1; 3 та ін.].

Свого часу з переходом України до ринкової економіки відбулися суттєві зміни в умовах та вимогах щодо ведення усіх форм господарської діяльності, зокрема і аграрного виробництва на зрошенні. Значне зростання вартості матеріально-технічних ресурсів необхідних для реалізації зрошення, а також необхідність залучення інвестицій у реконструкцію та відновлення зрошувальних систем (ЗС), значно підвищило вимоги до управління технологічними процесами у зрошуваному землеробстві.

Як результат виникла необхідність переходу від планування та прийняття рішень за методичними рекомендаціями, зональними технологічними картами та експертними оцінками до планування та прийняття рішень за значно більшою кількістю інформації, зокрема і

про поточний стан посівів та умов їх розвитку, з використанням інформаційних систем (ІС).

На шляху до цього світова наукова спільнота приділяє значну увагу пошуку шляхів та методів підвищення якості прийняття рішень у аграрному виробництві на зрошенні за рахунок впровадження новітніх методів і технологій управління, а також ІС для оперативного планування водокористування при експлуатації ЗС.

Оперативне планування зрошення сільськогосподарських культур на великих ЗС в Україні завжди розглядалось як засіб забезпечення ефективного використання водних та енергетичних ресурсів, підвищення врожаю вирощуваних культур та відповідно збільшення прибутковості господарств.

У зарубіжній та вітчизняній літературі є ряд досліджень, присвячених проблемам розробки методів планування управління зрошенням, слід зазначити наукові роботи вітчизняних учених: Остапчик В.П., Гончаров С.М., Коробченко, Жовтоног О.І., Коваленко П.І., Коквіхіна С.В., Лимарь А.О., Лисогорова С.Д., Мішукова Л.С., Писаренко В.А., Писаренко П. В., Ромко А.В., Собко О.О., Харченко О.В., Штойко Д.А. та багатьох інших [2; 3; 4 та ін.].

Необхідність подальшого розвитку та удосконалення принципів, моделей, методів і засобів оперативного планування водокористування зумовлені постійно зростаючими вимогами до якості й ефективності його виконання через необхідність підвищення загальної ефективності використання ЗС за рахунок оптимізації процесів управління, розширення інформаційного забезпечення, підвищення оперативності, якості і загального рівня технічної експлуатації ЗС.

Аналіз міжнародного досвіду розробки та впровадження ІС підтримки прийняття управлінських рішень у зрошуваному землеробстві свідчить про наступні тенденції при розробці таких систем: надання послуг через мережу Інтернет та мобільні пристрої та розвиток інтерфейсів веб-баз даних у вигляді інтернет-

порталів. До такого типу систем відносяться наступні СППР: IRRINET (Італія), IrtiSatSMS (Австралія), ISS-ITAR (Альбасете, Іспанія), BEWARE (Крит, Греція), Anglia river Basin (Великобританія), IRRISA (Франція), IrtiSat (область Кампанія, Італія) та ін.

При цьому виділяють такі типи ІС: що здійснюють аналіз даних ДЗЗ; що використовують моделювання процесів у середовищі «грунт–рослина–атмосфера»; що ґрунтуються на обробі даних прямих вимірювань метеорологічних умов, параметрів розвитку рослин та вологості ґрунту за допомогою різних типів датчиків, автоматизованих метеостанцій та приладів.

За даним напрямом в Інституті водних проблем і меліорації НААН розроблено декілька поколінь ІС [2]. Над розвитком цього наукового напрямку працювала та працює ціла плеяда відомих в Україні вчених: Остапчик В.П., Філіпенко Л.А., Жовтоног О.І., Ромащенко М.А., Ковальчук П.І. Так, для вирішення задач оперативного планування зрошення, розроблено інформаційну систему «ГІС-Полив» [5], що у своєму складі геоінформаційні технології, методи наземного та космічного агромоніторингу.

Для оперативної діагностики причин незадовільного стану та розвитку вирощуваних культур у складі ІС «ГІС-Полив» пропонуються моделі та алгоритми, які за даними щотижневих космічних спостережень за динамікою біомаси рослин та листовим індексом, а також на основі результатів моделювання динаміки вологозапасів у ґрунті та потенціалу росту біомаси, розпізнають причини відхилення росту та розвитку рослин від оптимального рівня [6].

І за такими результатами діагностики стану та розвитку рослин пропонуються відповідні оперативні чи довгострокові рішення з удосконалення якості управління технологіями зрошеного землеробства.

### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Незважаючи на значну кількість ІС оперативного планування зрошення, більшість потенційних користувачів (фермерів) не використовують ці сучасні інструменти.

Різні дослідження вказують на те, що основними причинами того, що фермери не зацікавлені у застосуванні сучасних інформаційних систем оперативного планування зрошення є труднощі у застосуванні таких систем на практиці, значна вартість їх фактичного використання та не достатній рівень оперативності прийняття рішень в часі, пов'язаний з використанням даних ДЗЗ.

Крім того, усі відомі методи оперативного планування зрошення мають свої переваги та недоліки щодо досягнення високої продуктивності використання поливної води.

Сучасні процеси реформування та інноваційного розвитку в управлінні зрошенням формують нові вимоги та можливості для розвитку методів оперативного планування зрошення, що повинні враховувати просторову і часову мінливість природних та господарських факторів виробництва, а також

процеси: трансформації в управлінні ЗС. Потрібні більш гнучкі системні підходи, що враховуватимуть умови реального виробництва.

Загальним критерієм ефективності управління зрошенням стає критерій її ресурсоефективності, що забезпечує мінімізацію використання ресурсів: за умов досягнення економічно та екологічно сталого рівня господарювання. У міжнародній практиці цей критерій базується на визначенні показника продуктивності використання ресурсів, що оцінюється відношенням обсягів отриманої продукції (прибутків) до обсягів води та інших матеріальних ресурсів, що використані при зрошенні.

За останні роки аграрне виробництво України стикнулося із суттєвими змінами щодо умов та реалій його реалізації. Прогнозоване в умовах змін клімату підвищення температури повітря і посилення його посушливості в цілому, які спостерігаються вже сьогодні, призводять до зменшення природної вологозабезпеченості територій та вологовмісту ґрунтів, збільшення сумарного випаровування й загальної водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошуваних землях, що відбувається на фоні зростаючого дефіциту водних ресурсів.

Окрім викликів і загроз, пов'язаних із впливом змін клімату та відповідним загостренням продовольчої, водної та енергетичної криз, ми перебуваємо в умовах військової агресії. Бойові дії вплинули на суттєве скорочення посівних площ, загострення критичного стану проблеми дефіциту водних ресурсів, обмеження у доступі та можливості проведення збору інформації, зокрема і даних ДЗЗ, використання яких лежить в основі більшості сучасних інформаційних систем.

Сучасні зміни умов функціонування ЗС призводять до необхідності зміни й методологічних підходів до їх створення та функціонування, в основу яких повинен бути покладений ресурсний підхід (ресурсна оптимізація) [7], насамперед щодо стратегічної важливості економії водних й енергетичних ресурсів, що визначає необхідність подальшого розвитку зрошення на основі природоорієнтованих та екологоефективних рішень, зокрема шляхом розробки режимно-технологічних й технічних ресурсоощадних заходів і засобів з урахуванням усієї сукупності змінних природно-агро-меліоративних умов.

Виникає необхідність подальшого розвитку та удосконалення наявних принципів, методів, моделей і засобів реалізації планування водорегулювання в зоні зрошення, що зумовлені всезростаючими вимогами до якості й ефективності його виконання щодо оптимізації процесів управління, розширення інформаційного забезпечення, підвищення оперативності, якості і загального рівня технічної експлуатації ЗС.

У зв'язку з цим, у розвиток існуючих підходів та розробок ІС оперативного планування зрошення, а також розроблених на даний час принципів автоматизації планового водорегулювання осушуваних земель [1; 4], нами запропоновано *систему комплексної автоматизації планового*

**водокористування (СКАПВ)**, яка, на відміну від існуючих розробок, дає змогу для діючих зрошувальних систем комплексно та у взаємозв'язку розглядати планове управління шляхом розробки **системних планів водокористування (СПВ)** на довготерміновій основі для стадії технологічної підготовки до наступного сезону (рівень стратегічного планування) та оперативне управління шляхом корегування в умовах реального року СПВ на основі короткотермінових прогнозів (рівень тактичного планування) за рахунок **інформаційних систем оперативного планування водокористування (ІС ОПВ)**.

Таке поєднання дає можливість підвищити ефективність управління водокористуванням при зрошенні через покращення оцінювання різного роду ресурсних можливостей водоземлекористувачів у кожному окремому випадку, насамперед обмеженості доступних і придатних для зрошення водних ресурсів.

### III. ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Керування водним режимом через водокористування при зрошенні як на рівні меліорованого поля, так і на рівні системи може здійснюватися відповідно до рівнів прийняття рішень в часі у декілька етапів:

1) на стадії технологічної підготовки системи до наступного сезону (рівень стратегічного планування) через розробку **системного плану водокористування (СПВ)** шляхом виконання інженерних прогнозно-оптимізаційних режимних розрахунків на довготерміновій основі за усім спектром схематизованих типових природно-агро-меліоративних умов для планових видів, структури розміщення і врожаїв вирощуваних культур;

2) відповідної реалізації та корегуванні СПВ ЗС через виконання за відповідними моделями аналогічних розрахунків на короткотерміновій основі в оперативному режимі в умовах поточного року (рівень тактичного планування) за фактичними природно-агро-меліоративними умовами.

І хоча розглядаються два різні рівні прийняття рішень в часі, які відносно самостійні, але, водночас, вони і взаємозв'язані між собою. Тому, з одного боку, вони потребують розробки прогнозно-оптимізаційних моделей і методів їх реалізації різного рівня складності та інформаційного забезпечення відповідно до виду прогнозу природно-агро-меліоративних режимів (на довготерміновій чи короткотерміновій основі).

З іншого боку, на цих рівнях, що відповідають одній стадії – експлуатації системи, розглядаються однотипні цілі і задачі з прогносної оцінки водного режиму за різних природно-агро-меліоративних умов та обґрунтування необхідності й доцільності реалізації відповідних технологій за визначеними параметрами необхідних технічних характеристик водокористування на ЗС (норми й терміни подачі або скиду води, відповідні ним витрати, об'єми води тощо).

При цьому ієрархія (підпорядкована черговість) структури виконання необхідних прогнозних режимних розрахунків на цих двох рівнях прийняття рішень в часі стосовно ієрархії технічної структури

побудови системи буде однаковою. Різні типи та конструкції систем як на зрошуваних, так і осушуваних землях за їх технічною структурою побудови, як правило, характеризуються вираженою деревовидною структурою (графом) розташування й підпорядкування її складових технічних елементів (гідротехнічних споруд, насосних станцій, каналів, трубопроводів тощо), що обслуговують меліоровані поля з вирощуваними на них культурами.

Через це вся територія системи розбивається за вузловим принципом управління на балансові ділянки за кількістю регулюючих гідротехнічних споруд у розподільних вузлах магістрального каналу чи трубопроводу системи. Під **балансовою ділянкою** (БД) мається на увазі частина системи, що обслуговується одним розподільником.

В межах БД розглядаються **балансові підділянки** (БПД), підпорядковані розподільним каналам або трубопроводам нижчого підпорядкування, в межах яких, в свою чергу, розглядаються **балансові модулі** (БМ) або меліоровані поля з плановими чи фактичними посівами вирощуваних культур. Тут подача води на зрошення здійснюється на кожному полі в структурі ССВ, як складової ЗС, через систему відповідних розподільних технічних елементів (каналів чи трубопроводів) найнижчого рівня підпорядкованості.

Звідси прогнознi режимні та оптимізаційні розрахунки, а далі й розробка СПВ ЗС як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі виконуються послідовно, відповідно до розглянутої багаторівневої ієрархії починаючи з найнижчого рівня до найвищого.

До того ж, усі ці розрахунки щодо рівня прогнозу ґрунтуються на єдиній базі інформаційного забезпечення, оскільки короткотермінові прогнози природно-агро-кліматичних і меліоративних умов на об'єкті, що розглядається, ґрунтуються, як правило, на сполученні даних багаторічних ретроспективних спостережень і передбачуваних (очікуваних) оперативних даних короткотермінового прогнозу природно-агро-меліоративних умов поточного року.

Все це є достатньою підставою для постановки й розв'язування задачі наскрізного планування водокористування при експлуатації ЗС, тобто створення **комплексної системи планового водокористування** та реалізації **системи комплексної автоматизації планового водокористування (СКАПВ)** при зрошенні на базі ЕОМ.

Така система ґрунтується:

- на розробці СПВ ЗС на довготерміновій основі на стадії технологічної підготовки системи до наступного сезону;
- реалізації та корегуванні СПВ ЗС в умовах реального року на основі короткотермінових прогнозів за рахунок створення й функціонування ІС ОПВ ЗС.

Розробка СПВ ЗС та ІС ОПВ ЗС в структурі створення та реалізації СКАПВ – це, в принципі, самостійні, досить складні й багатопрофільні прогнозно-оптимізаційні задачі науково-виробничого характеру, які потребують ґрунтовного самостійного висвітлення.

Тому, СПВ ЗС можуть розроблятися і розглядатися в складі СКАПВ як самостійне завдання для вироблення стратегії управління системою за невизначених природно-агро-кліматичних умов на наступний сезон. Але вони також можуть служити необхідною нормативно-інформаційною базою для створення й функціонування ІС ОПВ ЗС в умовах поточного року.

**Розробка системних планів водокористування на довготерміновій основі.** При розробці СПВ ЗС завдання зводиться, зрештою, до встановлення термінів і величин потрібних витрат води для відповідних режимів зрошення стосовно складових елементів (меліорованих полів, гідротехнічних споруд, каналів, трубопроводів, насосних станцій тощо) та системи в цілому за усім спектром типових схем погодних умов розрахункових щодо тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації [8]. Завдання виконується за допомогою побудови й реалізації відповідних балансових моделей, які дають змогу отримати диференційовану та інтегральну оцінку умов водокористування на об'єкті в часі і просторі.

При цьому СПВ ЗС розробляються відповідно до загальної універсальної структури реалізації прогнозно-оптимізаційних розрахунків на довготерміновій основі у подекадному розрізі за схематизованих природно-меліоративних умов на конкретному об'єкті, з урахуванням багаторівневої ієрархії їх виконання стосовно технічної та ієрархічної структури побудови системи за такими узагальнюючими блоками (рис. 1).

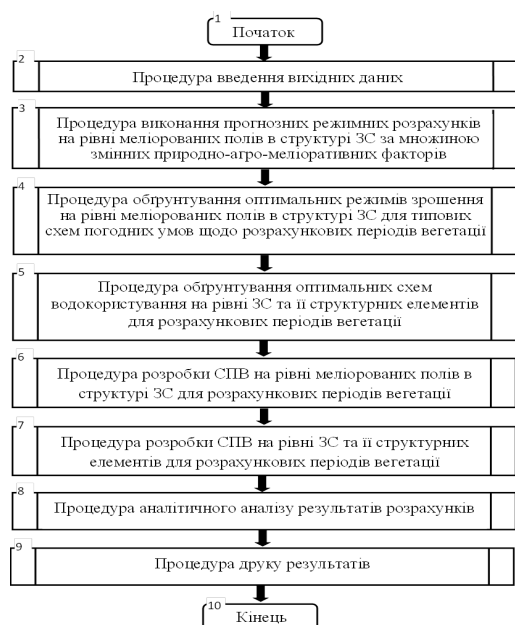


Рисунок 1. Узагальнена структурна блок-схема СПВ ЗС

**Інформаційні системи оперативного планування водокористування.** ІС ОПВ ЗС призначена для підвищення оперативності та якості водокористування, а також його удосконалення при зрошенні за рахунок підвищення рівня технічної експлуатації ЗС на базі метеорологічних і гідрологічних короткотермінових прогнозів в оперативному режимі в умовах поточного року.

Розроблені структура, принципи дії, комплексу моделей, методів та інформаційного забезпечення з їх реалізації, а також комплект програмних засобів і комплекс організаційно-технічних заходів для створення й функціонування ІС ОПВ ЗС (рис. 2), забезпечують стійкий розв'язок основних задач щодо:

- прогнозування фенологічних фаз розвитку вирощуваних культур;
- розрахунок водного режиму та водного балансу активного шару ґрунту з визначенням усіх необхідних складових;
- оптимізації водорозподілу по елементах і системі в цілому у випадку нестачі водних ресурсів; розрахунку витрат і об'ємів води по елементах і системі в цілому;
- накопичення й видача інженерно-технічному персоналу звітної інформації про стан функціонування системи на поточний і прогнозований терміни часу, а також рекомендацій з управління нею.

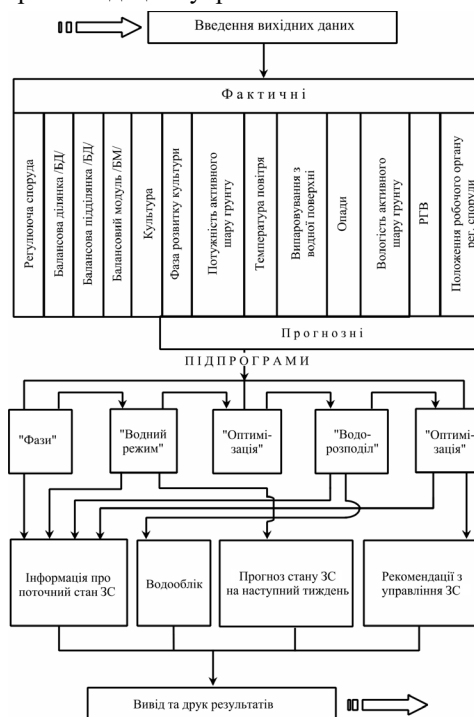


Рис. 2. Узагальнена структурна схема ІС ОПВ ЗС

Організаційна структура виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків для ІС ОПВ ЗС на короткотерміновій основі є повністю тотожною до розглянутої аналогічної структури при розробці СПВ ЗС на довготерміновій основі, тобто вони виконуються також стосовно технічної та ієрархічної структур побудови системи.

Але на відміну від них означені розрахунки виконуються в тижневому розрізі періоду вегетації поточного року, що дуже зручно з точки зору режиму роботи обслуговуючого персоналу ЗС у такому змінно-кроковому прогнозованому і ретроспективному режимах.

Оскільки точність прогнозних розрахунків в оперативному режимі визначається, перш за все, справдовуваністю очікуваного короткотермінового метеопрогнозу на наступний тиждень, то для

усунення виникаючих похибок, після того, як цей тиждень минув, повторно виконуються усі необхідні режимні й інші розрахунки за вимірними ретроспективними фактичними значеннями метеорологічних, агрометеорологічних, меліоративних й інших факторів. Крім того, для реалізації наступних кроків оперативного управління здійснюється також зворотній зв'язок, тобто виконується періодичний контроль вологості ґрунту, фенофаз вирощуваних культур, об'ємів і витрат води через натурні заміри на системі тощо.

Реалізація ІС ОПВ ЗС включає:

1. Збір й первинну обробку вихідних даних щодо фактичного складу і структури посівів вирощуваних сільськогосподарських культур на меліорованих полях, фаз їх розвитку в онтогенезі, початкової і поточної вологості активного шару ґрунту, РГВ, інформації по температурі повітря, опадів, випаровуванню тощо.

2. Реалізацію на ЕОМ розроблених математичних моделей режимних, водобалансових і оптимізаційних розрахунків за очікуваними прогнозними й спостереженими фактичними ретроспективними даними по елементах і системі в цілому з виробленням рекомендацій щодо управління роботою насосних станцій, скидних споруд і т.д.

3. Виконання отриманих рекомендацій наявним інженерно-технічним персоналом ЗС.

За організаційно-технічною структурою побудови, режимом функціонування, рівнем та ефективністю вирішуваних завдань ІС ОПВ ЗС практично повною мірою задовольняє тим вимогам, які висуваються при оперативному управлінні водокористуванням і водорозподілом на зрошуваних землях в умовах поточного року за наявними природно-агро-меліоративними умовами конкретного об'єкту.

#### ВИСНОВКИ

Таким чином, зміна умов функціонування зрошувальних систем та ведення аграрного виробництва в цілому, вимагає удосконалення методів і засобів планування водокористування для вироблення ефективних стратегій управління водними ресурсами при зрошенні.

На сьогодні існує значна кількість інформаційних систем оперативного планування зрошення, які мають свої переваги та недоліки щодо досягнення високої продуктивності використання поливної води. Однак їх використання у сучасних умовах, що за останні роки зазнали суттєвих змін, у зв'язку з низкою об'єктивних причин не здатне забезпечити необхідну якість прийняття рішень.

У першу чергу це стосується відсутності можливості стратегічного планування на довготерміновій основі з урахування усього спектру змінних природно-агро-меліоративних умов.

Виникає необхідність подальшого розвитку та удосконалення наявних принципів, методів, моделей і

засобів реалізації планування водокористування в зоні зрошення, що зумовлені всезростаючими вимогами до якості й ефективності його виконання щодо оптимізації процесів управління, розширення інформаційного забезпечення, підвищення оперативності, якості і загального рівня технічної експлуатації ЗС.

Відповідно на наявних потреб й вимог та у розвиток існуючих напрацювань і розробок запропоновано удосконалену *систему комплексної автоматизації планового водокористування* при зрошенні, яка дає змогу у комплексі та взаємозв'язку розглядати планове й оперативне управління водними ресурсами та ґрунтується на розробці *системних планів водокористування* на довготерміновій основі на стадії технологічної підготовки системи до наступного сезону за усім спектром змінних природно-агро-меліоративних умов та їх подальшому корегуванні в умовах реального року на основі короткотермінових прогнозів за рахунок створення й функціонування *інформаційних систем оперативного планування водокористування*.

Наявність такого інструменту планування водокористування на діючих зрошувальних системах забезпечує можливість підвищення ефективності управлінських рішень при зрошенні через покращення оцінювання різного роду ресурсних можливостей водоземлекористувачів у кожному окремому випадку, насамперед щодо обмеженості доступних і придатних для зрошення водних ресурсів, що відповідає сучасним умовам та вимогам до зрошувального землеробства.

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Водний менеджмент в Україні: проблеми та інновації розвитку: [колективна монографія] / за ред. Л.Ф. Кожушка, В.А. Сташук, М.А. Хвесика, А.М. Рокочинського. Рівне, 2018. 638 с.
- [2] Жовтоног О.І., Поліщук В.В. та ін. Оперативне планування зрошення: сучасні виклики, реалії та бачення. *Меліорація і водне господарство*, 2019, (2), С. 55–67.
- [3] Ромащенко М.І. Інформаційне забезпечення зрошувального землеробства. Концепція, структура, методологія організації / М.І. Ромащенко та ін. – Київ: Аграрна наука, 2005. 196 с.
- [4] Рокочинський А.М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / за ред. Ромащенко М.І. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
- [5] «Комп'ютерна програма «Інформаційна система оперативного планування зрошення ІС «ІС Полив», автори: Жовтоног О.І., Філіпенко Л.А., Деменкова Т.Ф., Бабич В.А., Поліщук В.В. (Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір» 54650 від 07.05.2014).
- [6] Поліщук В.В., Салок А.Ф., Бутенко Я.О., Жовтоног О.І. Забезпечення якості прийняття рішень у зрошенні за рахунок впровадження інформаційних систем, 2022, С. 178–180.
- [7] Stashuk V., Rokochynskyi A., Prykhodko N., Volk P., Koptiuk R., Frolenkova N., Volk L. Reducing of Water and Energy Resources Consumption in Irrigation Based on Resource Optimisation. *Land Reclamation and Water Management*, 2024, (1), pp. 31–41. <https://doi.org/10.31073/mivg202401-387>
- [8] Посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проєктах будівництва й реконструкції осушувальних систем /А.М. Рокочинський та ін. Київ: ВАТ «Укрводпроєкт», 2008. 63 с.