


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
KHERSON STATE AGRARIAN AND ECONOMIC UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДОСЯГНЕННЯ
ІНЖЕНЕРНИХ НАУК
В ГАЛУЗІ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА
ТА ВОДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**Збірник наукових праць
8-й випуск**



Кропивницький - Херсон - 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
KHERSON STATE AGRARIAN AND ECONOMIC UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ДОСЯГНЕННЯ
ІНЖЕНЕРНИХ НАУК
В ГАЛУЗІ ГІДРОТЕХНІЧНОГО БУДІВНИЦТВА
ТА ВОДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**Збірник наукових праць
8-й випуск**

Кропивницький - Херсон - 2026

УДК 626/627:001

Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: збірник наукових праць. 8-й випуск. – Кропивницький - Херсон: ХДАЕУ, 2026. – 117 с.

Редакційна колегія:

Волошин М.М. - завідувач кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії ХДАЕУ, заступник декана факультету архітектури та будівництва ХДАЕУ з навчальної роботи, к.т.н., доцент;

Рагулін С.В. - доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії ХДАЕУ, к.т.н., доцент.

В збірнику публікуються наукові статті з питань гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій, зрошувального землеробства, технологій забезпечення сталого землекористування, сільськогосподарських гідротехнічних меліорацій, впливу гідротехнічних споруд на навколишнє середовище, інженерного захисту територій, водопостачання та водовідведення, застосування сучасних технологій будівельного виробництва, використання ГІС - технологій в водній інженерії та управлінні земельними ресурсами, сучасних досягнень вишукувань і проектування гідротехнічних споруд, застосування енергозберігаючих технологій у гідротехнічному будівництві, електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Збірник розрахований на наукових співробітників, інженерно-технічних робітників підприємств, проектних організацій, навчальних та науково-дослідних інститутів напряму гідротехнічного будівництва, водної інженерії та водних технологій.

Рекомендовано до друку вченою радою факультету архітектури та будівництва Херсонського державного аграрно-економічного університету (протокол № 11 від 29.05.2026 р.).

Відповідальність за зміст, новизну та оригінальність наданого матеріалум несуть автори статей.

ЗМІТ

Чеканович М.Г. НАСЛІДКИ РАКЕТНО/ДРОНОВОГО УДАРУ ПО ГІДРОТЕХНІЧНІЙ СПОРУДІ ТА ЇХ АНАЛІЗ	5
Волошин М.М. ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗРОШУВАЛЬНИХ НОРМ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ВОДОПОСТАЧАЛЬНИКІВ І ВОДОСПОЖИВАЧІВ В УМОВАХ ПЛАТИ ЗА ВОДУ»	10
Волкович А.М., Зубенко В.О. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА	17
Волошин М.М., Клименко І.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ (НА ПРИКЛАДІ МКП «ВУВКГ М. ХЕРСОНА»).....	23
Волошинов С.А., Блінда І.М. ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЦІ.....	27
Волошинов С.А. ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ.....	31
Гасенко Л.В., Ярема У.В. СУЧАСНІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ СТАЛОГО БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	36
Зубенко В.О. ІНТЕГРАЦІЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	40
Коваленко Р.Ю. ПОРІВНЯЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УМОВАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ	45
Коваленко Р.Ю., Басс Р.Д. МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗРОШЕННЯ ЗА УМОВ НЕСТАБІЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	49
Литвиненко В.М. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРЕМНІЄВОГО ВАРИКАПА	53
Литвиненко В.М., Бєлий О.В., Коваленко С.В. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЕРМОМЕТР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТІЛА.....	58
Кравченко В. І. РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ МІСТА КРОПИВНИЦЬКИЙ	61
Сапко І. Є., Кравченко В. І. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУМІШІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРОТУАРНОЇ БРУКІВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОСАДУ ПИТНОЇ ВОДИ.....	64

Заводяний В.В., Шпилько О.О. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМАШИНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....	67
Грінченко Р.О. ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ГІДРОТЕХНІЧНОГО БЕТОНУ ЗА ГРАНИЧНИМИ КРИВИМИ.....	71
Турченко В.О., Кропивко С.М. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИДУНАЙСЬКИХ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ РИСУ ДРЕНАЖНО-СКИДНИХ ВОД.....	75
Герус А.Р. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ	79
Заводяний В.В. РУХ ТІЛА ЗМІННОЇ МАСИ В ПОЛІ ТЯЖІННЯ ЗЕМЛІ. УМОВА ЗЛЬОТУ РАКЕТИ.....	81
Рагулін С.В., Коваленко С.В. ВПЛИВ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ: ЕКОЛОГІЧНИЙ БАЛАНС, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ	85
Середа В.В., Стрепетова Х.В. ІНЖЕНЕРНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС У КОНТЕКСТІ ПОВОЄННОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД.....	89
Блажко А.П. ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНИХ ВОД ЗА АГРОНОМІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ ДЛЯ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ НА ГОЛОВНОМУ ВОДОЗАБОРІ ТРОЇЦЬКО-ГРАДЕНИЦЬКОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	94
Шевченко А.М., Козицький О.М., Сидоренко О. О., Шевченко І.А. АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВОДНОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ ВОДООХОРОННИХ ОБМЕЖЕНЬ НА ПРИБЕРЕЖНИХ ТЕРИТОРІЯХ І НАУКОВІ ПІДХОДИ ЇХНЬОГО ВИРІШЕННЯ	98
Турченко В.О., Козишкурт С.М., Картавов Ю.О. ІНЖЕНЕРНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОЛИВНОЇ КАРТИ РИСОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ЗРОШЕННЯ	102
Рагулін С.В. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОЕС УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО ENTSO-E.....	106
Царук Д.В., Приходько Н.В., Рокочинський А.М. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РЕСУРСООЩАДЛИВОГО ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ ЩОДО СУЧАСНИХ ЗМІННИХ УМОВ І ВИМОГ	110
Гурин В.А., Пашинський М.А., Кузьмич Л.В., Кузьмич С.А., Казмірчук А.С. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОБ'ЄМНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ПОТОКІВ У РУСЛІ ВОДОПРИЙМАЧА ВІД ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ	114

Чеканович М.Г.*Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон*

НАСЛІДКИ РАКЕТНО/ДРОНОВОГО УДАРУ ПО ГІДРОТЕХНІЧНІЙ СПОРУДІ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Вступ. Об'єкти гідротехнічного комплексу належать до критичної інфраструктури держави та мають важливе значення для забезпечення енергетичної, транспортної й техногенної безпеки країни. В умовах воєнної агресії стратегічні інфраструктурні об'єкти, зокрема гідроелектростанції, греблі та мостові переходи, стають пріоритетними цілями ракетних і ракетно/дронових ударів противника. Наслідком таких атак є значні пошкодження, руйнування будівельних конструкцій транспортної інфраструктури, що призводить до порушення функціонування об'єктів критичної інфраструктури та створює потенційну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

У сучасних умовах особливої актуальності набуває оперативне проведення технічних обстежень пошкоджених споруд, визначення ступеня їх руйнувань та оцінка залишкової несучої здатності конструкцій. Результати таких обстежень є основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо відновлення, подальшої експлуатації або консервації об'єктів. Своєчасне виконання зазначених заходів сприяє мінімізації ризиків для населення, забезпеченню безпеки експлуатації споруд та підвищенню стійкості енергетичної системи держави [1–4].

Основна частина. На прикладі гідроелектростанції розглянуто характерні руйнування та пошкодження [5], спричинені ракетним ударом, зокрема (рис. 1-3) мостової споруди греблі (рис. 1–7).

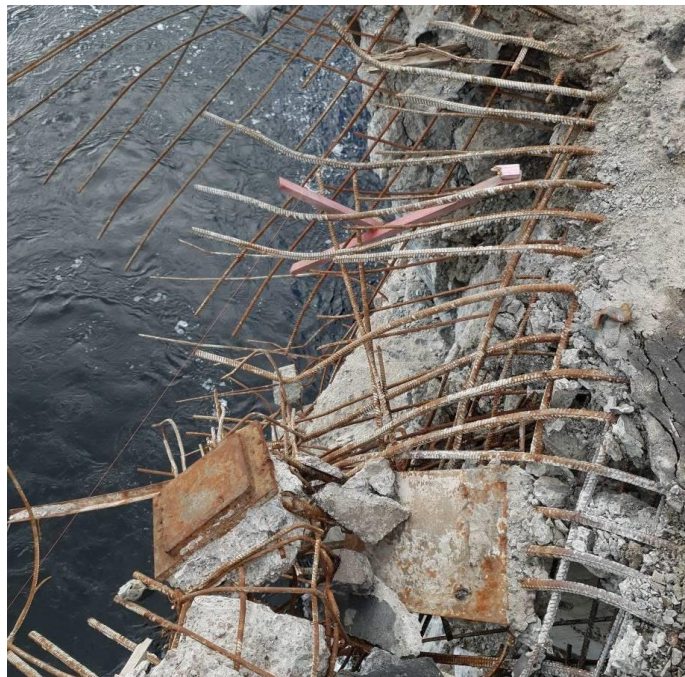


Рис.1. Наслідки ракетно/дронового удару — руйнування плити проїзної частини, тротуару, бар'єрного і перильного огороження



Рис.2. Зруйнований шар бетону, оголена арматура крайки тротуару в прогоні і на опорі моста, відірвана ділянка деформаційного шва зі сторони нижнього б'єфу після ракетно/дроновогоудару



Рис. 3. Сталевий уламок від ракетного удару в тілі монолітної плити



Рис. 4. Тріщина у верхньому шарі під гідроізоляцією розкриттям до 2,5 мм



Рис. 5. Уточнене визначення ширини розкриття тріщин за допомогою мікроскопу МПБ-2.



Рис. 6. Руйнування бетону в плитній частині балок прогонової будови



Рис. 7. Через вибуховий удар наскрізні отвори в балці бар'єрного огороження зі сторони верхнього б'єфу, корозія сталі, вибоїни в асфальтобетонному покритті проїзної частини по усій ширині в прогонах

За результатами проведеного у квітні 2026 року обстеження конструкцій мосту по спорудам греблі ГЕС встановлено, що в цілому з часу попереднього обстеження у липні-серпні 2025 році його стан погіршився у зв'язку з пошкодженнями заподіяними ракетно/дроновим ударом. Зруйнована ділянка мостового полотна, покриття проїзної частини на опорі і в прогоні з по низові смузі проїзду; суцільні вибоїни в асфальтобетонному покритті проїзної частини в прогонах; зруйнований вузол водовідведення на проїзній частині в прогоні біля

опори зі сторони нижнього б'єфу; зруйнована ділянка бар'єрного огороження, наскрізні отвори, деформації, розриви, корозія сталі, зменшення перерізу елементів бар'єрної огорожі в прогонах; зруйнована ділянка перильного огороження над опорою і в прогонах з низової сторони, наскрізні отвори, деформації, розриви; розриви з'єднань елементів заповнення, наскрізна корозія сталі, зменшення перерізу елементів перильної огорожі зі сторони нижнього б'єфу в прогонах; зруйнована ділянка деформаційного шва, порушена герметизація деформаційного шва, проникнення вологи, гумовий ущільнювач відсутні в пазу над опорою зі сторони нижнього б'єфу внаслідок ракетно/дронового удару.

Зруйнована ділянка прогонової будови над опорою та в прогоні зі сторони нижнього б'єфу, руйнування плитної частини балки, тріщина по вуту вздовж плити, оголення корозія і деформація арматури, сколювання в опорній зоні ребра крайньої балки біля опори внаслідок ракетно/дронового удару.

Зруйнована верхня ділянка опори внаслідок ракетно/дронового удару зі сторони нижнього б'єфу. Зі сторони низового прогону вивал бетону по висоті сягає 1,1 м, часткове руйнування - до 2,2 м, тріщини, виколування простягаються дещо нижче.

Висновки. Аналіз дефектів показав, що ушкодження опори внаслідок ракетно/дронового удару не розповсюдилося нижче ригеля і опора здатна сприймати навантаження від прогонової будови. Локальне штучне механічне розкриття монолітної плити на місці до міцного бетону показало, що на відстані від розчищеного проламу 500-700 мм бетон не ушкоджений. Плита балки має ушкодження, розшарування бетону та закриту тріщину по вуту в консольній ділянці з низової сторони. Пошкодження не розповсюджується на ребро балки. Розрахункова експертиза показала, що міцність за похилими перерізами балки біля опори з умовно виключеною з роботи плитою з низової сторони достатня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану»
2. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування.
3. Чеканович, М. Г. (2024). Теорема для розрахунку будівельних конструкцій. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (5), 199-204. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.24>
4. Чеканович, М. Г. (2024). Альтернативний розрахунок будівельних конструкцій на основі обертального моменту. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 261-268. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.29>
5. Залізобетонні конструкції з натягом арматури на бетонну суміш: монографія / Мечислав Чеканович: Херсонський державний аграрно-економічний університет.– Одеса: Олді +, 2024 – 146 с.

Волошин Микола Миколайович

*кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри гідротехнічного
будівництва, водної та електричної інженерії*

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна

voloshyn_m@ksaeu.kherson.ua

**ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ
ЗРОШУВАЛЬНИХ НОРМ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ ВОДОПОСТАЧАЛЬНИКІВ І
ВОДОСПОЖИВАЧІВ В УМОВАХ ПЛАТИ ЗА ВОДУ»**

Постановка проблеми. В нових умовах господарювання важливим напрямком розвитку меліорації є розробка економіко-організаційних основ і нормативів, що обслуговують економічні взаємовідносини в галузі водного господарства і меліорації та опираються на прогресивні технології.

Стан вивчення проблеми. Особливо актуальним при вирощуванні сільськогосподарських культур є пропозиції щодо покращення взаємовідносин між водогосподарськими організаціями (управління зрошувальних систем) і водокористувачами (фермери, орендарі, господарства різної форми власності), а саме безбитковості тих і інших організацій.

Таким чином, вибір функції додаткового чистого прибутку від зрошення обумовлено тим, що тільки додатковий чистий прибуток виражає приріст економічного ефекту внаслідок зрошення [1]. Тому в подальшому оптимізація водокористування здійснюється за критерієм додаткового чистого прибутку від зрошення для конкретних років, на основі прогнозування певного типу метеорологічних ситуацій, в умовах яких передбачається вирощування сільськогосподарських культур (в гостро-засушливих чи середньо-засушливих, середніх, середньо-вологих та вологих років).

Завдання і методика досліджень. Для умов прогнозованого року розраховуються функції додаткового чистого прибутку від зрошення відповідних сільськогосподарських культур. Оптимізація здійснюється графічно шляхом вибору оптимального значення зрошувальної норми на основі візуальної оцінки чистого прибутку, розрахованого за даними, які узгоджуються з сільгоспвиробником.

Результати досліджень. В умовах переведення меліоративно-водогосподарського комплексу на платне водокористування консолідований взаємовигідний розподіл прибутку від зрошення базується на економічній оцінці варіантів за критерієм додаткового чистого прибутку від зрошення, який обчислюється за функцією, що вдосконалена стосовно умов платного водокористування [1]:

$$F(U, W, \xi) = (C - C_1) f\left(\frac{U + \xi}{W + \xi}\right) Y^{\Pi} - (C - C_2) f\left(\frac{\xi}{W + \xi}\right) Y^{\Pi} - \lambda U, \quad U \leq U_{кр}, \quad (1)$$

де $F(U, W, \xi)$ - додатковий чистий прибуток від зрошення, грн/га;

C - ціна реалізації, грн/т;

C_1, C_2 - собівартість відповідно при зрошенні і на богарі (без витрат на подачу води), грн/т;

Y^n - запланований урожай, т/га;

$f\left(\frac{U+\xi}{W+\xi}\right), f\left(\frac{\xi}{W+\xi}\right)$ - функції зниження урожайності від одиниці при

недополиві при зрошенні та на богарі, в долях одиниці;

$U, U_{кр}$ - значення відповідно поточних та критичних (лімітних) зрошувальних норм, м³/га;

ξ - опади конкретного року, м³/га;

W - значення біологічно оптимальних зрошувальних норм, м³/га;

λ - тариф за 1 м³ води, грн/м³.

При цьому сільгоспвиробник повинен знати, який приріст даної функції (порівняно з богарними умовами) забезпечує той чи інший варіант зрошення, враховуючи специфічні умови, тобто величини тарифу на воду. Важливим питанням подальшого застосування зрошення є розуміння економічної ефективності зрошувальної води та економічної ефективності вирощування культур на поливних землях, яка показує переваги зрошувального землеробства над неполивним на півдні України [2]. В основу розрахунків економічної ефективності зрошувальної води повинен бути покладений тільки додатковий результат (ефект) в поливному землеробстві за виключенням аналогічного у богарному (неполивному) землеробстві, яке ведеться практично в однакових умовах. Останнє показує, що в формулі додаткового чистого прибутку (1) необхідно покласти $C_1=C_2$, тобто собівартості при зрошенні і на богарі є однаковими. При цьому використовується одна і та ж технологія зрошувального землеробства і приймається, як один із варіантів, відсутність поливу ($U=0$).

Для визначення економічної ефективності вирощування культур на поливних землях, тобто для оцінки переваги зрошувального землеробства над неполивним, необхідно порівнювати різні технології зрошення: технологію, що характерна (і яку застосовує сільгоспвиробник) для умов зрошувального землеробства, і типову технологію, що рекомендується (і яку може застосувати сільгоспвиробник) для умов богарного землеробства. В даному випадку використовуються значення собівартостей при застосуванні двох різних технологій: технології зрошувального землеробства (собівартість C_1) та технології богарного землеробства (собівартість C_2).

В умовах застосування інтенсивної технології ведення зрошення, але при відсутності поливів з якихось причин ($U=0$), з формули (1) отримуємо:

$$F(0, \omega, \xi) = (C_2 - C_1) f\left(\frac{\xi}{\omega + \xi}\right) Y^n. \quad (2)$$

Для оцінки ефективності зрошувальної води ($C_1=C_2$) в умовах рівних собівартостей функція (3) починається з 0 (ефективність зрошувальної води рівна 0), тобто такий фактор, як “зрошувальна вода”, при його відсутності не дає збільшення додаткового чистого прибутку.

Проте якщо функція (3) використовується для оцінки і порівняння технологій зрошувального і богарного землеробства, то при відсутності поливів ($U=0$), додатковий прибуток при зрошенні, згідно (4), одержується за рахунок інших факторів інтенсивної технології ведення землеробства (добрив, обробітку ґрунту, густини посіву, післядії зрошення та інше). У випадку, якщо собівартість вирощуваної культури на зрошенні більша ніж на богарі ($C_1 > C_2$), додатковий чистий прибуток буде від’ємний, а якщо собівартість на зрошенні менша ніж на

богарі ($C_1 < C_2$), то додатковий чистий прибуток - додатній.

Таким чином, додатковий чистий прибуток від зрошення залежить від конкретних умов року (W, ξ), та вибору фактичних зрошувальних норм (U). Виходячи з цього, на основі імітаційного моделювання, можна побудувати матрицю гри з природою типу (3) для дослідження критерію додаткового чистого прибутку:

$$F(U_k, W_j, \xi_j) = \begin{array}{c} (W_1, \xi_1) \\ \dots \\ (W_N, \xi_N) \end{array} \left| \begin{array}{ccc} U_1 & \dots & U_m \\ F(U_1, W_1, \xi_1) & \dots & F(U_m, W_N, \xi_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ F(U_1, W_1, \xi_N) & \dots & F(U_m, W_N, \xi_N) \end{array} \right| \quad (3)$$

де (W_j, ξ_j) - конкретні умови року, $j=1, \dots, N$ - ходи природи, U_k - фактичні зрошувальні норми, $k=1, \dots, m$ - ходи активного гравця, тобто вибір фактичної зрошувальної норми при оптимізації водокористування.

При відсутності прогнозної інформації щодо метеорологічної ситуації на найближчі місяці, на який припадає вегетаційний період культури, маємо четверту інформаційну ситуацію I_4 з невідомим розподілом ймовірностей. В ситуації I_4 для зняття невизначеності приймається критерій Бернуллі - Лапласа, тобто прийняття рішень здійснюється за середніми багаторічними значеннями додаткового чистого прибутку від зрошення. При цьому, при розрахунку середніх значень приймаються імовірності кожного рядка матриці, рівні $1/N$, тобто з однаковою імовірністю.

Нижче розглянемо запропонований нами програмний комплекс водокористування в умовах плати за воду, що базується на оптимізації зрошувальних норм U на основі функції додаткового чистого прибутку (ДЧП) від зрошення (3). Як відомо, метод (від грецького - шлях, дослідження, спосіб пізнання) полягає в формалізації, визначенні та подальшій алгоритмізації способу, прийому, або системи прийомів для досягнення поставленої мети, для виконання певної операції.

В даному випадку в основу розробки програми поставлена мета - оптимізація варіантів водокористування (зрошувальних норм) для економічно доцільного ведення зрошеного землеробства з позицій водокористувачів. Кінцева операція - системна оцінка та оптимізація зрошувальних норм на основі критерію ДЧП в умовах різних тарифів за воду λ . (рис.1. – рис.6) Розглянемо і обґрунтуємо систему прийомів, які використовуються в задачі оптимізації функції (3).

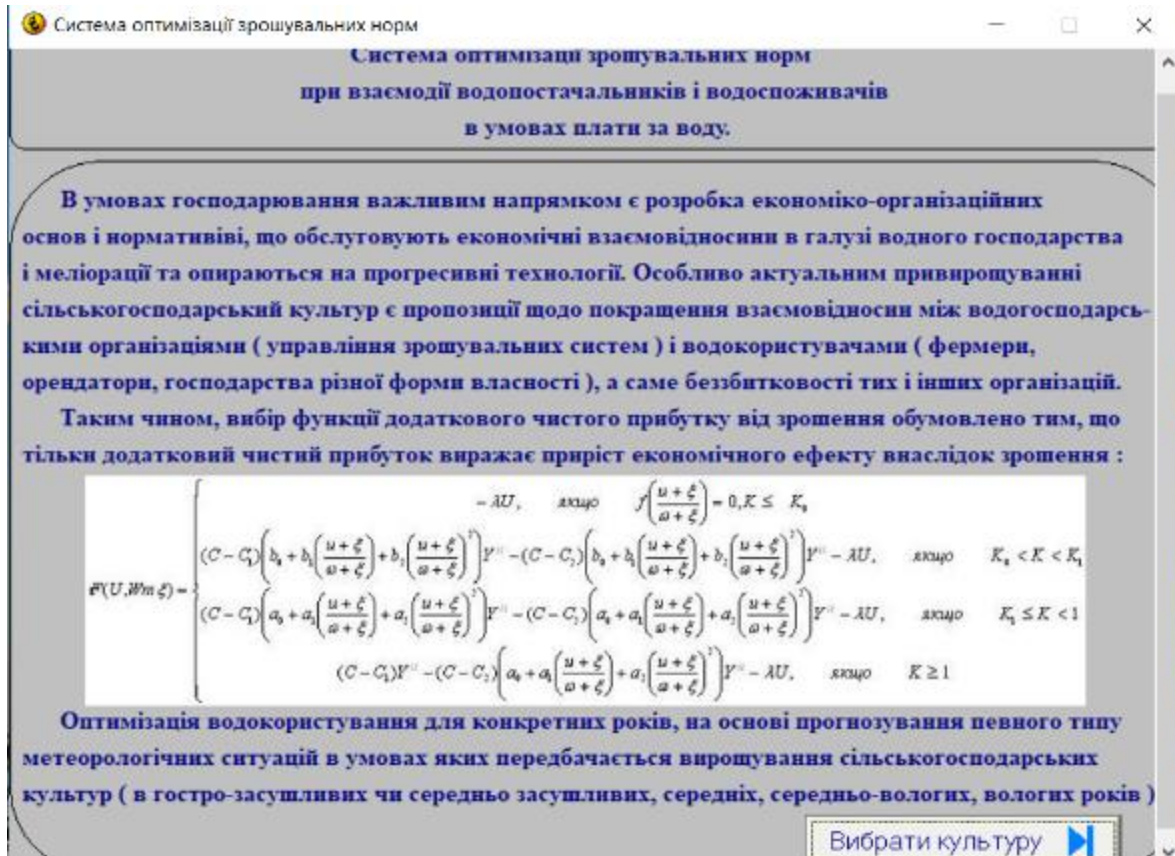


Рис. 1. Програмне вікно «Система оптимізації зрошувальних норм при взаємодії водопостачальників і водоспоживачів в умовах плати за воду»

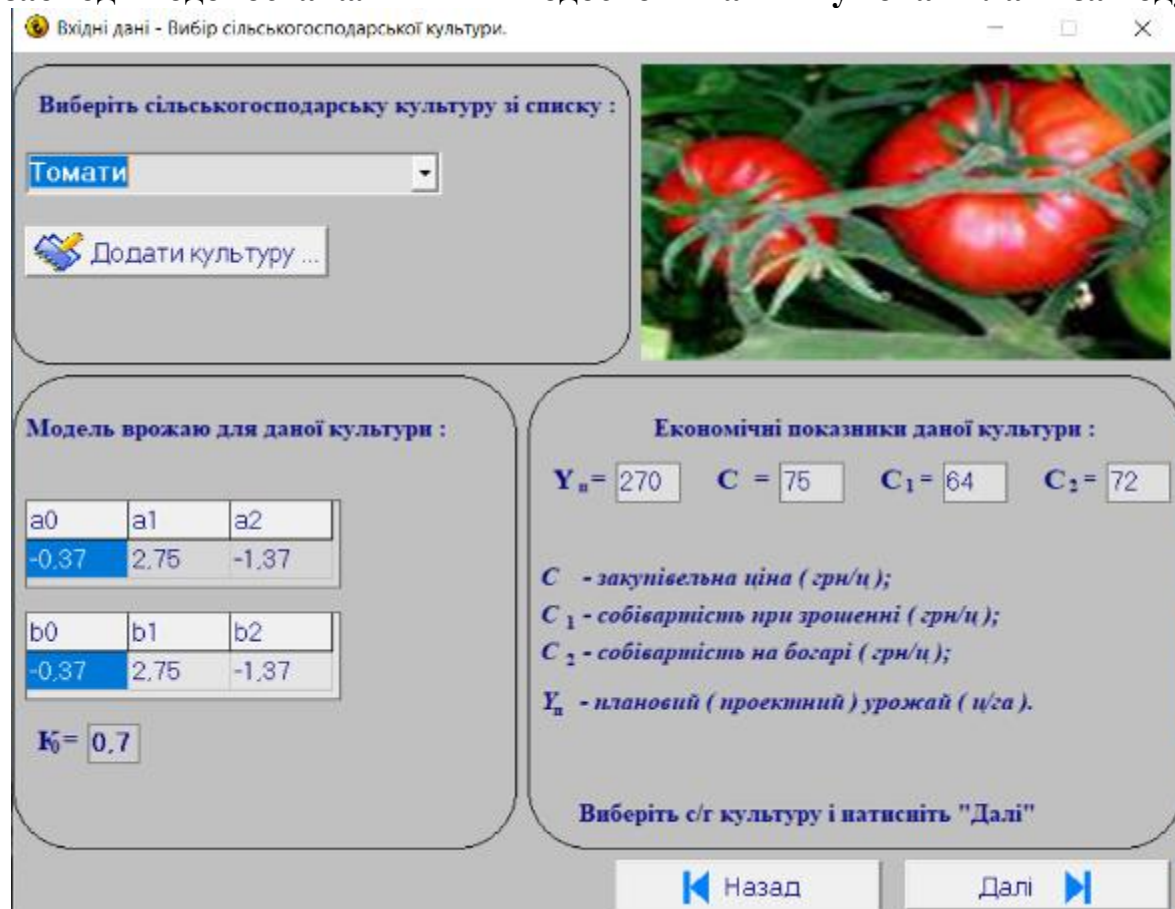


Рис. 2. Програмне вікно «Вхідні дані - Вибір сільськогосподарської культури»

Вхідні дані - Вибір вологозабезпеченості року - Томати

Забезпеченість	Рік	Дефіцит, м	Опади, м
3,27 %	1997	0	3997
7,94 %	1995	0	1651
12,62 %	1985	1528	3059
17,29 %	2000	2049	3260
21,96 %	1988	2364	3060
26,64 %	1982	2527	2410
31,31 %	1990	2729	2044
35,98 %	1983	2935	2261
40,65 %	1980	2919	1659
45,33 %	1987	3214	1630
50 %	1993	3419	1373
54,67 %	1984	3461	1408
59,35 %	1991	3824	1587
64,02 %	1992	3878	1804
68,69 %	1989	3974	1237
73,36 %	1996	4110	1560
78,04 %	1994	4490	1488
82,71 %	1986	4577	1024
87,37 %	1998	4840	1576
92,06 %	1999	4899	1576
96,73 %	1981	4793	1035

В таблиці наведені біологічно-оптимальні дефіцити - ω_i і опади - ξ_i в різні роки вологозабезпеченості для відповідної сільськогосподарської культури.

Виберіть вологозабезпеченість і натисніть "Далі"

Назад Далі

Рис. 3. Програмне вікно «Вхідні дані - Вибір вологозабезпеченості року»

Функція чистого додаткового прибутку від зрошення - Томати - Забезпеченість 73,36 %

Табличні дані Графік Оптимальні значення Залежність додаткового чистого прибутку від від ціни на воду при різних зрошувальних нормах.

0	410	820	1230	1640	2050	2460	2870	3280	3690	4110	Ціна на воду, гр
611,08	907,39	1172,74	1407,16	1610,62	1783,14	1924,72	2035,35	2115,03	2163,76	2160	0,00
611,08	899,19	1156,34	1382,56	1577,82	1742,14	1875,52	1977,95	2049,43	2089,96	2077,8	0,02
611,08	890,99	1139,94	1357,96	1545,02	1701,14	1826,32	1920,55	1983,83	2016,16	1995,6	0,04
611,08	882,79	1123,54	1333,36	1512,22	1660,14	1777,12	1863,15	1918,23	1942,36	1913,4	0,06
611,08	874,59	1107,14	1308,76	1479,42	1619,14	1727,92	1805,75	1852,63	1868,56	1831,2	0,08
611,08	866,39	1090,74	1284,16	1446,62	1578,14	1678,72	1748,35	1787,03	1794,76	1749	0,1
611,08	858,19	1074,34	1259,56	1413,82	1537,14	1629,52	1690,95	1721,43	1720,96	1666,8	0,12
611,08	849,99	1057,94	1234,96	1381,02	1496,14	1580,32	1633,55	1655,83	1647,16	1584,6	0,14
611,08	841,79	1041,54	1210,36	1348,22	1455,14	1531,12	1576,15	1590,23	1573,36	1502,4	0,16
611,08	833,59	1025,14	1185,76	1315,42	1414,14	1481,92	1518,75	1524,63	1499,56	1420,2	0,18
611,08	825,39	1008,74	1161,16	1282,62	1373,14	1432,72	1461,35	1459,03	1425,76	1338	0,2
611,08	817,19	992,34	1136,56	1249,82	1332,14	1383,52	1403,95	1393,43	1351,96	1255,8	0,22
611,08	808,99	975,94	1111,96	1217,02	1291,14	1334,32	1346,55	1327,83	1278,16	1173,6	0,24
611,08	800,79	959,54	1087,36	1184,22	1250,14	1285,12	1289,15	1262,23	1204,36	1091,4	0,26
611,08	792,59	943,14	1062,76	1151,42	1209,14	1235,92	1231,75	1196,63	1130,56	1009,2	0,28
611,08	784,39	926,74	1038,16	1118,62	1168,14	1186,72	1174,35	1131,03	1056,76	927	0,3
611,08	776,19	910,34	1013,56	1085,82	1127,14	1137,52	1116,95	1065,43	982,96	844,8	0,32
611,08	767,99	893,94	988,96	1053,02	1086,14	1088,32	1059,55	999,83	909,16	762,6	0,34
611,08	759,79	877,54	964,36	1020,22	1045,14	1039,12	1002,15	934,23	835,36	680,4	0,36
611,08	751,59	861,14	939,76	987,42	1004,14	989,92	944,75	868,63	761,56	598,2	0,38

Назад Ввести зрошувальну норму

Рис. 4. Програмне вікно «Функція чистого додаткового прибутку від зрошення – томати – забезпеченість 75%, табличні дані»

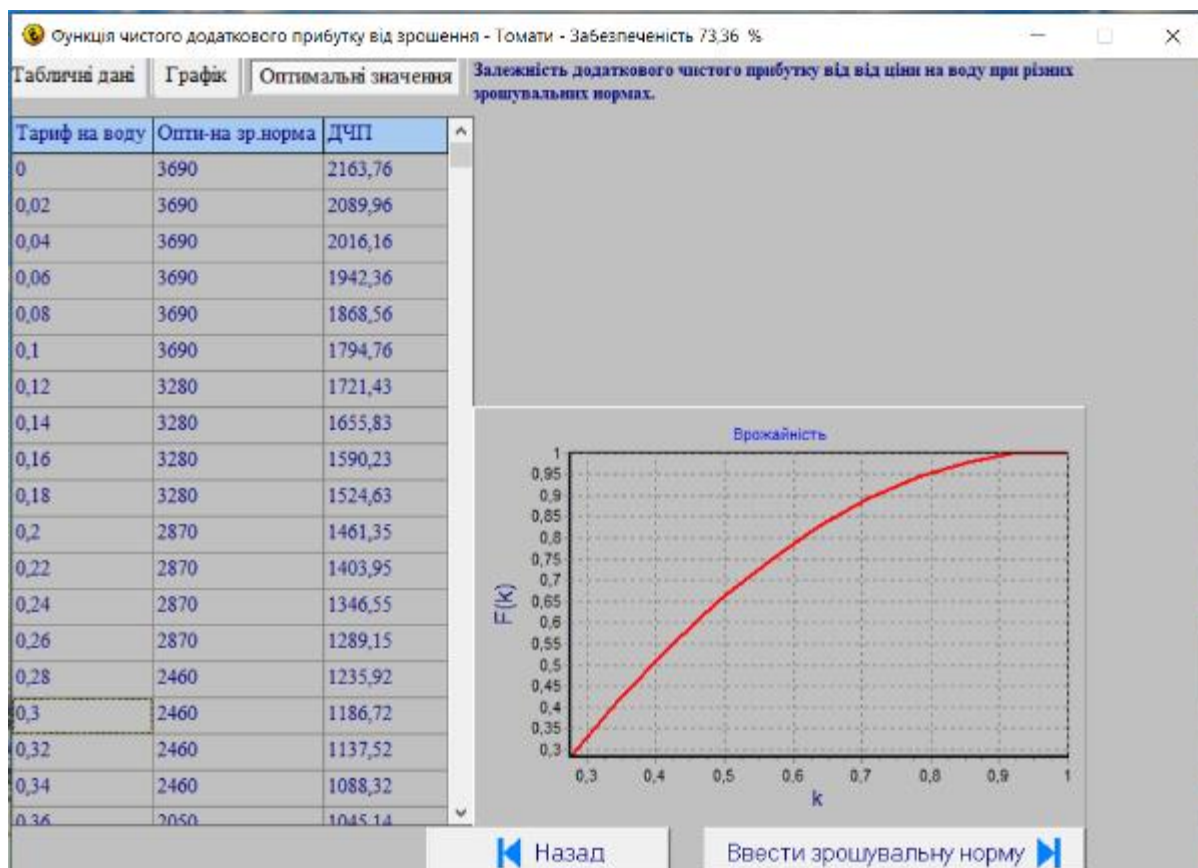


Рис. 5. Програмне вікно «Функція чистого додаткового прибутку від зрошення – томати – забезпеченість 75%, оптимальні значення»

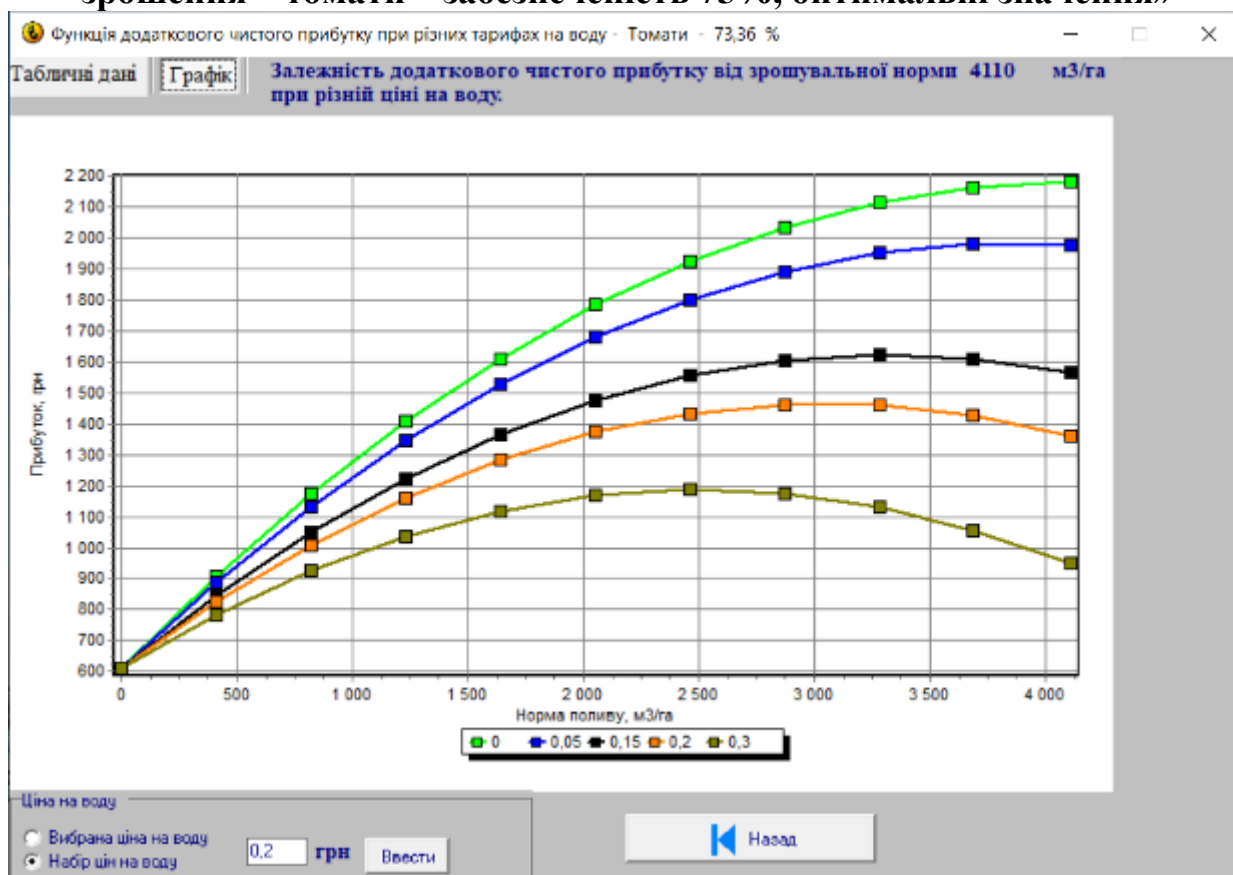


Рис. 6. Програмне вікно «Функція чистого додаткового прибутку від зрошення – томати – забезпеченість 75%, графік»

Функція (3) залежить від величин, які вважаються параметрами – закупівельна ціна C , собівартості на богарі C_2 та при зрошенні C_1 , тариф на воду λ та проектна урожайність U^n . При конкретних розрахунках ДЧП параметри

набувають тих чи інших конкретних фіксованих значень. Параметри, в свою чергу, можуть бути функціями деяких змінних. Наприклад, функція (2) містить такий параметр, як U^n - проектна урожайність, що залежить від величини внесених добрив, показників природного фону, комплексу захисту рослин, тощо.

Важливим параметром при взаємодії водопостачальників і водоспоживачів, є параметр λ - тариф за воду. Він залежить від витрат, пов'язаних з послугами на подачу води з точки водовиділу [3] та величини проектної норми. Приймаючи, що параметр λ набуває ряд дискретних значень, з виразу (2) одержуємо деяку дискретну множину кривих, які називаємо сім'єю кривих.

Висновки. 1. Запропоновано та обґрунтовано метод системної оцінки та оптимізації варіантів водокористування, що базується на основі моделі гри з природою і дозволяє з використанням імітаційно - графічних розрахунків критерію додаткового чистого прибутку від зрошення, знаходити оптимальні зрошувальні норми при різному тарифі на воду, за умов застосування біологічно оптимальних або водозберігаючих режимів зрошення. Оптимізація (субоптимізація) водокористування здійснюється за середньобогаторічними показниками, або для конкретних років, на основі прогнозування певного типу метеорологічних ситуацій, в умовах яких передбачається вирощування сільськогосподарських культур (в гостро-засушливих чи середньо-засушливих, середніх, середньо-вологих та вологих років).

2. Запропоновано програмний комплекс вибору оптимального для водоспоживача рішення (зрошувальної норми та режиму зрошення) на основі системної оптимізації водокористування, що відображає послідовність дій для знаходження графічно оптимальних рішень за критерієм додаткового чистого прибутку від зрошення. Системний аналіз здійснюється програмно, шляхом вибору оптимального значення зрошувальної норми та відповідних режимів на основі візуальної оцінки чистого прибутку, розрахованого за даними, які узгоджуються з сільгоспвиробником.

Список використаної літератури:

1. Ковальчук П.І., Михальська Т.О., Волошин М.М., Задорожний А.І. Ефективність ведення сільськогосподарського виробництва при зрошенні в умовах платного водокористування. // Меліорація і водне господарство. - 2002.- Вип. 88.- С. 46-52.

2. Ковальчук П.І., Волошин М.М., Матяш Т.В. Оптимізація водокористування на основі аналізу додаткового чистого прибутку від зрошення. // Водне господарство України. 2003. Вип.2. – С.27-29.

3. Методика формування ціни на подачу води на зрошення, промислові та комунальні потреби / М.І. Ромащенко [та ін.] – К.: ІГіМ, 2006. – 33 с.

УДК 621.316.1+621.316.13]:674.02

Волкович А.М., Зубенко В.О.

студент гр. 141-4-Д; к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон
zubenko_v.o@ksaeu.kherson.ua

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЕРЕВООБРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вступ. Деревообробна галузь є одним із традиційних секторів переробної промисловості України, де питома вага витрат на електроенергію сягає 18–25% від загальної собівартості продукції [1,2]. В умовах постійного зростання тарифів на електроенергію та нестабільності роботи регіональних електричних мереж питання надійного й ефективного електропостачання набуває критичного значення для конкурентоспроможності галузі.

Сучасний стан більшості деревообробних підприємств характеризується значним зносом електротехнічного обладнання (70–80%), відсутністю систем компенсації реактивної потужності, застарілими схемами електропостачання без резервування та низьким рівнем автоматизації обліку енергоресурсів [3]. Це призводить до значних технічних і комерційних втрат електроенергії, частих аварійних зупинок виробництва та непродуктивних витрат коштів.

Актуальність дослідження також зумовлена вимогами чинного законодавства України у сфері енергоефективності: Законом України «Про енергетичну ефективність» № 1818-ІХ від 21.10.2021 [4] та нормами ДСТУ EN 50160 щодо якості електричної енергії [5]. Ці документи стимулюють суб'єктів господарювання впроваджувати заходи зі скорочення споживання та підвищення надійності електропостачання.

За результатами аналізу обраного деревообробного підприємства потужністю 350 м³/змін (схема живлення від ТП-1, 2×630 кВА, 10/0,4 кВ) виявлено такі системні проблеми [2,3]:

- низький коефіцієнт потужності ($\cos\varphi=0,71$) унаслідок переважно індуктивного навантаження приводів та сушильних камер;
- висока частота аварійних відключень – від 18 до 22 разів на рік із середньою тривалістю 5–7 годин;
- відсутність резервного джерела живлення – збитки від аварійних зупинок становлять 312-418 тис. грн/рік;
- питомі витрати електроенергії на 1 м³ пилопродукції перевищують галузевий норматив на 23%;
- відсутність автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Метою роботи є розроблення комплексу технічних і організаційних заходів для підвищення надійності та енергоефективності системи електропостачання деревообробного підприємства на підставі методик, викладених у [1]–[3]. Для досягнення мети вирішуються такі завдання: аналіз поточного стану

електрогосподарства; розроблення схеми резервного живлення; проектування батарей конденсаторів для компенсації реактивної потужності; вибір енергоефективного обладнання; техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів.

Основний матеріал. Підприємство живиться від двох секцій шин РУ-0,4 кВ трансформаторної підстанції ТП-1 (2×630 кВА, 10/0,4 кВ). Кабельна мережа 0,4 кВ виконана кабелями типу ААБ та ААШВ. Загальна встановлена потужність електроприймачів становить 497 кВт при середньорічному споживанні 582,4 МВт·год. Розрахунок електричних навантажень виконано методом розрахункових коефіцієнтів відповідно до [2].

Таблиця 1 – Характеристика основних електроспоживачів підприємства

Споживач	Встановлена потужність, кВт	К-сть, шт.	cosφ	Річне споживання, МВт·год
Стрічкові пили (пилорама)	45	4	0,72	186,6
Сушильні камери	30	3	0,68	157,2
Верстати обробки деревини	18,5	6	0,74	104,8
Компресорна установка	22	2	0,71	58,2
Система освітлення (ДРЛ)	0,4	120	0,85	46,5
Допоміжне обладнання	5,5	8	0,80	29,1
РАЗОМ / середнє	—	—	0,71	582,4

Як видно з таблиці 1, найбільше споживання мають стрічкові пили (186,6 МВт·год/рік, 32%) та сушильні камери (157,2 МВт·год/рік, 27%). Питомі витрати електроенергії на 1 м³ пилопродукції становлять 5,82 кВт·год/м³, що на 23% перевищує галузевий норматив [6]. Динаміку місячного споживання до та після модернізації унаочнює рис. 1, а структуру споживання за споживачами — рис. 2.

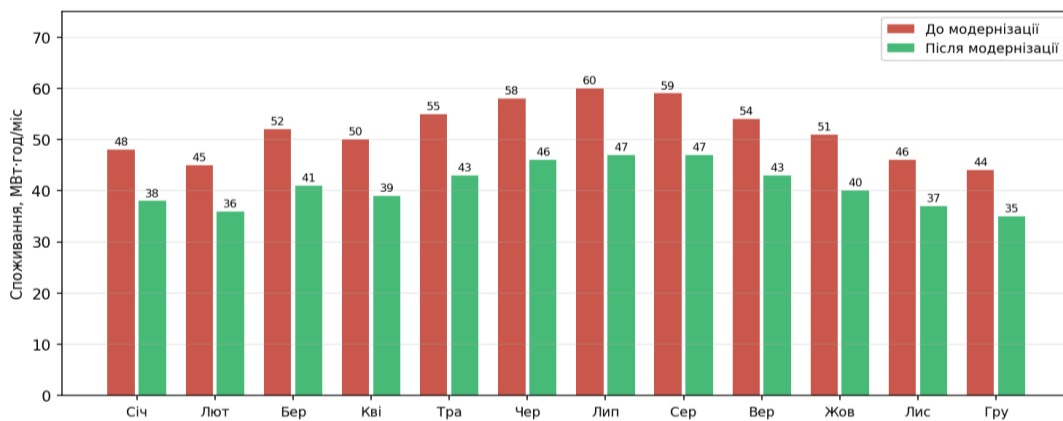


Рисунок 1 – Місячне споживання електроенергії до та після впровадження заходів

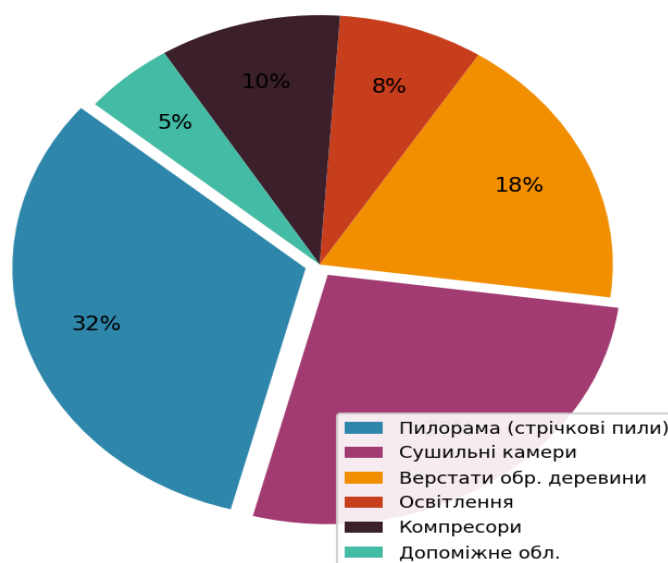


Рисунок 2 – Структура споживання електроенергії за основними споживачами

Аналіз статистики відключень за 2021–2023 роки виявив критично низький рівень надійності. Основні причини: перевантаження кабельних ліній у піковий сезон (62% випадків), пошкодження ізоляції через зношеність кабелів (24%), зовнішні впливи на лінії 10 кВ (14%). Показники надійності SAIDI та SAIFI розраховано за методикою [3] і наведено у таблиці 2. Динаміку відключень відображено на рис. 3.

Таблиця 2 – Показники надійності електропостачання підприємства

Показник	2021	2022	2023	Після модернізації (план)
Кількість відключень, разів/рік	18	22	19	≤ 4
Серед. тривалість відключення, год	5,4	7,1	6,2	$\leq 0,8$
SAIDI, год/споживача на рік	97,2	156,2	117,8	$\leq 3,2$

SAIFI, відкл./споживача на рік	18	22	19	≤ 4
Збитки від відключень, тис. грн/рік	312	418	367	≤ 65

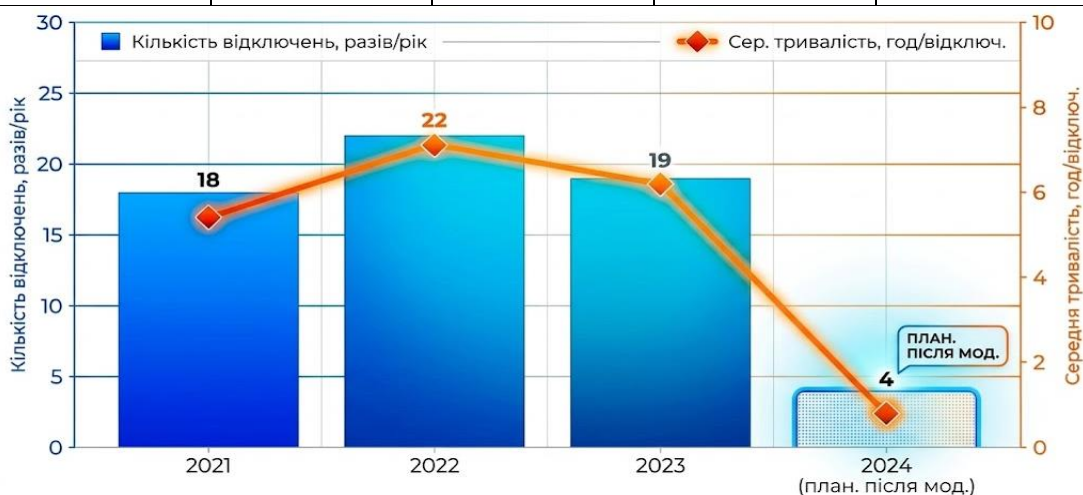


Рисунок 3 – Динаміка показників надійності електропостачання (2021–2024 план)

З рис. 3 та таблиці 2 видно, що кількість аварійних відключень у 2022 р. досягла максимуму — 22 рази на рік, а середня тривалість — 7,1 год. Для підвищення надійності запропоновано встановити дизельну генераторну установку (ДГУ) (100 кВА) з автоматичним введенням резерву (АВР) за схемою, описаною в [1]. Час перемикання на резерв не перевищує 8 секунд. Схема живлення переводиться на дворадіальну з двостороннім живленням сушильних камер та пилорами.

Компенсація реактивної потужності. Розрахунок необхідної потужності компенсуючого пристрою виконано за методикою [2]: $Q_k = P_{сер} \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$. При $P_{сер} = 155$ кВт, $\cos\varphi_1 = 0,71$ ($tg\varphi_1 = 0,988$) та цільовому $\cos\varphi_2 = 0,92$ ($tg\varphi_2 = 0,426$):

$$Q_k = 155 \cdot (0,988 - 0,426) = 155 \cdot 0,562 \approx 87 \text{ квар.}$$

Для забезпечення регулювання та резерву обрано автоматичну батарею конденсаторів УКРМ-0,4-150-25У3 (150 квар, 6 ступенів по 25 квар). Зміну $\cos\varphi$ по кожній групі обладнання до та після встановлення КРМ (Компенсатора реактивної потужності) показано на рис. 3. Результат відповідає вимогам ДСТУ EN 50160 [5].

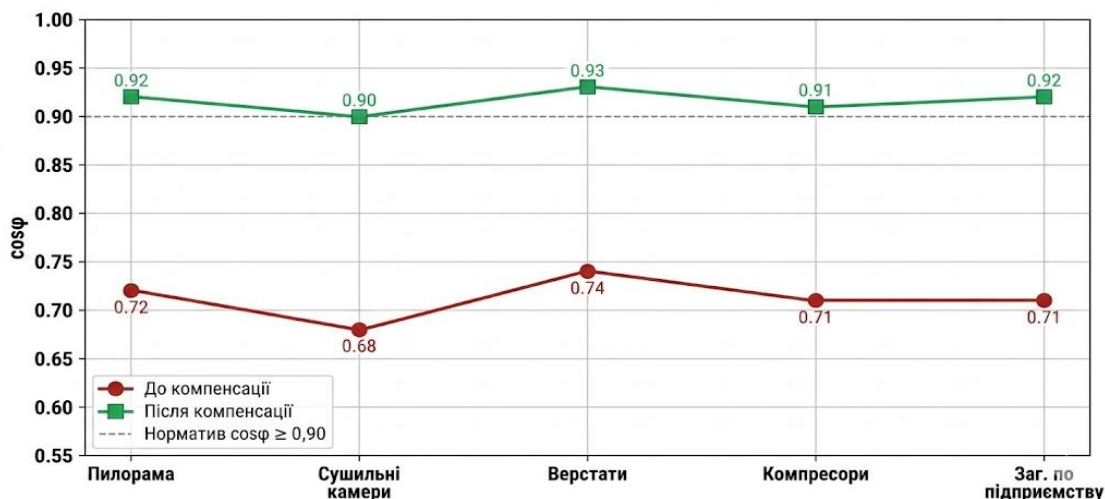


Рисунок 4 – Коефіцієнт потужності основних споживачів до та після встановлення КРМ

Як видно з рис. 3, після встановлення КРМ $\cos\phi$ підвищується в усіх групах споживачів: від 0,68-0,74 до 0,90-0,93, а загальний по підприємству – з 0,71 до 0,92.

Заходи з підвищення енергоефективності

Перший напрямок — модернізація освітлення відповідно до вимог [4]: заміна 120 ламп ДРЛ-400 Вт на LED-світильники 120 Вт. Освітленість зростає з 150 до 300 лк, економія – 41 тис. грн/рік. Термін служби LED у 5 разів перевищує термін служби ДРЛ.

Другий напрямок – впровадження частотних перетворювачів на приводах пилорами та компресорів. Регулювання швидкості двигунів відповідно до фактичного навантаження знижує споживання на 20–30% [2]. На чотирьох стрічкових пилах (45 кВт кожна) встановлюються ЧП серії Danfoss VLT FC202. Річна економія – 87 тис. грн.

Третій напрямок – впровадження АСКОЕ на базі лічильників Elster Alpha Plus з передачею даних по GSM/GPRS [7]. Система забезпечує погодинний облік по кожному цеху, виявлення нетипових відхилень та оптимізацію розподілу навантаження для мінімізації оплати пікового попиту.

Визначення економічного ефекту виконано методом порівняння приведених витрат. Економія від зниження витрат у мережі внаслідок компенсації реактивної потужності розраховується за формулою $\Delta W = 3 \cdot I_n^2 \cdot R \cdot \Delta T / 1000$ [1]. Капітальні витрати визначено за ринковими цінами на обладнання та монтажні роботи.

Таблиця 3 – Техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів

Захід	Капітальні витрати, тис. грн	Економія на рік, тис. грн	Термін окупності, роки
Встановлення ДГУ (100 кВА) з АВР	780	124	6,3
Компенсація реактивної потужності (КРМ 150 квар)	185	68	2,7

Заміна ДРЛ-ламп на LED	112	41	2,7
Частотні перетворювачі на пилорамі	245	87	2,8
Впровадження АСКОЕ	95	35	2,7
РАЗОМ / середнє	1 417	355	4,0

Загальний обсяг капітальних витрат становить 1 417 тис. грн. Сукупна річна економія – 355 тис. грн/рік. Середньозважений термін окупності – 4 роки. Внутрішня норма прибутковості (IRR) при горизонті 10 років і ставці дисконтування 15% - 24,3%, що підтверджує доцільність реалізації проекту відповідно до критеріїв оцінки енергоефективних інвестицій [4].

Висновки. За результатами дослідження системи електропостачання умовного деревообробного підприємства розроблено комплекс заходів, реалізація якого дозволяє досягти таких результатів:

- підвищення надійності: скорочення кількості аварійних відключень з 18–22 до 4 разів на рік, SAIDI – з 97-156 до 3,2 год/споживача на рік шляхом встановлення ДГУ з АВР та переведення схеми на дворадіальну [1];
- поліпшення якості електроенергії: підвищення $\cos\phi$ з 0,71 до 0,92 після встановлення КРМ УКРМ-0,4-150-25У3, що відповідає вимогам ДСТУ EN 50160 [5];
- підвищення енергоефективності: зниження річного споживання на 22,4% (з 582,4 до 451,8 МВт·год/рік) і питомих витрат нижче галузевого нормативу [6];
- скорочення збитків від аварійних зупинок з 312–418 до 65 тис. грн/рік;
- техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність інвестицій: CapEx 1 417 тис. грн окупується за 4,0 роки, IRR = 24,3% [4].

Запропонований підхід є типовим для деревообробних підприємств середнього розміру та може бути адаптований з урахуванням специфіки конкретного об'єкта. Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію АСКОЕ з MES-системою [7] і оцінку ефективності фотовольтаїчних джерел як додаткового резерву.

Список літератури

1. Мілих В. І., Павленко Т. П. Електропостачання промислових підприємств : підручник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 272 с.
2. Давиденко Л. В., Коменда Н. В., Давиденко В. А., Євсюк М. М. Електропостачання промислових об'єктів. Практикум : навчальний посібник. Луцьк : ВІП ЛНТУ, 2022. 244 с.
3. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2004. 656 с.
4. Закон України «Про енергетичну ефективність»: від 21.10.2021 № 1818-ІХ. Відомості Верховної Ради України. 2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20> (дата звернення: 10.05.2025).

5. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014. 28 с.
6. Шкрабець Ф. П. Основи електропостачання : навчальний посібник. Дніпро : НГУ, 2015. 176 с. URL: <https://vde.nmu.org.ua/ua/lib/oes.pdf> (дата звернення: 12.05.2025).
7. Козирський В. В., Волошин С. М. Основи електропостачання: підручник. Київ : Компринт, 2021. 497 с.

УДК 628

Волошин Микола Миколайович

*кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри гідротехнічного
будівництва, водної та електричної інженерії*

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна
voloshyn_m@ksaeu.kherson.ua*

Клименко Ірина Вікторівна

*здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності
194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології*

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна
ireni525ireni@gmail.com*

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ СИСТЕМ
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В УМОВАХ
ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ (НА ПРИКЛАДІ МКП «ВУВКГ М.
ХЕРСОНА»)**

Вступ. Забезпечення населення якісними послугами з централізованого водопостачання та водовідведення є базовою умовою сталого функціонування міської екосистеми та підтримання належного санітарно-епідеміологічного благополуччя. Для України, а особливо для її прифронтових та деокупованих територій, це питання перейшло з площини суто інженерно-економічної у вимір національної безпеки та критичної стійкості.

Міське комунальне підприємство «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства м. Херсона» (МКП «ВУВКГ м. Херсона») сьогодні функціонує в унікальних і надзвичайно складних гідрогеологічних, техногенних та безпекових умовах. Досвід підприємства щодо ліквідації наслідків масштабних руйнувань, утримання систем очищення й подачі води, а також швидкого реагування на надзвичайні ситуації є унікальним досвідом для сучасної світової інженерної практики. Дослідження спрямоване на аналіз сучасного стану, виявлення ключових проблем та визначення стратегічних напрямків модернізації інфраструктури водопостачання та водовідведення міста Херсон.

Основна частина. Головною технологічною особливістю системи водопостачання міста Херсон є її ексклюзивне базування на підземних джерелах. На відміну від багатьох інших обласних центрів України, які використовують поверхневий стік річок, питна вода в Херсоні видобувається виключно зі свердловин верхньокрейдового та неогенового водоносних горизонтів. Це

забезпечує природний захист джерела від зовнішнього хімічного та біологічного забруднення, проте висуває підвищені вимоги до енергозалежності системи підйому води.

До структури водопровідного господарства підприємства належать:

- Понад 140 артезіанських свердловин, розташованих на різних водозабірних вузлах міста.
- Головні насосні станції водопроводу (НСВ) другого та третього підйомів.
- Станції підвищення тиску (СПТ), що забезпечують подачу води у багатоповерхові житлові масиви.
- Лінійна водопровідна мережа загальною протяжністю понад 650 км.

Основною проблемою водопровідного сектору є високий рівень зносу підземних трубопроводів, значна частина яких виконана з чавуну та сталі без належної внутрішньої ізоляції, що призводить до вторинного забруднення води сполуками заліза та підвищення рівня аварій.

Система водовідведення міста спроектована за повною роздільною схемою й призначена для збору, транспортування та очищення побутових і промислових стічних вод. Інженерна організація відведення стоків суттєво ускладнюється рельєфом міста, що характеризується значними перепадами висот та наявністю балок.

Комплекс водовідведення МКП «ВУВКГ м. Херсона» включає:

- Каналізаційні мережі та магістральні колектори загальною протяжністю понад 420 км.
- Головні та районні каналізаційні насосні станції (ГНСК та КНС).
- Міські очисні споруди (МОС) біологічного типу.

Транспортування стічних вод до очисних споруд здійснюється за допомогою каскаду КНС, обладнаних потужним насосним та механічним устаткуванням. На МОС реалізовано класичну схему очищення, яка поєднує механічний ступінь очищення (решітки, пісколовки, первинні радіальні відстійники) та повну штучну біологічну очистку в аеротенках з використанням активного мулу, з наступним знезараженням та скиданням очищеного стоку у відкриті водні об'єкти.

Протягом останніх років МКП «ВУВКГ м. Херсона» зіткнулося з безпрецедентними викликами, які докорінно змінили умови експлуатації систем водопостачання та водовідведення.

Руйнування Каховської ГЕС у червні 2023 року спричинило катастрофічне підтоплення прибережних районів міста, що зумовило **аварійне виведення з ладу** значної кількості артезіанських свердловин, КНС та ділянок каналізаційних та водопровідних мереж. Подальше зниження рівня води у річці Дніпро вплинуло на гідродинамічний режим підземних водоносних горизонтів та ускладнило умови скидання очищених стічних вод.

Стабільна робота свердловин та насосних станцій напряму залежить від безперебійного електропостачання. Систематичні пошкодження енергетичної інфраструктури змушують підприємство впроваджувати тимчасові графіки подачі води та екстрено переводити ключові об'єкти на живлення від генераторів високої потужності.

Безперервні обстріли території міста Херсона призводять до регулярних аварій на водопровідних та каналізаційних мережах, руйнування колодязів, пошкодження запірної арматури та будівельних конструкцій виробничих споруд.

Різке скорочення чисельності активного населення міста та релокація промислових підприємств спричинили суттєве зниження обсягів водоспоживання та водовідведення. У поєднанні зі зменшенням рівня платоспроможності споживачів це призвело до гострого дефіциту обігових коштів, що обмежує можливості капітального ремонту мереж за рахунок внутрішніх ресурсів підприємства.

Незважаючи на кризові умови, персонал МКП «ВУВКГ м. Херсона» забезпечує безперервне виконання відновлювальних та модернізаційних робіт:

Напрямок діяльності	Технологічні рішення та заходи (на базі практичного досвіду 2024-2026 рр.)
Аварійно-відновлювальні роботи	Щоденна ліквідація численних витоків, заміна аварійних ділянок сталевих трубопроводів на сучасні поліетиленові (ПЕ), ремонт та ревзія запірної арматури і пожежних гідрантів.
Модернізація насосних станцій	Оновлення обладнання на підвищувальних насосних станціях за підтримки міжнародних партнерів (зокрема, уряду Німеччини). Впровадження станцій керування з частотними перетворювачами, що стабілізує тиск та заощаджує електроенергію.
Обслуговування свердловин	Регулярна ревзія водомірних вузлів, заміна заглибних насосів на більш енергоефективні, автоматизація контролю дебіту свердловин.
Санация каналізаційних мереж	Гідродинамічне промивання колекторів для запобігання засміченням, капітальний ремонт шиберів, вентиляційних систем та насосних агрегатів КНС.
Цифровізація та менеджмент	Впровадження чат-ботів (Viber, Telegram) для передачі показників, автоматизоване SMS-інформування про заборгованість, оптимізація роботи цілодобової диспетчерської служби.

Задля системного переходу від тактики «локального латання аварійних зон» до стратегічного планомірного відновлення інфраструктури пропонується впровадження наступного комплексу науково обґрунтованих заходів:

1. Оптимізація та реконфігурація мереж: З урахуванням фактичного зменшення кількості населення, гідравлічна структура водопроводу має бути перерахована та адаптована. Необхідно провести зонування (районування) мереж з метою зниження надлишкового тиску в окремих зонах та зменшення прихованих втрат води.

2. Впровадження концепції «Smart Water»: Передбачає комплексне оснащення систем датчиками тиску та витратомірами з інтеграцією в єдину SCADA-систему, що дозволить оперативно виявляти аварії на ранніх стадіях за допомогою математичного моделювання потоків.

3. Енергетична автономізація критичних вузлів: Будівництво автономних сонячних електростанцій (СЕС) контейнерного та модульного типів безпосередньо на територіях великих водозабірних вузлів і КНС для забезпечення

мінімального технологічного циклу в режимі повної відсутності централізованого електропостачання.

4. Модернізація МОС із впровадженням технологій обробки осаду: Реконструкція очисних споруд із переходом на сучасні технології глибокого видалення азоту та фосфору, а також будівництво комплексів метантенків для анаеробного стабілізування надлишкового активного мулу з подальшою утилізацією біогазу для власних енергетичних потреб.

5. Заміна матеріалів трубопроводів: Повна відмова від використання сталевих та чавунних труб на користь сучасних багат шарових полімерних матеріалів із тривалим терміном експлуатації (понад 50 років) та високою стійкістю до динамічних навантажень.

Висновки. Практичний досвід функціонування МКП «ВУВКГ м. Херсона» доводить, що навіть попри масштабні руйнування об'єктів і елементів систем водопостачання та водовідведення, гострий енергетичний дефіцит та складні гідрогеологічні зміни, комбінація оперативного інженерного менеджменту, міжнародної підтримки та професійної стійкості персоналу дозволяє забезпечувати безперервність експлуатаційного циклу критичної інфраструктури. Подальший розвиток підприємства має базуватися на принципах комплексної технологічної модернізації, підвищення енергоефективності, автоматизації процесів та імплементації європейських стандартів екологічної безпеки у сфері очищення стічних вод і охорони водних ресурсів.

Список використаної літератури:

1. Оцінка сучасного стану водопостачання міста Херсон в умовах антропогенного навантаження / Науковий журнал ВРА. — 2021.

2. Зруйнована інфраструктура водопостачання та водовідведення в Україні: наслідки та виклики / Екологія. Право. Людина. — Л., 2023.

3. Водопостачання та водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції. — Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2025.

4. Невідкладні заходи для стабілізації систем водопостачання/водовідведення і переходу до їх планомірного післявоєнного відновлення. Спеціальний випуск // Асоціація водоканалів України. — К., 2023.

5. Офіційні інформаційні матеріали та звіти МКП «ВУВКГ м. Херсона» (2024–2026 рр.).

УДК 621.311:004.9

Волошинов С.А.

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
voloshynov_s@ksaeu.kherson.ua

Блінда І.М.

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, спеціальності «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Вступ. Стрімка еволюція інноваційних технологій в енергетичному секторі докорінно змінює стратегії розвитку всієї галузі. При цьому поява окремих інженерних рішень не просто коригує технічні параметри, а повністю трансформує базові принципи роботи енергосистем і навіть змінює повсякденну культуру споживання енергії в суспільстві. Специфіка енергетичного сектору полягає в тому, що тут доводиться в режимі реального часу обробляти колосальні обсяги різнорідних даних. Прогнози погоди, коливання попиту та генерації, поточний стан ліній електропередачі, трансформаторів та підстанцій — усе це потрібно аналізувати миттєво. Саме така потреба у швидкій аналітиці великих баз даних і відкриває двері для застосування технологій штучного інтелекту (ШІ) в енергетиці.

Основна частина. Завдяки комплексному впровадженню інтелектуальних систем автоматизації, інтеграції «розумних мереж» (Smart Grids), запуску гнучких цифрових платформ з'являється потреба, у режимі реального часу, координувати процеси генерації, розподілу та споживання електроенергії. На зміну класичній статичній лінійній моделі приходять динамічна екосистема. У ній баланс між попитом і пропозицією досягається через синхронізацію роботи великих централізованих електростанцій, розгалужених децентралізованих об'єктів відновлюваної енергетики, промислових накопичувачів (ESS) та адаптивних споживачів.

Сьогодні можна виділити кілька ключових сфер та сервісів, де впровадження штучного інтелекту приносить найбільший ефект [1]:

1. Диспетчеризація та керування режимами «розумних мереж».

Оскільки частка «зеленої» генерації в загальному енергобалансі стрімко зростає, головною проблемою стає її нестабільність. ШІ та алгоритми машинного навчання допомагають енергокомпаніям прораховувати піки та провали генерації наперед, що дозволяє гнучко балансувати систему.

Для операторів точний короткостроковий прогноз — це можливість оптимізувати диспетчеризацію, знизити аварійність і не тримати величезних резервів балансування потужності.

2. Розумні мережі (Smart Grids) та системи обліку.

Цифровізація дозволяє взяти максимум із наявної інфраструктури. ШІ виступає в ролі головного координатора, який перерозподіляє потоки енергії між промисловими об'єктами, житловими будинками, локальними системами збереження електроенергії та центральною мережею.

Цей процес тримається на масовому впровадженні інтернету речей (IoT) та розумних лічильників (Smart Meters). Сучасні інтелектуальні лічильники забезпечують двосторонній зв'язок між побутовим споживачем та обленерго. Завдяки домашнім дисплеям люди бачать свої витрати в реальному часі, мають можливість дивитися графіки споживання по годинам доби й розуміють, коли варто вимкнути зайві прилади, щоб зекономити. ШІ за допомогою автоматизованого керування попитом можуть стимулювати абонентів проходити

пікові години без перевантаження мережі, а також розробляти для них індивідуальні програми енергоефективності.

3. Мікромережі (Microgrids) як автономні енергетичні острови.

ІІІ дав поштовх розвитку локальних енергосистем, які можуть працювати повністю автономно від центральної мережі. Вони забезпечують енергією конкретну територію за рахунок децентралізованої генерації та розумного розподілу попиту.

Алгоритми ІІІ в мікромережах аналізують не лише погоду, а й щоденне споживання кожного учасника ринку. Це гарантує енергетичну безпеку під час масштабних аварій у центральній мережі. Також ІІІ допомагає інтегрувати в систему децентралізовані ресурси — наприклад, використовувати підключені до мережі електромобілі як повербанки, направляти до них струм у пікові години генерації й заряджати їх, коли є надлишок сонця чи вітру.

Найяскравішим прикладом створення «енергетичного острова» в Україні є місто Долина на Івано-Франківщині. Мета проєкту це об'єднати вітрові, сонячні, газові станції та системи накопичення електроенергії в єдину сотову мережу, щоб забезпечити безперебійним живленням критичну інфраструктуру та жителів електрикою. Головна ідея проєкту це об'єднання комунальних закладів (лікарні, дитсадки, адміністративні будівлі), приватного бізнесу та домогосподарств у єдину інтегровану систему генерації та споживання. Місто вже має геліоколектори на дитсадках, сонячні електростанції (зокрема 16 кВт у садку та 30 кВт зі сховищами в лікарні), приватну газопоршневу станцію та буде потужну 12 МВт СЕС разом з 48 МВт системою накопичення електроенергії, а мешканцям планують встановлювати сонячні панелі та акумулятори в обмін на безкоштовну базову електроенергію та віддачу надлишків у мережу.

4. Віртуальні електростанції (VPP).

Завдяки ІІІ з'явився формат віртуальних електростанцій, які об'єднують сотні дрібних і середніх виробників та споживачів в єдину керовану систему. Вона аналізує, скільки енергії здатна видати кожна дрібна установка, і одразу знаходить для неї покупця всередині цієї ж системи. Самі оператори VPP не володіють генерацією — вони лише оптимізують роботу чужих активів, вирівнюючи загальний графік навантаження. Для центральної енергосистеми така віртуальна станція працює як один великий, передбачуваний і дисциплінований об'єкт.

5. Нові бізнес-моделі та торгівля енергією.

Цифрові платформи дозволяють усунути зайвих посередників (наприклад, традиційних збутових операторів) і налагодити пряму взаємодію між виробником та покупцем. З'являються гнучкі формати на кшталт «енергія як послуга» (коли клієнт платить не просто за кВт-години, а за готовий результат — фіксоване тепло, кондиціонування чи освітлення).

Враховуючи, що на оптових ринках ціна електрики змінюється щогодини, ІІІ допомагає трейдерам і великим споживачам точно прогнозувати графіки навантажень, успішно торгувати на балансуєчих ринках і уникати жорстких штрафів за перевищення лімітів споживання.

Логічним кроком уперед став тандем ІІІ та блокчейну. Використання смарт контрактів разом із розумними лічильниками дозволяє автоматизувати пряму торгівлю енергією. Такі взаємодії є прозорими, швидкими, захищеними від кібератак і не потребують розкриття персональних даних користувачів.

6. Боротьба з комерційними втратами.

Шахрайство та несанкціоновані підключення завдають світовій енергетичній сфері збитків майже на 100 мільярдів доларів щороку. Системи машинного навчання автоматично моніторять профілі споживання абонентів і миттєво підсвічують будь-які підозрілі аномалії. Це дозволяє інспекторам виїжджати на перевірки цілеспрямовано, захищаючи доходи компаній [2].

7. Оптимізація систем накопичення енергії.

Ідеальна енергосистема має працювати за рівним графіком, чого в реальності досягти майже неможливо. Масове поширення потужних промислових накопичувачів електроенергії докорінно змінює правила гри. ШІ тут керує процесами заряджання та розряджання: він прораховує, коли вигідно накопичити дешевшу енергію (наприклад, вночі або в пік сонячної генерації), щоб потім продати чи використати її під час вечірнього максимуму. Очікується, що до 2030 року цей ринок масштабується в 20 разів, тому потреба в «розумному» управлінні накопичувачами лише зростатиме [3].

8. Стратегічне планування інфраструктури.

Аналітика ШІ значно спрощує та здешевлює проектування нових мереж. Замість припущень компанії отримують точний прогноз попиту на роки вперед. ШІ допомагає ефективно розподіляти пропускну здатність ЛЕП, оцінювати зношеність обладнання та вчасно планувати його ремонт чи заміну.

Предиктивний аналіз вказує, який саме трансформатор, розподільник чи кабель невдовзі може вийти з ладу. Це дозволяє планово замінювати обладнання, а технічне обслуговування проводити не за планом, а за реальною потребою, уникаючи аварійних ремонтів та не запланованих капітальних витрат.

Попри очевидні плюси, енергетичний комплекс впроваджує ШІ досить обережно. Це логічно, адже йдеться про надзвичайно дорогу капіталомістку інфраструктуру, де будь-яка помилка алгоритму може призвести до масштабних збитків, судових позовів від клієнтів та системних аварій [4].

Однією з головних причин затримки масового впровадження ШІ в енергетиці це відсутність уніфікації. Ринок перенасичений «розумними» пристроями від різних брендів, які часто конфліктують між собою. Через брак єдиних протоколів обміну даними кінцеві споживачі змушені витратити колосальні ресурси, щоб адаптувати обладнання до жорстких вимог операторів систем розподілу (ОСР).

Прошивки побутової смарт-техніки зазвичай не синхронізовані з регламентами ОСР. Як наслідок, після ліквідації аварії автоматика споживача часто залишається вимкненою через спрацьовування внутрішнього захисту. Якщо великий бізнес має персонал для швидкого відновлення параметрів, то звичайні домогосподарства стикаються із серйозними труднощами, оскільки людям бракує спеціальних знань.

Орієнтація ШІ на мережеві технології автоматично перетворює енергосистему на мішень для хакерів. Масштаби загроз для критичної інфраструктури стабільно зростають. Кібератаки загрожують не просто збоєм у програмі, а повною втратою диспетчерського контролю над станом мережі, що веде до фізичного знищення вартісного обладнання та масштабних блекаутів.

Намагаючись оптимізувати мережі за допомогою ШІ, ми створюємо нове джерело колосального попиту на електрику. Обробка великих баз даних вимагає підвищення енерговитрат. Тому ще на стадії проектування великих дата-центрів

необхідно закладати параметри максимальної енергоефективності розташовуючи їх якнайблище до місць генерації [5].

Проте головною перепорою для масштабної цифровізації та залучення ІІ залишається людський фактор — консерватизм та опір змінам з боку персоналу. В організаційній культурі багатьох підприємств досі панує недовіра до автоматики. Співробітники бояться, що ІІ забере їхні робочі місця, або ж просто побоюються делегувати алгоритмам управління критично важливими активами, за які самі несуть матеріальну чи кримінальну відповідальність.

Висновки. Проведений аналіз демонструє позитивні аспекти застосування ІІ та чинники, які суттєво стримують його впровадження в енергетиці. У найближчі роки все ж очікується невідворотне проникнення ІІ у різні аспекти діяльності енергетичного сектору. Цифровізація та застосування ІІ є ключовими інструментами, що дозволяє керувати великими та все більш складними процесами системи для успішної трансформації енергетичного сектору, оскільки дозволяє інтегрувати новітні та перспективні технологічні новації в енергетиці й обумовлені ними зміни в організації функціонування систем енергозабезпечення.

Ефективне управління конфігурацією електричних мереж на основі інтеграції адаптивних алгоритмів, технологій штучного інтелекту та автоматизованих систем моніторингу дозволяє підвищити надійність енергосистем, зменшити втрати потужності та забезпечити їхню стійкість до динамічних змін у генерації, розподілені й споживанні.

Список використаної літератури.

1. Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь / Суходоля О. М.– К. : НІСД, 2022. – 49 с. – <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>.
2. OECD Framework for the Classification of AI Systems. OECD Digital Economy Papers. February 2022. № 323. P. 80.
3. Freire Ana, Porcaro Lorenzo, Gómez Emilia. Measuring Diversity of Artificial Intelligence Conferences. Proceedings of 2nd Workshop on Diversity in Artificial Intelligence (AIDBEI), PMLR 142: 39-50, 2021. URL: <https://proceedings.mlr.press/v142/freire21a.html>;
4. The Seven Patterns of AI. Cognilytica. 2019. URL: <https://www.cognilytica.com/2019/04/04/the-seven-patterns-of-ai/>.
5. Next-Gen Industrial AI Energy Sector / Siemens. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fef90d09-6876-4510-b29b-bb6d60374793/siemens-nextgen-industrial-ai-energy-sector.pdf>

Волошинов С.А.

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
voloshynov_s@ksaeu.kherson.ua

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Вступ. Розгортання четвертої промислової революції (Індустрії 4.0) кардинально змінило суспільство, запустивши тотальну цифровізацію практично до всіх сфер нашого життя. Для українського енергетичного сектору цей етап збігся з періодом масштабної та складної трансформації в умовах війни з росією. Перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ), стрімке зростання частки розподіленої малої генерації, поява нових гравців на ринку, постійні руйнування елементів енергетичної інфраструктури, а також активне впровадження систем накопичення енергії та віртуальних електростанцій (VPP) — усе це вимагає принципово нових підходів до керування мережею.

За таких умов саме цифрові технології стають фундаментом для стабільної та надійної роботи вітчизняної енергосистеми. Інтеграція цифрових моделей, потокових даних та алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) є необхідною умовою побудови стійкої, гнучкої та економічно ефективної енергетичної системи України. Завдяки масовому поширенню технологій Інтернету речей (ІоТ), алгоритмів штучного інтелекту та систем онлайн-моніторингу, ми отримуємо принципово нові інструменти для побудови інтелектуальних систем управління мережею.

Застосування штучного інтелекту та технологій машинного навчання дає змогу формувати цифрові електростанції, розумні мережі та цифрові двійники. Вивчення тем з адаптивного навантаження, цифрових електростанцій, розумних мереж та цифрових двійників є сучасними, дуже важливими, але достатньо важкими до засвоєння здобувачами. Тому використання під час навчання штучного інтелекту, цифрових та імерсивних технологій суттєво допомагає здобувачам в отриманні цих знань та у подальшому їх використанні на робочому місці.

Основна частина. Нова парадигма трансформації енергетики це перехід від традиційних лінійних систем до «Розумних мереж» (Smart Grids). Історично електроенергетичні системи будувалися за лінійним принципом: велика централізована генерація (АЕС, ТЕС, ГЕС) передавала потужність через магістральні та розподільчі мережі до пасивного кінцевого споживача [1]. Інтеграція технологій Індустрії 4.0 в енергетику породила 3D концепцію: декарбонізацію — зменшення використання викопного палива, децентралізацію — побудову розумних мереж (Smart Grids) та енергетичного Інтернету (Internet of Energy) [2].

Енергосистема нового покоління базується на чотирьох фундаментальних принципах:

1. Децентралізація: інтеграція великої кількості розподілених джерел енергії (РДЕ), таких як сонячні та вітрові електростанції, що розташовані безпосередньо біля споживачів.

2. Цифровізація: переведення всіх виробничих, диспетчерських та комерційних процесів у цифровий формат за допомогою потокових даних.

3. Інтелектуалізація: використання алгоритмів штучного інтелекту для прогнозування генерації, споживання та автоматичного управління балансом системи.

4. Активний споживач (Prosumer): перетворення колишнього пасивного клієнта на активного учасника ринку, який може не лише споживати, а й виробляти, накопичувати (за допомогою систем ESS) та продавати електроенергію назад у мережу [3].

За таких умов традиційне керування мережею стає неможливим. Величезний масив нових суб'єктів вимагає автоматизованих систем управління конфігурацією мережі, здатних адаптувати топологію ліній у режимі реального часу задля мінімізації втрат та запобігання аваріям.



Рис. 1. Архітектура інтелектуальної мережі яка керується ШІ.

Завдяки хмарним технологіям велика кількість розрізнених малих виробників та систем накопичення енергії об'єднуються в єдиний цифровий кластер. VPP управляється ШІ та діє на ринку як одна потужна, стабільна електростанція, згладжуючи піки споживання [4].

Розумна мережа (Smart Grid) є кіберфізичною системою. Це означає, що фізичний рівень (лінії електропередачі, підстанції) та цифровий рівень (алгоритми, хмарні платформи, канали зв'язку) злиті в єдине ціле. Будь-яка зміна у фізичному світі миттєво відображається у цифровому середовищі, цифровому двійнику мережі, де прораховуються тисячі варіантів топології і найкраще рішення повертається у вигляді команди на виконавчі органи (керовані вимикачі, реклоузери) [5].



Рис. 2. Структура цифрового двійника в енергетиці.

Впровадження цифрових двійників (Digital Twins) надає можливість створити віртуальні динамічні копії реальних об'єктів інфраструктури: трансформаторних та розподільчих підстанцій, турбін, ділянок мережі та аналізувати їх стан онлайн за допомогою IoT-датчиків.

Адаптивне управління конфігурацією — це комплекс організаційно-технічних заходів та інтелектуальних алгоритмів, спрямованих на динамічну зміну топологічної структури мережі (схеми з'єднання ліній, трансформаторів, систем розподілу) та параметрів її режимів роботи задля досягнення оптимального функціонування. На відміну від автоматичного регулювання (наприклад, підтримки рівня напруги за допомогою трансформаторів), адаптивне управління діє на вищому, системному рівні [6].



Рис. 3. Адаптивне управління навантаженням.

Сучасна мережа дуже інерційна, вона не може швидко реагувати на динамічні зміни, а реагує лише за фактом події. Адаптивне управління повинно діяти на випередження. Використовуючи алгоритми машинного навчання (ML), система аналізує історичні дані, прогнози погоди та графіки споживання електроенергії споживачами, щоб передбачити дефіцит або профіцит потужності на кілька годин уперед і завчасно змінити конфігурацію мережі.



Рис. 4. Предиктивне обслуговування енергообладнання.

Це дозволяє керувати навантаженням в режимі реального часу, уможливорює перехід від ремонтів «за регламентом» до прогностичного технічного обслуговування (Predictive Maintenance), що знижує витрати на ремонти до 30% та запобігає аваріям [7].

Цифрова трансформація енергетики України висуває принципово нові вимоги до людського капіталу. Сучасний інженер-енергетик більше не є виключно технічним спеціалістом, який працює з механічним чи електричним обладнанням. Він має володіти компетентностями на стику енергетики, ІТ та аналізу даних. Випускники університетів повинні вміти взаємодіяти з кіберфізичними системами, програмувати режими роботи інтелектуальних систем управління, зчитувати дані з цифрових двійників та приймати рішення на основі рекомендацій штучного інтелекту [8].

Однією з головних вимог енергетичних компаній до операторів мереж є високий рівень цифрової компетентності. Сучасна енергосистема генерує великі масиви даних (Big Data) завдяки розумним лічильникам, IoT-датчикам та системам онлайн-моніторингу. Відповідно, інженер-енергетик повинен володіти компетентностями збору, обробки та аналізу цієї інформації.

Наступний етап цифровізації електроенергетичного комплексу пов'язаний із переходом до ще більшого рівня автономності енергетичних систем. Ключовим трендом стає впровадження концепції «пояснюваного ШІ» (XAI). Це критично важливо для інженерів та диспетчерів, адже дає змогу чітко розуміти логіку алгоритмів і суттєво підвищує рівень довіри до автоматизованих рішень ШІ. Без цього неможливо делегувати машині керування критично важливими вузлами, де будь-яка помилка загрожує системною аварією. Паралельно відбувається синергія нейромереж із технологіями Інтернету речей (IoT) для збору максимально детальної телеметрії, а також із периферійними обчисленнями. Обробка сигналів безпосередньо на інтелектуальних датчиках підстанцій мінімізує затримки в передачі даних і дозволяє реагувати на загрози за над короткий проміжок часу.

Особливе місце посідає проектування цифрових двійників (Digital Twins) реальних активів, що уможливорює точне віртуальне моделювання та оптимізацію процесів у реальному часі. Для безпечного аналізу усе частіше залучають децентралізовані блокчейн-платформи. Така комбінація технологій створює стійкий імунітет проти кібератак і маніпуляцій із комерційними даними.

Висновки. Аналіз сучасних науково-практичних розробок доводить, що інтелектуальні системи вже стали базовим фундаментом для масштабної

модернізації енергетичного сектору. Вони забезпечують інженерів надійними інструментами для прогнозування генерації, стабілізації робочих режимів, ранньої діагностики стану обладнання та контролю параметрів навантаження. Фактично, ми спостерігаємо зміну парадигми від реактивного усунення наслідків аварій до проактивного запобігання їм.

Водночас пріоритетними науковими задачами залишаються балансування мереж із високою концентрацією об'єктів ВДЕ та промислових накопичувачів, а також створення комбінованих (гібридних) моделей прогнозування.

Результати досліджень чітко підтверджують колосальний потенціал інтеграції ІІІ та цифрових двійників у розбудові гнучких, стійких та ефективних енергосистем України.

Список використаної літератури.

1. Siemens Energy. The future of energy: Energy 4.0 White Paper. – Munich: Siemens AG, 2023. – 35 p. – Режим доступу: <https://www.siemens-energy.com> (дата звернення: 21.04.2026).
2. Лібанова Е. М., Підлісецький І. В. Енергетика 4.0: нова парадигма для майбутнього / Український інститут майбутнього. – Київ: UIF, 2021. – 112 с.
3. Xu, X., Liu, C., Zhang, Z., Xu, W., Cai, Y. Digital Twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop / X. Xu, C. Liu, Z. Zhang, W. Xu, Y. Cai // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2021. – Vol. 12. – P. 10041–10053. – DOI: 10.1007/s12652-021-03170-4.
4. Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь / Суходоля О. М.– К. : НІСД, 2022. – 49 с. – <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>
5. Qi, Q., Tao, F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison / Q. Qi, F. Tao // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 3585–3593. – DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2793265 OECD Framework for the Classification of AI Systems. OECD Digital Economy Papers. February 2022. № 323. P. 80.
6. Policy Guidance for Smart, Energy-Saving Consumer Devices / IEA. URL: https://www.iea-4e.org/wpcontent/uploads/publications/2020/12/Policy_Guidance_for_Smart_Energy_Saving_Consumer_Devices_May_2020.pdf
7. Next-Gen Industrial AI Energy Sector / Siemens. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:fef90d09-6876-4510-b29b-bb6d60374793/siemens-nextgen-industrial-ai-energy-sector.pdf>
8. Ілійчук, Л. (2024). Штучний інтелект і якість освіти: можливості, виклики та загрози. Науково-педагогічні студії, (8), 232-248. <https://doi.org/10.32405/2663-5739-2028-8-232-248>

Гасенко Л.В.

к.т.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії, linahasenko@gmail.com

Ярема У.В.

студентка групи 191-4-Д

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

СУЧАСНІ МЕТОДИ І ТЕХНОЛОГІЇ СТАЛОГО БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вступ. Для призупинення та подолання глобальної кліматичної кризи потрібен негайний та трансформаційний сталий розвиток у всьому світі. Це стосується всіх галузей, зокрема і будівельної, оскільки окрім того, що будівлі і споруди займають природні землі та використовують природні ресурси, будівельний сектор є одним із найбільших джерел викидів вуглецю [1, с. 14]. Водночас потреба в будівлях лише зростатиме. Фактично, за оцінками, до 2050 року населення світу досягне приблизно 9,7 мільярда людей [2, с. 53].

Отже, технології будівельного виробництва мають адаптуватися та знаходити новий спектр підходів, які відповідають глобальним цілям щодо викидів вуглецю. Зрештою, йдеться про досягнення правильного балансу між зростаючою потребою в житлових будівлях та інфраструктурі на тлі житлової кризи та потребою в ініціативах щодо сталого розвитку та вуглецевої нейтральності, що потребує використання найефективніших з точки зору матеріальних і трудових ресурсів методів планування, виконання і контролю будівельного процесу, а також будівельних матеріалів, що мають найменший вплив на оточуюче середовище на всіх стадіях його виробництва, експлуатації та утилізації.

Основна частина. На рисунку 1 наведено провідні сучасні сталі рішення щодо будівельних матеріалів, конструкцій та технологій будівельного виробництва, спрямовані на зниження вуглецевого сліду, енергоефективність, використання вторинних матеріалів та цифровізацію процесів.

Сталі будівельні матеріали

«Зелений» бетон – екологічно безпечний будівельний матеріал, виготовлений із мінімальним впливом на довкілля, який часто включає перероблені відходи (шлак, скло, золу) та має низький рівень викидів CO₂. Він зменшує потребу в природних ресурсах, енергоефективний, а іноді використовує уловлений вуглець для підвищення міцності.

Також розвивається самовідновлювальний бетон – інноваційний будівельний матеріал, здатний самостійно заліковувати мікротріщини, що виникають у процесі експлуатації. Завдяки спеціальним добавкам (бактеріям або капсулам з хімічними речовинами), такий бетон підвищує довговічність споруд, зменшує витрати на ремонт і запобігає корозії арматури, забезпечуючи гідроізоляцію.

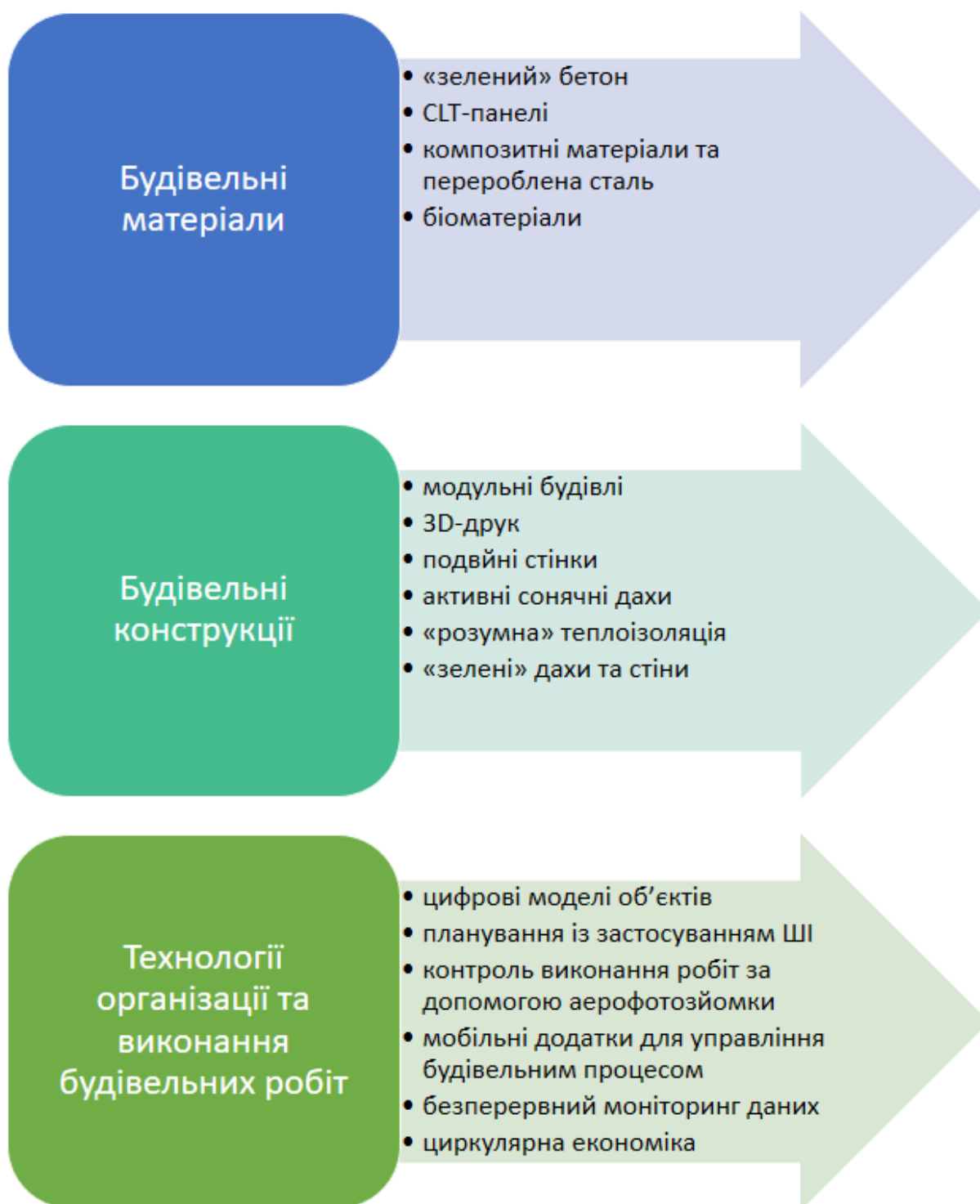


Рисунок 1 – Провідні сучасні рішення у галузі сталого будівництва

CLT-панелі (Cross-Laminated Timber – перехресно клеєна деревина) – інноваційний екологічний будівельний матеріал, що складається з кількох шарів склеєних дерев'яних ламелей, розташованих перпендикулярно один до одного. Це міцні, легкі та стійкі панелі для зведення стін, перекриттів і дахів, які складають конкуренцію бетону та сталі. Вони легші, швидко монтуються, забезпечують високу теплоізоляцію та є «вуглецево-негативним» матеріалом.

Композитні матеріали – це структури, що складаються з матриці та армувального наповнювача (скловолокно, вуглеволокно, базальт). Виробництво сталі з брухту (переробленої сталі) стає рушійною силою сталого будівництва.

Використання композитів та переробленої сталі в будівництві – ключовий тренд у сучасній індустрії, спрямований на підвищення довговічності споруд, зниження ваги конструкцій та зменшення екологічного впливу.

Біоматеріали в будівництві – це відновлювані та екологічно безпечні матеріали (деревина, конопля, міцелій, бамбук), які використовуються для зменшення вуглецевого сліду та створення енергоефективних будівель. Вони дозволяють будувати міцні, дихаючі конструкції, переробляючи сільськогосподарські відходи та знижуючи залежність від бетону.

Сталі рішення для будівельних конструкцій

Модульні будівлі складаються з кількох ключових компонентів, які можна створювати поза межами об'єкта в контрольованому середовищі, перш ніж їх транспортувати на місце проекту. Виготовлення елементів будівлі в заводських умовах знижує відходи на 40 – 60%, прискорює процес будівництва та зменшує енерговитрати на майданчику.

Аналогічно, цифрова технологія 3D-друку використовується для створення прототипів або друку складних елементів. Це дозволяє заощаджувати час і гроші, а також виробляти високоякісні та однорідні компоненти. Створення 3D-конструкцій методом пошарового нанесення бетону або глини дозволяє використовувати точну кількість матеріалу, мінімізуючи залишки.

Технологія подвійних стін – це комбінована техніка, за якою стіни спочатку створюються в заводських умовах з двох бетонних плит, але заповнюються мокрим бетоном для армування вже на будівельному майданчику. Це не тільки швидкий метод, але й економічний, що дозволяє досягати високої міцності конструкцій [3].

Активні сонячні дахи – сучасні покрівельні системи (сонячна черепиця або інтегровані фотоелектричні системи), які не лише захищають будівлю, а й активно генерують енергію (електричну або теплову) за допомогою сонячних панелей чи колекторів. Вони є невід'ємною частиною енергоефективних будинків, дозволяючи знизити витрати на електроенергію та забезпечити автономність.

Розумні теплоізоляційні системи – це інноваційний підхід до утеплення будівель, що поєднує високотехнологічні матеріали та автоматизоване керування для підтримки оптимального мікроклімату та максимальної енергоефективності. Розумні матеріали можуть змінювати свої теплоізоляційні властивості залежно від температури навколишнього середовища, забезпечуючи прохолоду влітку та тепло взимку. Актуальним є використання екологічних утеплювачів (целюлоза, конопля) та вакуумних панелей для максимальної енергоефективності.

«Зелені» дахи та стіни (вертикальне та дахове озеленення) – екологічні архітектурні рішення, що передбачають покриття поверхонь будівель рослинністю. Вони забезпечують термоізоляцію, зменшують витрати на опалення та охолодження, покращують якість повітря, поглинають зливі води та підвищують енергоефективність.

Сталі рішення для планування, виконання та контролю будівельних процесів

Цифрові моделі об'єктів все частіше керують щоденною роботою будівельних організацій, а не друковані креслення. Цифрове моделювання будівлі дозволяє оптимізувати використання ресурсів, уникнути помилок у проектуванні та розрахувати життєвий цикл споруди. Команди отримують доступ до тієї ж

актуальної інформації на планшетах і телефонах, що зменшує суперечливі інструкції та дорогу переробку. Таке спільне цифрове представлення покращує координацію між підрядниками, дизайнерами та менеджерами, не змінюючи зовнішній вигляд об'єкта. Великобританський Королівський інститут дипломованих геодезистів (RICS) зазначає, що широке впровадження цифрових моделей може скоротити кількість незапланованих змін до 40%, забезпечуючи помітну економію часу та коштів [4].

Штучний інтелект ефективно підтримує планування будівельних процесів, тестуючи різні способи організації роботи до виникнення проблем. Ці системи моделюють альтернативні послідовності завдань та сценарії виконання, допомагаючи командам передбачати ризики, водночас враховуючи людський досвід як центр процесу прийняття рішень. За даними McKinsey, проекти, що використовували ці інструменти, досягли прискорення виконання програм до 20% за рахунок покращення варіантів планування, а не збільшення робочої сили чи робочого часу.

Регулярні аерофотозйомки забезпечують чіткі візуальні записи про прогрес у будівництві, важкодоступні ділянки та потенційні проблеми, без переривання роботи на місцях. Провідні будівельні компанії використовують дрони для регулярного моніторингу ходу робіт та перевірок, що зменшує потребу в персоналі для роботи на висоті та підвищує прозорість для зацікавлених сторін.

Мобільні додатки тепер миттєво з'єднують команди на об'єкті, замінюючи паперові форми документів та затримки зі звітністю. Фотографіями, оновленнями та повідомленнями про проблемні ситуації можна ділитися в міру їх виникнення, що дозволяє менеджерам швидко реагувати та запобігати переростанню дрібних проблем у затримки будівельного процесу. Звіт про будівельні технології у Великобританії за 2026 рік показав, що впровадження інструментів, орієнтованих на мобільні пристрої, швидко зросло серед малих та середніх фірм, які прагнуть швидше приймати рішення та мати чіткішу документацію.

Моніторинг якості та прогресу будівельного виробництва має відбуватися безперервно, а не лише після завершення проекту. Цифрові записи із застосуванням технологій лазерного 3D-сканування та дані в реальному часі виявляють проблеми на ранній стадії, коли їх швидше та дешевше вирішити, що призводить до кращої довгострокової експлуатації будівлі.

Циркулярна економіка (економіка замкненого циклу) у проектуванні будівель – це підхід, спрямований на усунення відходів, постійне використання ресурсів та відновлення природних екосистем. Циркулярна економіка передбачає проектування будівель з можливістю їх адаптації, розбирання, легкого демонтажу та повторного використання елементів.

Висновок. Отже, будівельне виробництво дедалі більше поєднує фізичне будівництво з цифровою впевненістю, обізнаністю з даними та спільною роботою всіх залучених фахівців. Технології непомітно підтримують, а не замінюють, людей на будівельному майданчику. Вищезазначені методи будівництва можуть трансформувати традиційний будівельний процес кількома способами. Впровадження і поєднання технологічних інновацій та сучасних методів організації будівництва дозволить будівельним організаціям почати зменшувати свій негативний вплив на навколишнє середовище.

Список використаних джерел

1. United Nations Environment Programme (2025). Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025: Not just another brick in the wall – The solutions exist. Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Paris. URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/47214> (дата звернення: 05.05.2026).
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024). World Population Prospects 2024: Summary of Results (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9). New York: United Nations. URL: <https://population.un.org/wpp/> (дата звернення: 05.05.2026).
3. University of the Built Environment. What are the modern methods of construction (and how do they work)? URL: <https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/modern-methods-of-construction/> (дата звернення: 05.05.2026).
4. University of the Built Environment. Six technologies quietly transforming construction sites in 2026. URL: <https://www.ube.ac.uk/whats-happening/articles/six-technologies-quietly-transforming-construction-sites-in-2026/> (дата звернення: 05.05.2026).

УДК 528.9:621.31:626

Зубенко В.О.

к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон
zubenko_v.o@ksaeu.kherson.ua*

ІНТЕГРАЦІЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДОГОСПОДАРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Вступ. Водогосподарська інфраструктура України налічує понад **17 тисяч** гідротехнічних об'єктів, включаючи насосні станції, зрошувальні системи, водосховища та меліоративні канали. Надійне та економічне електропостачання цих об'єктів є критично важливим чинником ефективного водокористування та сталого розвитку аграрного сектору країни [1].

Традиційні методи проектування електропостачання водогосподарських об'єктів базуються на ручному опрацюванні великих масивів топографічних, геодезичних та технологічних даних. Такий підхід характеризується значними часовими витратами, суттєвою похибкою розрахунків та відсутністю можливостей оперативного аналізу просторових взаємозв'язків між елементами інфраструктури. Впровадження геоінформаційних систем (ГІС) у проектну практику відкриває принципово нові можливості для автоматизації та оптимізації цих процесів [2, 3].

До основних проблем, що існують у сфері проектування електропостачання водогосподарських об'єктів, належать: відсутність єдиного інформаційного простору між суміжними проектними дисциплінами; складність врахування

рельєфу місцевості при трасуванні ліній електропередачі; недостатня автоматизація розрахунків електричних навантажень насосних агрегатів; відсутність інструментів для динамічного перегляду альтернативних проектних рішень [4].

Задачі дослідження: проаналізувати наявні ГІС-платформи (ArcGIS, QGIS, MapInfo) з точки зору їх придатності для проектування електропостачання; розробити методикку інтеграції ГІС-даних з розрахунковими моделями електричних мереж; верифікувати запропонований підхід на прикладі реального об'єкта водогосподарської інфраструктури.

Мета роботи – обґрунтування та розробка методологічних засад інтеграції ГІС-технологій у процес проектування систем електропостачання об'єктів водогосподарської інфраструктури для підвищення якості та ефективності проектних рішень.

Основна частина. Сучасні ГІС-платформи надають потужні засоби роботи з просторовими даними, які можуть бути ефективно використані на всіх етапах проектування електропостачання. Структурна схема запропонованої ГІС-системи проектування наведена на рис. 1.

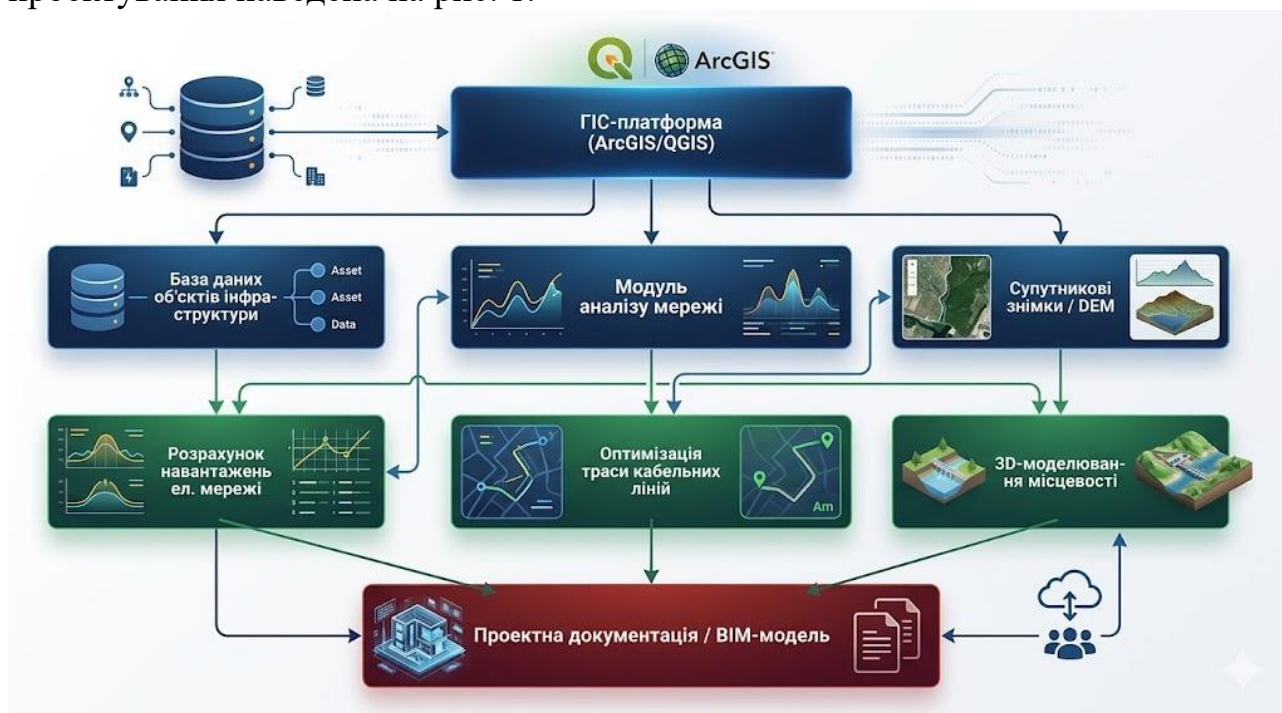


Рис. 1. Структурна схема ГІС-системи проектування електропостачання водогосподарських об'єктів

Запропонована система включає три основні рівні: рівень збору та зберігання просторових даних, рівень аналізу та моделювання мережі, рівень формування проектної документації. Взаємодія між рівнями здійснюється через уніфіковані інтерфейси обміну даними у форматах SHP, GeoJSON та IFC для BIM-інтеграції [5].

При проектуванні систем електропостачання насосних станцій зрошувальних систем ГІС дозволяє автоматично визначати оптимальні траси кабельних ліній та повітряних ЛЕП з урахуванням цифрової моделі рельєфу (DEM), землекористування, охоронних зон та мінімізації вартості будівництва [3]. Приклад ГІС-карти розміщення об'єктів електропостачання для водогосподарської інфраструктури представлено на рис. 2.

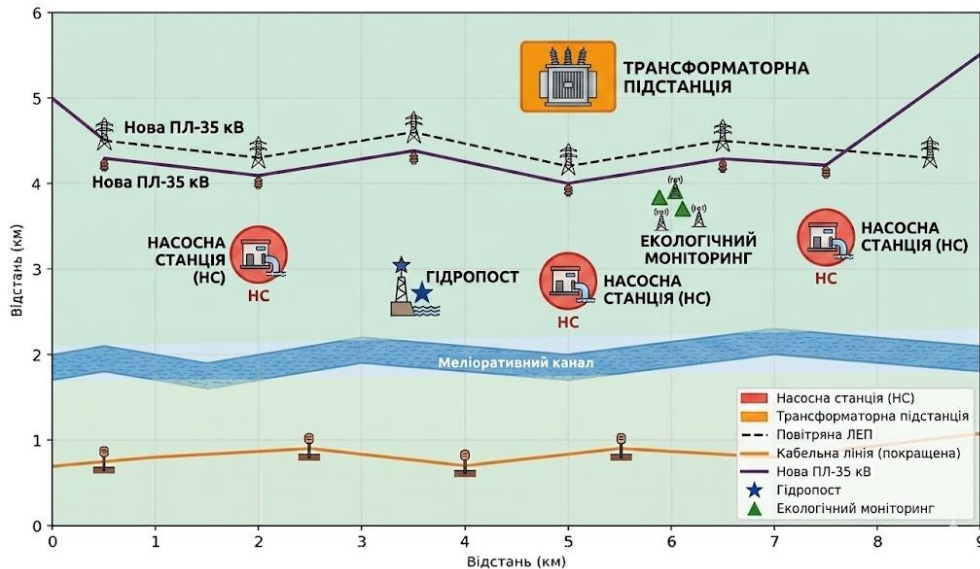


Рис. 2. ГІС-карта розміщення об'єктів електропостачання водогосподарської інфраструктури

Алгоритм проектування електропостачання із застосуванням ГІС охоплює сім послідовних етапів (рис. 3). На першому етапі виконується збір вихідних даних про водогосподарські об'єкти: координати насосних станцій, потужності насосних агрегатів, добові та сезонні графіки навантажень. На другому – введення зібраних даних у ГІС-середовище з прив'язкою до системи координат [1].

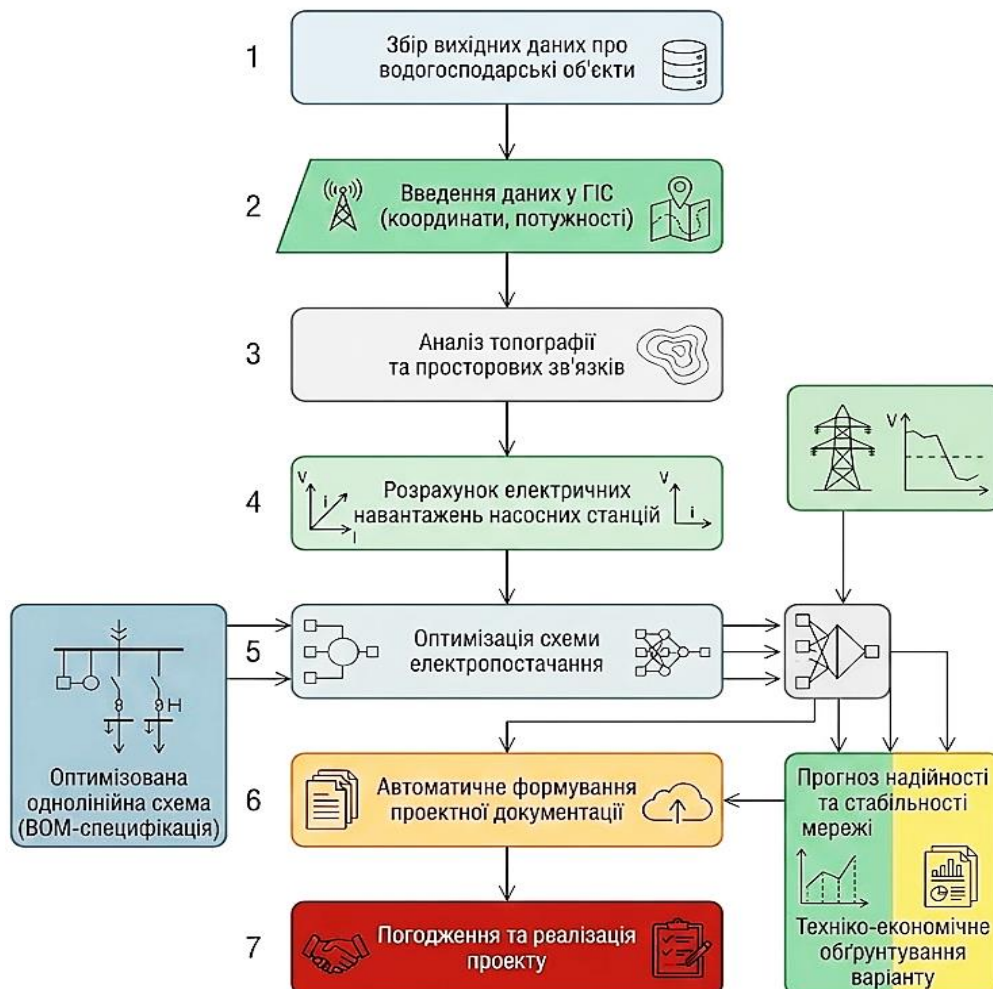


Рис. 3. Алгоритм проектування електропостачання із застосуванням ГІС-технологій

Ключовим етапом є топологічний аналіз просторових зв'язків між об'єктами та розрахунок електричних навантажень. ГІС дозволяє автоматично визначати відстані між об'єктами, аналізувати доступність трас для прокладання кабелів, моделювати зони технічних обмежень (водоохоронні зони, охоронні зони ЛЕП, заповідники). На підставі цих даних автоматично визначаються переріз проводів, місця розташування трансформаторних підстанцій та компенсуючих пристроїв [4].

Порівняльний аналіз ефективності традиційного методу проектування та запропонованого підходу на базі ГІС показано на рис. 4. Встановлено, що застосування ГІС-технологій дозволяє скоротити час проектування на 58%, знизити похибку розрахунків на 72% та зменшити вартість проектних робіт на 35% порівняно з традиційним методом [2].

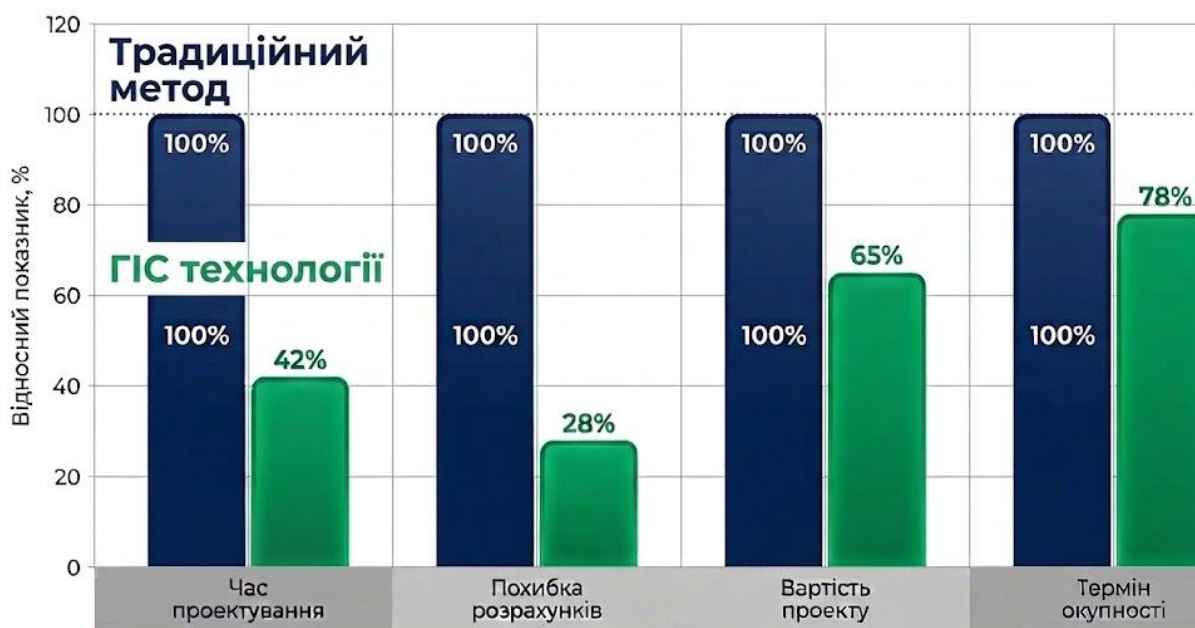


Рис. 4. Порівняння ефективності традиційного та ГІС-методів проектування електропостачання

Апробацію методики проведено на прикладі реконструкції системи електропостачання зрошувальної системи Інгулецького каналу (Кіровоградська область). Об'єкт включає 12 насосних станцій загальною потужністю 28,5 МВт, розташованих на ділянці довжиною 47 км. Застосування ГІС дозволило скоротити довжину кабельних трас на 8,3 км (12%) за рахунок оптимізації маршрутів прокладання, що дало економічний ефект понад 4,2 млн грн [6].

Важливим аспектом є інтеграція ГІС-даних з програмами розрахунку ustalених режимів електричних мереж (RastrWin3, DIgSILENT PowerFactory). Розроблений конвертер дозволяє автоматично формувати розрахункову схему мережі на основі ГІС-шарів, що усуває помилки ручного введення та скорочує час підготовки розрахункової моделі з 3–5 днів до 2–4 годин [5].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика ГІС-платформ для проектування електропостачання

Показник	ArcGIS Pro	QGIS	MapInfo Pro
ВІМ-інтеграція	Повна	Плагін	Часткова
Аналіз мережі	Вбудований	Плагін	Плагін
Вартість ліцензії	Висока	Безкоштовно	Середня
Точність	Висока	Висока	Середня

розрахунків			
Підтримка DEM	Повна	Повна	Часткова

Крім того, ГІС дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану об'єктів електропостачання в режимі реального часу шляхом інтеграції з SCADA-системами насосних станцій. Формується єдина геопросторова база даних, яка містить актуальну інформацію про стан устаткування, параметри режиму роботи та потреби в технічному обслуговуванні [6].

Висновки. За результатами виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Інтеграція ГІС-технологій у проектування електропостачання водогосподарських об'єктів є технічно обґрунтованою та економічно доцільною: скорочення часу проектування становить 58%, зменшення похибки – 72%.

2. Розроблений алгоритм семи-етапного проектування охоплює повний цикл від збору вихідних даних до формування проектної документації та забезпечує автоматизацію ключових розрахункових операцій.

3. Апробація на об'єкті Інгулецького каналу підтвердила ефективність методики: оптимізація трас кабельних ліній дозволила отримати економічний ефект понад 4,2 млн грн.

4. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка web-орієнтованого ГІС-модуля для хмарного проектування із інтеграцією даних дистанційного зондування Землі та машинного навчання для предиктивного обслуговування об'єктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління. – К.: Генеза, 2007. – 360 с.
2. Бурштинська Х.В., Станкевич С.А. Аерофотознімання. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 248 с.
3. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 337 с.
4. Праховник А.В., Розен В.П., Дергачова В.В. Енергетичний менеджмент. – К.: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.
5. Кузик О.В. Застосування ГІС-технологій для оптимізації трас ліній електропередачі в умовах складного рельєфу // Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія «Електроенергетика та електромеханічні системи». – 2019. – № 912. – С. 45–52.
6. Яковлев Є.О., Куриленко О.В. Геоінформаційне забезпечення управління земельними ресурсами та природоохоронною діяльністю. – К.: НДІГФ, 2006. – 282 с.
7. Мороз О.І. Автоматизоване проектування систем електропостачання сільськогосподарських підприємств на основі ГІС // Меліорація і водне господарство. – 2021. – № 2. – С. 78–86.

Коваленко Р.Ю.,

*к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної
та електричної інженерії*

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
kovalenko_r@ksaeu.kherson.ua*

ПОРІВНЯЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УМОВАХ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Вступ. Сучасний розвиток електроенергетики супроводжується зростанням ролі відновлюваних джерел енергії, серед яких сонячна генерація є одним із найбільш поширених і технологічно доступних напрямів [1]. Використання фотоелектричних систем дає змогу зменшити залежність споживачів від централізованого електропостачання, підвищити енергетичну автономність об'єктів та скоротити використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів. Особливої актуальності це питання набуває для України, де розвиток локальної та розподіленої генерації є важливою умовою підвищення стійкості енергетичної системи.

Ефективність роботи сонячних панелей значною мірою залежить від природно-кліматичних умов конкретного регіону, зокрема рівня сонячної радіації, тривалості сонячного сяйва, температурного режиму та сезонної нерівномірності надходження сонячної енергії [2]. Сумська область не належить до регіонів України з максимальними показниками інсоляції, однак має достатній потенціал для практичного використання фотоелектричних установок за умови правильного вибору типу сонячних модулів і раціонального розрахунку очікуваного виробітку електроенергії [3; 4].

У зв'язку з цим доцільним є порівняльне дослідження роботи монокристалічних і полікристалічних сонячних панелей в однакових кліматичних умовах. Такий підхід дає змогу оцінити вплив типу фотоелектричного модуля на електричні параметри, виробіток енергії та загальну ефективність сонячної установки. Метою дослідження є порівняльне моделювання ефективності монокристалічних і полікристалічних сонячних панелей в умовах Сумської області та обґрунтування доцільності їх використання для локальних систем електропостачання.

Основна частина. Для порівняльної оцінки ефективності сонячних панелей було розглянуто два типи фотоелектричних модулів: монокристалічний і полікристалічний. Порівняння виконувалося за однакової номінальної потужності панелей, що дало змогу оцінити вплив саме типу фотоелектричного модуля на його робочі параметри. Як основні показники було прийнято напругу в точці максимальної потужності, струм, вихідну потужність, коефіцієнт корисної дії, площу модуля, річний виробіток електроенергії та строк окупності системи.

Моделювання режимів роботи сонячних панелей виконувалося для різних значень густини потоку сонячного випромінювання: 200, 400, 600, 800 і 1000 Вт/м². Такий діапазон дає змогу оцінити поведінку фотоелектричних модулів як за умов низької інсоляції, так і за умов, близьких до стандартних випробувальних

параметрів. У розрахунках приймалося, що струм у робочій точці змінюється майже пропорційно до рівня сонячної радіації, а напруга в точці максимальної потужності змінюється незначно. Це відповідає спрощеному інженерному підходу, придатному для попередньої оцінки роботи сонячних панелей у регіональних кліматичних умовах [5; 6].

Для монокристалічної панелі напруга в точці максимальної потужності становила 18,6 В, а для полікристалічної — 17,4 В. При збільшенні густини сонячного випромінювання від 200 до 1000 Вт/м² вихідна потужність монокристалічної панелі зростала від 20,02 до 100,07 Вт, а полікристалічної — від 20,01 до 100,05 Вт. Це свідчить про майже лінійний характер зміни потужності обох типів панелей залежно від рівня сонячної радіації. Узагальнені результати моделювання потужності сонячних панелей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 — Результати моделювання потужності сонячних панелей залежно від густини потоку сонячного випромінювання

Густина потоку сонячного випромінювання, Вт/м ²	Потужність монокристалічної панелі, Вт	Потужність полікристалічної панелі, Вт
200	20,02	20,01
400	39,99	40,02
600	60,08	60,03
800	79,98	80,04
1000	100,07	100,05

За результатами моделювання встановлено, що за однакової номінальної потужності різниця між вихідною потужністю монокристалічної та полікристалічної панелі є незначною. У межах прийнятої моделі обидва типи модулів забезпечують близькі енергетичні показники. Водночас повне ототожнення їх ефективності є некоректним, оскільки практична доцільність використання сонячної панелі визначається не лише миттєвою потужністю, а й коефіцієнтом корисної дії, площею встановлення, вартістю обладнання та строком окупності. Графічне відображення залежності потужності панелей від густини потоку сонячного випромінювання подано на рисунку 1.

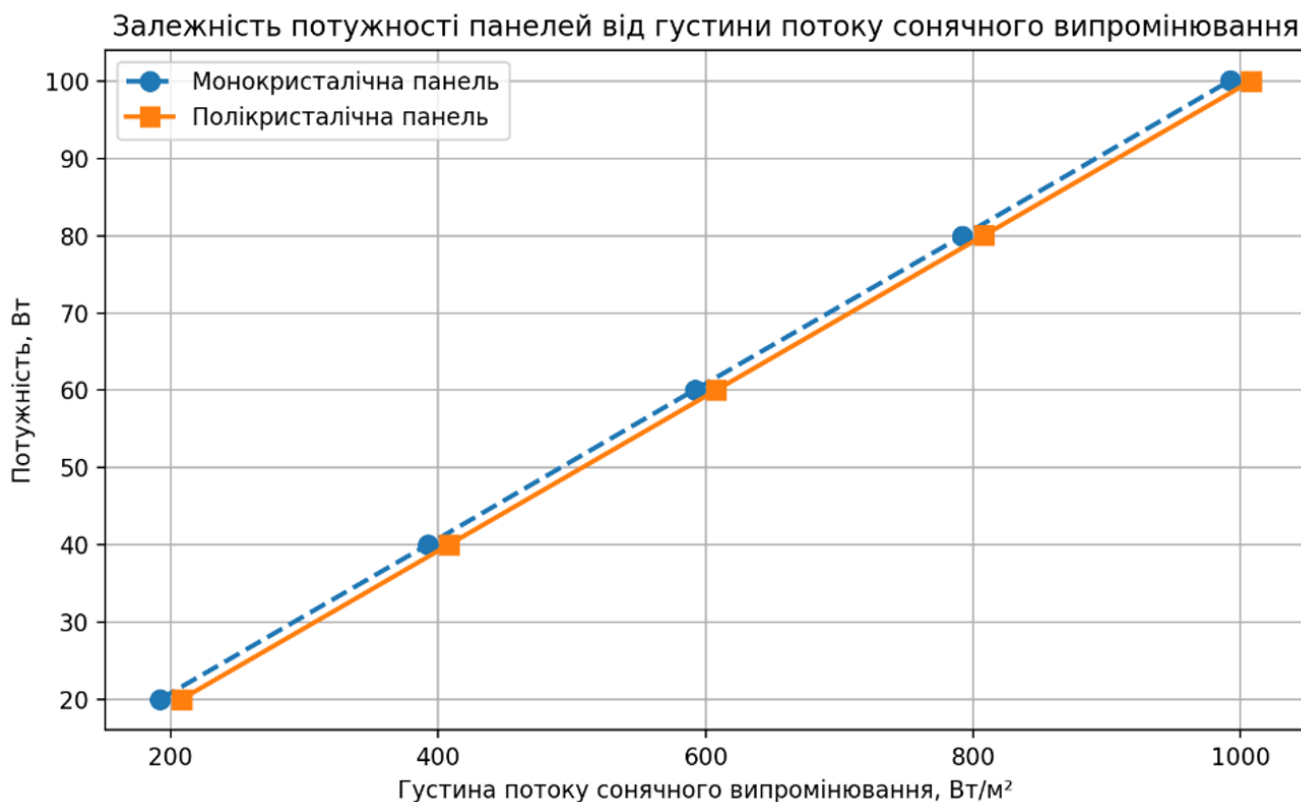


Рисунок 1 — Залежність потужності сонячних панелей від густини потоку сонячного випромінювання

Окрему увагу було приділено техніко-економічному порівнянню варіантів сонячної станції однакової встановленої потужності 10 кВт. Для обох варіантів приймалася однакова кількість панелей — 100 шт. Результати порівняння показали, що річний виробіток електроенергії є практично однаковим: 12992,34 кВт·год/рік для станції з монокристалічними панелями та 13000,61 кВт·год/рік для станції з полікристалічними панелями. Проте економічні показники суттєво відрізняються через різницю в капітальних витратах. Для монокристалічного варіанта загальні капітальні витрати становлять 288400 грн, тоді як для полікристалічного — 505057 грн. Відповідно строк окупності становить 5,14 року для монокристалічних панелей і 8,99 року для полікристалічних. Основні техніко-економічні показники порівнюваних варіантів сонячної станції наведено в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2, за близьких показників річного виробітку електроенергії більш доцільним є використання монокристалічних сонячних панелей. Їх перевага полягає у вищому коефіцієнті корисної дії, меншій площі однієї панелі та значно нижчих капітальних витратах у межах прийнятого розрахункового варіанта. Це особливо важливо для дахових і локальних сонячних електростанцій, де площа розміщення обладнання може бути обмеженою.

Таблиця 2 — Порівняння техніко-економічних показників сонячної станції потужністю 10 кВт

Показник	Монокристалічні панелі	Полікристалічні панелі
Встановлена потужність системи, кВт	10	10

Кількість панелей, шт.	100	100
Загальні капітальні витрати, грн	288400	505057
Річний виробіток електроенергії, кВт·год/рік	12992,34	13000,61
Річний економічний ефект, грн/рік	56126,91	56162,64
Строк окупності, років	5,14	8,99
ККД панелі, %	15,3	14,6
Площа однієї панелі, м ²	0,652	0,683

Таким чином, для умов Сумської області монокристалічні сонячні панелі можна вважати більш раціональним варіантом порівняно з полікристалічними. Незважаючи на майже однаковий розрахунковий виробіток електроенергії, монокристалічні модулі забезпечують кращі техніко-економічні показники та коротший строк окупності, що підвищує їх практичну привабливість для використання у малих і середніх фотоелектричних системах.

Висновки. За результатами порівняльного моделювання встановлено, що вихідна потужність монокристалічної та полікристалічної сонячних панелей майже лінійно зростає зі збільшенням густини потоку сонячного випромінювання. У межах прийнятого діапазону 200–1000 Вт/м² обидва типи фотоелектричних модулів демонструють близькі значення миттєвої потужності, що пояснюється однаковою номінальною потужністю досліджуваних панелей.

Разом із тим техніко-економічне порівняння показало, що практична ефективність сонячної панелі визначається не лише її вихідною потужністю, а й коефіцієнтом корисної дії, площею встановлення, капітальними витратами та строком окупності. За близького річного виробітку електроенергії монокристалічні панелі мають вищий ККД, меншу площу однієї панелі та суттєво нижчі капітальні витрати порівняно з полікристалічними.

Отже, для кліматичних умов Сумської області більш доцільним є використання монокристалічних сонячних панелей. Вони забезпечують кращі техніко-економічні показники, коротший строк окупності та є більш раціональним варіантом для малих і середніх фотоелектричних систем, зокрема дахових і локальних сонячних електростанцій.

Список використаної літератури:

1. Trends in Photovoltaic Applications 2025 : report IEA-PVPS T1-48:2025 / International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Paris, 2025. URL: https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-2025/ (дата звернення: 05.05.2026).
2. Sengupta M., Habte A., Wilbert S., Gueymard C., Remund J. et al. *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*. 4th ed. Golden : National Renewable Energy Laboratory ; IEA PVPS Task 16, 2024.
3. World Bank Group, ESMAP, Solargis. *Global Solar Atlas: Ukraine*. URL: <https://globalsolaratlas.info/download/ukraine> (дата звернення: 05.05.2026).
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С. О. Кудрі. 3-тє вид., оновл. Київ : Інститут відновлюваної

енергетики НАН України, 2024. 56 с. URL: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas_2024_publication.pdf (дата звернення: 05.05.2026).

5. Duffie J. A., Beckman W. A., Blair N. *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. 5th ed. Hoboken : Wiley, 2020. 928 p.

6. Luque A., Hegedus S. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2nd ed. Chichester : Wiley, 2011. 1132 p.

УДК 631.67:621.311

Коваленко Р.Ю.,

к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
kovalenko_r@ksaeu.kherson.ua

Басс Р.Д.,

студент (першого бакалаврського рівня)

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон

МЕТОДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗРОШЕННЯ ЗА УМОВ НЕСТАБІЛЬНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вступ. Стабільне функціонування систем зрошення є однією з важливих умов забезпечення продуктивності сільськогосподарського виробництва, особливо в регіонах із недостатнім або нерівномірним природним зволоженням. Зрошення дає змогу підтримувати оптимальний водний режим ґрунту, зменшувати ризики втрати врожаю та підвищувати ефективність використання земельних ресурсів [1]. Водночас більшість сучасних зрошувальних систем значною мірою залежить від надійного електропостачання, оскільки подача води, робота насосного обладнання, систем фільтрації, автоматизованих клапанів і засобів керування потребують електричної енергії.

В умовах воєнного стану проблема стабільного електропостачання набула особливої актуальності. Пошкодження енергетичної інфраструктури, планові та аварійні відключення електроенергії ускладнюють роботу насосних станцій і можуть призводити до порушення графіків поливу [2; 3]. Для аграрного виробництва це створює додаткові ризики, пов'язані зі зниженням урожайності, нераціональним використанням водних ресурсів і підвищенням витрат на експлуатацію зрошувальних систем.

За таких умов важливого значення набуває пошук технічних та організаційних рішень, які дають змогу забезпечити зрошення навіть за нестабільного електропостачання. До таких рішень належать застосування водонакопичувальних ємностей, використання краплинного зрошення, перехід на енергоощадні режими поливу, поєднання насосного обладнання з автономними джерелами живлення, а також упровадження систем керування поливом з урахуванням фактичної вологості ґрунту.

Метою дослідження є аналіз методів організації зрошення сільськогосподарських культур за умов нестабільного електропостачання та

визначення найбільш доцільних підходів до забезпечення безперервності або часткової автономності роботи зрошувальних систем у період підвищених енергетичних ризиків.

Основна частина. За умов нестабільного електропостачання основною проблемою зрошувальних систем є залежність подачі води від роботи насосного обладнання. У разі відключення електроенергії порушується тиск у трубопровідній мережі, зупиняється подача води до дощувальних машин або краплинних ліній, а також ускладнюється робота автоматизованих систем керування поливом. Тому організація зрошення в таких умовах має ґрунтуватися не лише на виборі способу поливу, а й на забезпеченні резерву води, зменшенні енергоспоживання та раціональному плануванні режимів водоподачі [4].

Одним із найбільш ефективних організаційних рішень є створення запасу води в накопичувальних ємностях, басейнах або відкритих водоймах. У цьому випадку насосне обладнання може працювати в періоди наявності електроенергії, наповнюючи резервуар, а подальша подача води до зрошувальної мережі може здійснюватися поступово. Такий підхід дає змогу частково відокремити процес забору води від безпосереднього процесу поливу та зменшити залежність графіка зрошення від графіка електропостачання.

Важливим напрямом є застосування краплинного зрошення, яке порівняно з традиційними способами поливу забезпечує більш економне використання води та потребує меншої витрати водного потоку. Краплинні системи дають змогу подавати воду безпосередньо в прикореневу зону рослин, зменшувати втрати на випаровування та поверхневий стік [5]. За умов обмеженого електропостачання це має практичне значення, оскільки дозволяє скоротити тривалість роботи насосного обладнання та підвищити ефективність використання кожного циклу поливу.

Перспективним рішенням є також використання гравітаційної подачі води. Такий метод можливий за наявності перепаду висот між накопичувальною ємністю та зрошуваною ділянкою. У цьому випадку вода може надходити до системи без постійної роботи насоса або з мінімальним використанням енергії. Обмеженням цього способу є залежність від рельєфу місцевості, висоти розміщення резервуара та необхідного тиску в зрошувальній мережі. Найбільш доцільно гравітаційне зрошення застосовувати для невеликих ділянок, тепличних господарств, садів або систем краплинного поливу.

Окреме значення має використання автономних і резервних джерел живлення. До таких рішень належать сонячні фотоелектричні системи, акумуляторні батареї, дизельні або бензинові генератори. Найбільш екологічним і перспективним варіантом для аграрних господарств є поєднання насосного обладнання із сонячними панелями, особливо в період активної вегетації культур, коли потреба у воді часто збігається з високою сонячною активністю [6]. Проте такі системи потребують попереднього техніко-економічного обґрунтування, правильного підбору потужності насосів, ємності акумуляторів і площі фотоелектричних модулів.

Для зменшення залежності від електроенергії важливо також оптимізувати сам режим поливу. Доцільним є перенесення зрошення на ранкові або вечірні години, коли втрати води на випаровування є меншими. Крім того, у періоди обмеженого електропостачання варто надавати перевагу не суцільному поливу всієї площі, а пріоритетному забезпеченню вологою найбільш чутливих культур

або ділянок, що перебувають у критичних фазах росту. Такий підхід дозволяє зменшити втрати врожаю навіть за неможливості повноцінного виконання стандартного графіка зрошення.

Порівняльну характеристику основних методів організації зрошення за умов нестабільного електропостачання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 — Методи організації зрошення за умов нестабільного електропостачання

Метод	Сутність методу	Переваги	Обмеження
Накопичення води в резервуарах	Попереднє наповнення ємностей у періоди наявності електроенергії	Дає змогу створити запас води та зменшити залежність від графіка відключень	Потребує ємностей, площі для їх розміщення та додаткових витрат
Краплинне зрошення	Подача води безпосередньо в прикореневу зону рослин	Економія води, менші втрати, можливість роботи при нижчих витратах води	Потребує фільтрації води та контролю засмічення ліній
Гравітаційна подача води	Використання перепаду висот для руху води без постійної роботи насоса	Мінімальна залежність від електроенергії	Можлива лише за відповідного рельєфу або піднятого резервуара
Сонячні насосні системи	Живлення насосів від фотоелектричних модулів	Часткова автономність, доцільність у період високої сонячної активності	Залежність від погоди, потреба в акумуляторах або резервному живленні
Резервні генератори	Використання автономного джерела електроенергії для насосів	Можливість підтримати роботу системи під час відключень	Витрати на паливе, обслуговування та безпечну експлуатацію
Автоматизація поливу	Використання датчиків вологості ґрунту та керування подачею води	Дає змогу уникати надмірного поливу й економити воду та енергію	Потребує додаткового обладнання та налаштування

Як видно з таблиці 1, жоден із методів не є універсальним для всіх умов експлуатації. Найбільш ефективним є комбінований підхід, який передбачає поєднання кількох рішень: накопичення води, використання краплинного зрошення, оптимізацію графіка поливу та застосування резервного або автономного живлення насосного обладнання. Саме така система дозволяє підвищити стійкість зрошення до перебоїв електропостачання та зменшити ризик порушення водного режиму ґрунту.

Для малих і середніх господарств доцільним може бути поєднання накопичувальної ємності з краплинним зрошенням і сонячним живленням малопотужного насоса. Для більших площ ефективнішим є резервування електроживлення насосних станцій та розподіл поливу за пріоритетністю культур. У будь-якому випадку вибір конкретного методу має залежати від площі

зрошення, типу культури, джерела води, рельєфу місцевості, доступності обладнання та фінансових можливостей господарства.

Таким чином, організація зрошення за умов нестабільного електропостачання має базуватися на принципах енергоощадності, водозбереження та технічної резервованості. Найбільш раціональним є не заміна одного способу поливу іншим, а створення гнучкої системи, здатної працювати навіть за обмеженого доступу до електроенергії.

Висновки. Нестабільне електропостачання істотно ускладнює роботу зрошувальних систем, оскільки більшість із них залежить від насосного обладнання, систем фільтрації та автоматизованого керування. У період воєнного стану ця проблема набуває особливої актуальності, оскільки перебої з електроенергією можуть призводити до порушення графіків поливу, погіршення водного режиму ґрунту та зниження продуктивності сільськогосподарських культур.

Встановлено, що найбільш доцільними методами організації зрошення за таких умов є накопичення води в резервуарах, застосування краплинного зрошення, використання гравітаційної подачі води, упровадження автономних або резервних джерел живлення насосного обладнання, а також автоматизація поливу на основі контролю вологості ґрунту. Кожен із цих методів має власні переваги й обмеження, тому їх вибір повинен здійснюватися з урахуванням площі зрошення, типу культури, джерела води, рельєфу місцевості та технічних можливостей господарства.

Найбільш ефективним є комбінований підхід, який передбачає поєднання водонакопичення, енергоощадних способів поливу та резервного або автономного живлення насосів. Для малих і середніх господарств перспективним є використання накопичувальних ємностей у поєднанні з краплинним зрошенням і сонячними насосними системами. Такий підхід дає змогу зменшити залежність від централізованого електропостачання, підвищити стійкість зрошення та забезпечити більш раціональне використання водних і енергетичних ресурсів.

Список використаної літератури:

1. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p.
2. Ukraine's Energy Security: A Pre-Winter Assessment. Paris : International Energy Agency, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security/a-pre-winter-assessment> (дата звернення: 05.05.2026).
3. Attacks on Ukraine's Energy Infrastructure: Harm to the Civilian Population. United Nations Human Rights Monitoring Mission in Ukraine, 2024. URL: <https://ukraine.un.org/en/278992-attacks-ukraine%E2%80%99s-energy-infrastructure-harm-civilian-population> (дата звернення: 05.05.2026).
4. Phocaides A. *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*. 2nd ed. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. 280 p.
5. Phocaides A. *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques. Chapter 14: Drip Irrigation*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. URL: <https://www.fao.org/4/a1336e/a1336e14a.pdf> (дата звернення: 05.05.2026).

6. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. *The Benefits and Risks of Solar-Powered Irrigation: A Global Overview*. Rome : FAO, 2018. 88 p.

УДК 621.382.28

Литвиненко В.М.

к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна
lytvynenko_v@ksaeu.kherson.ua*

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРЕМНІЄВОГО ВАРИКАПА

Вступ. Варикапи широко використовуються в радіоелектроніці як змінна ємність, величина якої керується напругою [1]. Основними параметрами варикапів є його добротність, номінальна ємність, зворотний струм та коефіцієнт перекриття за ємністю, який визначає частотний діапазон використання варикапу. Розробка варикапів зі зворотним градієнтом концентрації (ЗГК) домішки в базі дала можливість істотно збільшити коефіцієнт перекриття за ємністю. На рис 1 наведено концентраційний профіль варикапа зі зворотним градієнтом концентрації домішки в базі (а) і варикапа з постійною концентрацією домішки в базі (б).

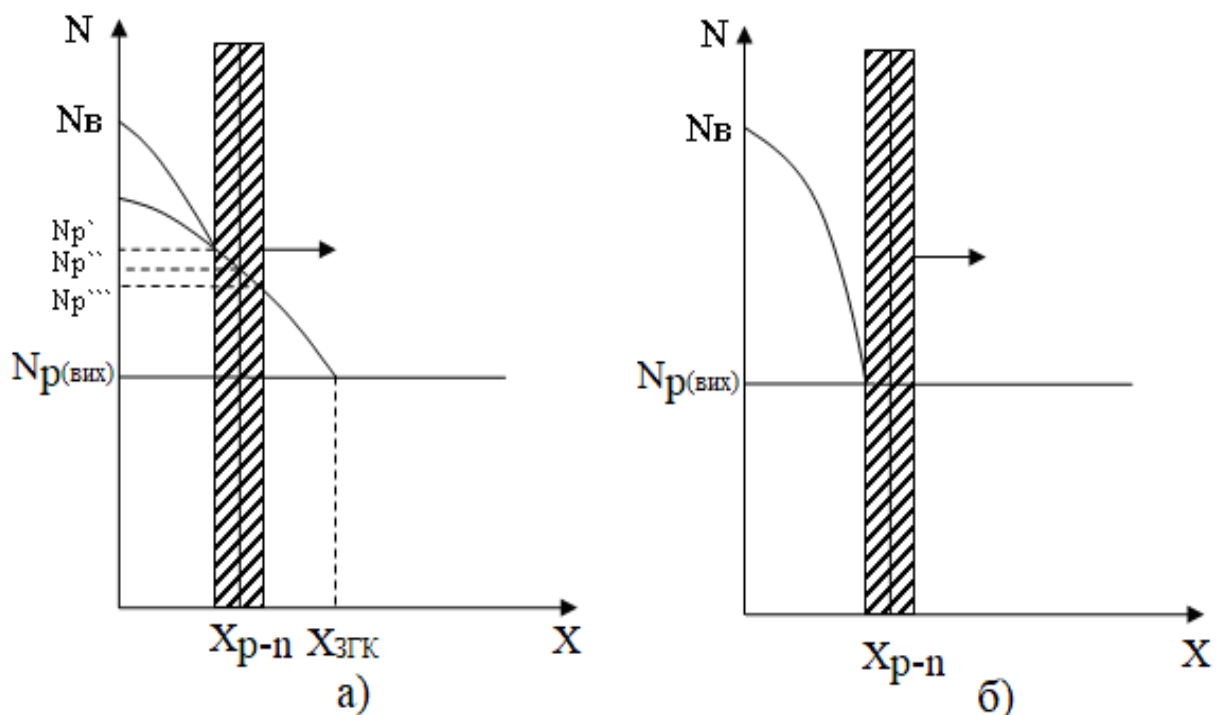


Рис. 1. Концентраційні профілі варикапів

Залежність бар'єрної ємності варикапа від його фізичних і конструктивних параметрів та прикладеної напруги виражається формулою:

$$C = S \sqrt{\frac{e \varepsilon \varepsilon_0 N(x)}{2(f_k + U_{зв})}} \quad (1)$$

де ε – діелектрична проникність кремнію; ε_0 – діелектрична проникність вакууму; e – заряд електрона; f_k – контактна різниця потенціалів; $U_{зв}$ – прикладена до варикапа зворотна напруга; $N(x)$ – залежна від глибини залягання р-п переходу величина концентрації фосфору в базі варикапа (для варикапа без зворотного градієнта концентрації $N = \text{const}$).

При збільшенні зворотної напруги область просторового заряду збільшується, переміщуючись вправо (рис. 1, а), "сповзаючи" по зворотному градієнту концентрації вниз. При цьому щоразу при збільшенні зворотної напруги величина концентрації фосфору в базі зменшується (від N'_p до N''_p ; від N''_p до N'''_p ...). Таким чином, при збільшенні зворотної напруги у формулі (1) не тільки зростає знаменник, але і зменшується чисельник, що викликає значну зміну ємності варикапа при збільшенні зворотного зсуву. У той же час, як видно з рис. 1, б, при збільшенні зворотної напруги концентрація фосфору в базі залишається незмінною і рівна $N_{p(\text{вих})}$, що обумовлює значно слабшу залежність ємності від напруги у варикапі без зворотного градієнта концентрації домішки в базі.

Коефіцієнт перекриття за ємністю K_C - відношення ємностей варикапа при двох заданих значеннях зворотної напруги: C_{max} - максимальна ємність варикапа при заданій мінімальній зворотній напрузі зсуву ($U_{зв.\text{min}}$); C_{min} - мінімальна ємність варикапа при максимальній зворотній напрузі зсуву ($U_{зв.\text{max}}$) і розраховується за формулою:

$$K_C = \frac{C_{\text{max}}}{C_{\text{min}}} \quad (2)$$

На рис. 2 наведена вольт-фарадна характеристика варикапа.

Для варикапів без зворотного градієнта концентрації домішки в базі K_C знаходиться в межах 2,0...2,3, а для варикапів зі зворотним градієнтом концентрації домішки в базі K_C може досягати 20. Величина коефіцієнта перекриття за ємністю визначає частотний діапазон використання варикапа для перебудови частоти вузлів електронних пристроїв (чим більший K_C має варикап, тим більший частотний діапазон він охоплює при своїй роботі).

З іншого боку, виникла проблема низького виходу придатних варикапів зі ЗГК домішки в базі за рахунок розкиду значень номінальної ємності приладових структур за площею пластини. Як показав аналіз технологічного процесу виготовлення варикапа, основною причиною розкиду значень ємності варикапа є нерівномірність фронту розподілу ЗГК домішки в базі по площі пластини. Однією з причин є те, що іони фосфору при іонному легуванні потрапляють на пластину з різними швидкостями, які визначають глибину їх проникнення в об'єм

кремнієвої пластини. Інша причина пов'язана з тим, що практично всі атоми фосфору після процесу іонного легування знаходяться в міжвузлях і тому електрично не активні, що є однією з причин нерівномірної дифузії атомів фосфору в процесі їхньої подальшої розгонки. Як наслідок, нерівномірність фронту ЗГК домішки призводить до нерівномірності глибини залягання р-п переходу і, отже, до значного розкиду значень ємності варикапних структур по площі пластин.

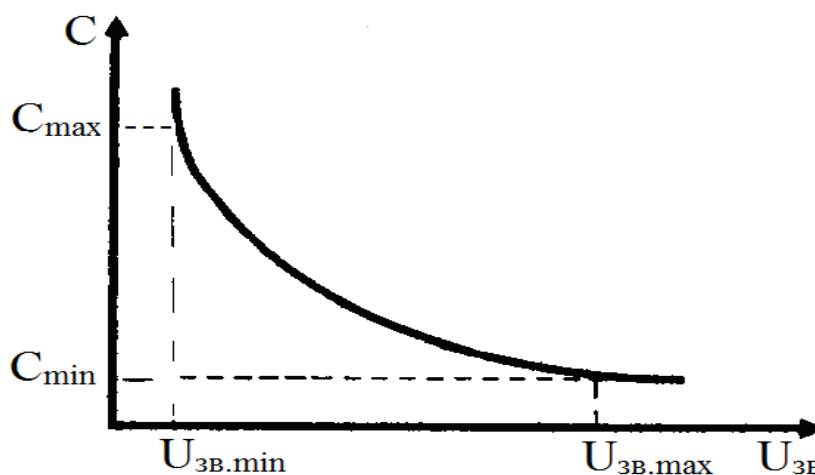


Рис. 2. Залежність ємності варикапа від зворотної напруги (вольт - фарадна характеристика варикапа)

Основна частина. Структури досліджуваних варикапів виготовлялися за стандартною планарно-епітаксіальною технологією [2, 3] на кремнієвих епітаксіальних структурах n-типу провідності з питомим опором $20 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ і товщиною 10 мкм , вирощених на кремнієвій підкладці, орієнтованій за площиною (111). Для виготовлення варикапних структур проводилися такі основні технологічні операції: термічне окислення кремнієвих пластин за температури 1050°C в парах води протягом 100 хв з наступним відпалом пластин в середовищі аргону протягом 30 хв за температури процесу окислення; I фотолітографія для розтину вікон у двоокисі кремнію; іонне легування фосфором при дозі легування 35 мкКл/см^2 та розгонка фосфору за температури 950°C протягом 55 хв для створення зворотного градієнта концентрації; II фотолітографія для розтину вікон під дифузію бору; загонка бору за температури $T=980^\circ\text{C}$ протягом 25 хв в атмосфері аргону і кисню для формування р-п переходу; III фотолітографія для розтину вікон у плівці боросилікатного скла; формування омичного контакту на робочій стороні пластин шляхом осадження півки алюмінію у вакуумі, проведення IV фотолітографії по шару алюмінію та подальший відпал пластин в інертному середовищі за температури $T=500^\circ\text{C}$; шліфування зворотної сторони пластин та формування омичного контакту на зворотній стороні пластин послідовним нанесенням шарів титану та нікелю методом вакуумного термічного випаровування та золота методом гальванічного осадження.

Для підвищення рівномірності значень номінальної ємності варикапів по площі пластини було проведено наступний експеримент [4]. Додатково перед операцією іонного легування проводилося хімічне окислення пластин у концентрованій азотній кислоті за температури 98°C протягом 95 хв , при цьому

товщина окисної плівки в робочому вікні дорівнювала 85 ангстрем. Далі з метою створення ЗГК проводилося іонне легування варикапних структур фосфором з дозою легування 35 мкКл/см^2 і напрузі, що прискорює 50кВ. Перед операцією "Розгонка фосфору" ($T_p = 950^\circ\text{C}$) додатково проводився відпал пластин за температури 560°C на протязі 30хв. Далі проводились технологічні операції по формуванню р-п переходу і омичних контактів за технологією, наведеною вище.

Ефективність використання запропонованої технології оцінювалася за відсотом виходу придатних варикапних структур на контролі величини номінальної ємності (критерій придатності: номінальна ємність варикапних структур за зворотної напруги 1 В повинна знаходитися в межах 510...608пФ).

Для оцінки розкиду значень номінальної ємності варикапа по площі пластини було зроблено обчислення коефіцієнта варіації:

$$k_B = \frac{1}{\bar{x}} \left\{ \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right\} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де x_i – і-те значення вимірюваної величини; \bar{x} – середнє значення вимірюваної величини; n – кількість вимірів.

Розрахунок коефіцієнта варіації за формулою (3) для базової технології склав $k_B = 4,62$, а для розробленої - $k_B = 3,15$, що говорить про значне підвищення рівномірності по площі пластини значень номінальної ємності варикапних структур, виготовлених за розробленою технологією, у порівнянні з варикапними структурами, що виготовлені за базовою технологією.

У таблиці 1 наведено порівняльні результати розбракування за значенням номінальної ємності варикапів, виготовлених за базовою (партії №1, 2) та розробленою (партії №3, 4) технологіями.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики базової та розробленої технологій

Технологія виготовлення варикапних структур	Номер партії пластин	Вихід придатних варикапних структур за значенням номінальної ємності, %
Розроблена технологія	1	44
	2	45
Базова технологія	3	33
	4	35

З таблиці 1 видно, що використання запропонованої технології виготовлення варикапів дозволяє підвищити вихід придатних варикапних структур в середньому на 10,5%, очевидно, за рахунок зменшення розкиду значень номінальної ємності варикапних структур по площі пластини (суттєве зменшення розкиду значень номінальної ємності варикапних структур по площі пластини підтверджено розрахованими значеннями коефіцієнтів варіації для базової та розробленої технологій).

Проаналізуємо механізми впливу легування через шар окислу, вирощеного за рахунок хімічного окислення пластин в парах азотної кислоти, а також вплив

додаткового низькотемпературного відпалу на параметри варикапа. Реалізацію поставленої мети можна представити наступним чином. Перед проведенням операції „Іонне легування” пластини окислюють хімічним способом (в розчині азотної кислоти) для одержання в робочих вікнах плівки SiO_2 , а перед розгонкою фосфору додатково проводиться низькотемпературний відпал пластин [4]. Вирощений у робочому вікні оксид гасить і вирівнює кінетичну енергію іонів фосфору, які вилітають з великою швидкістю з джерела іонів, зменшуючи тим самим щільність радіаційних дефектів, які генеруються в кремнії в процесі іонного легування, що підвищує рівномірність дифузії атомів фосфору за площиною пластин в процесі проведення технологічної операції «Розгонка фосфору». Низькотемпературний відпал пластин, який проводиться перед проведенням технологічної операції «Розгонка фосфору», активізує атоми фосфору, які знаходяться після процесу іонного легування в міжвузлях, що також сприяє підвищенню рівномірності дифузії атомів фосфору за площиною пластин в процесі розгонки.

Висновки. Проведення іонного легування варикапних структур фосфором через тонку плівку SiO_2 , отриману хімічним окисленням, та їх додатковий низькотемпературний відпал перед розгонкою фосфору в процесі формування зворотного градієнта концентрації фосфору в базі варикапу сприяють підвищенню рівномірності значень ємності варикапів за площиною пластини і, як слідство, дають можливість підвищити вихід придатних варикапних структур на контролі їх номінальної ємності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Литвиненко В.М. Фізика та технологія напівпровідникових діодів. Монографія. Херсон : ФОП Вишемирський В.С, 2018. 184 с.
2. Павлов С. М. Основи мікроелектроніки. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 224с.
3. Трикіло А.І. Технологічні основи електроніки. Конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 93 с.
4. Патент на корисну модель №113351 Україна, МПК H01L 21/00 (2016.01). Спосіб виготовлення структур варикапу зі зворотним градієнтом концентрації домішки в базі / В.М. Литвиненко; власник Херсонський національний технічний університет. № u201607511; заявл. 11.07.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2.

Литвиненко В.М.

к.т.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна

lytvynenko_v@ksaeu.kherson.ua

Бєлий О.В.

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна

Belyjaleksej178@gmail.com

Коваленко С.В.

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон, Україна

sergey.kovalenko.79@gmail.com

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТЕРМОМЕТР ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТІЛА

Вступ. Кожному доводилося під час хвороби вимірювати собі температуру ртутним термометром по 5-7 хвилин або електронним по 3-5 хвилин. Якщо дорослі тримають градусник спокійно, за дітьми доводиться спостерігати, щоб вони, завозившись, випадково не зламали тендітну скляну трубочку. Пропонована конструкція електричного градусника хоч і має великі габарити, але заміряти температуру в діапазоні від 20 до 45°C всього за 3 секунди з точністю до 0,1°C. Цей діапазон можна легко розширити або зрушити при виготовленні термометра.

Основна частина. В основу побудови схеми (рис. 1) покладено мостовий перетворювач. Зміна величини опору термодатчика R8 призводить до розбалансу моста та появи на стрілочному індикаторі PA1 струму, пропорційного температурі. Особливістю електричного термометра є застосування в якості датчика температури резистора типу СТЗ-19 10 кОм, який володіє дуже малою масою, за рахунок чого і вдається отримати високу швидкість вимірювання [1, 2]. Цей датчик зручно закріпити на кінці пластмасової трубки від кулькової авторучки і перевитими між собою дротами довжиною 1-0,6 м і через роз'єм ХІ підключити до вимірювального блоку. На роз'єм між контактами 1 і 2 встановлена перемичка, яка не дозволить включити схему приладу, якщо не підключений термодатчик, що оберігає індикатор PA1 приладу від пошкодження. Живиться схема від двох будь-яких акумуляторів або батарейок загальним напругою 2...3 В і споживає від джерела струм не більше 5 мА. Транзистори VT1 і VT2 використовуються як низьковольтні стабілітрони і можуть бути замінені на транзистори КТ3102А, Б, В, Г [3-5].

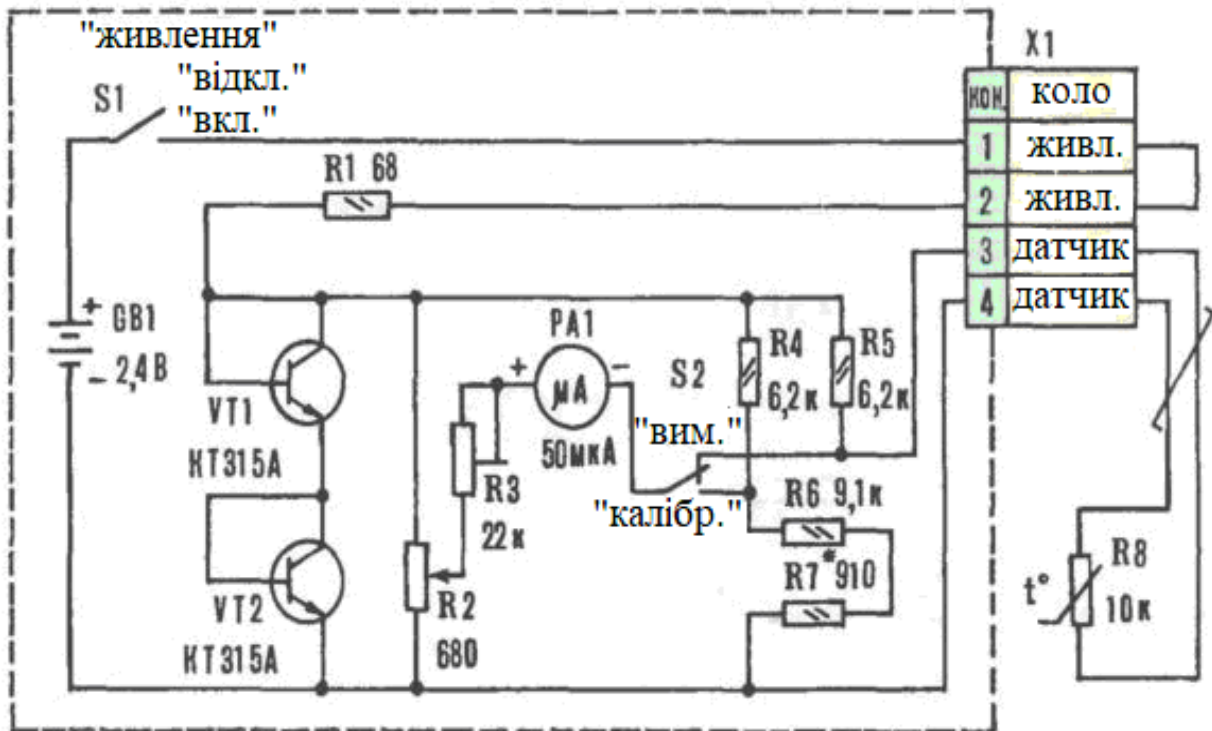


Рис.1. Схема електричного термометра

Змінні резистори для зручності налаштування краще використовувати багатооборотні, типу СП5-2 або аналогічні. Габарити електричного термометра визначаються розмірами стрілочного індикатора PA1 і при використанні мікроамперметра М4205 0...50 мкА не перевищують 85 x 65 x 60 мм (рис. 2).

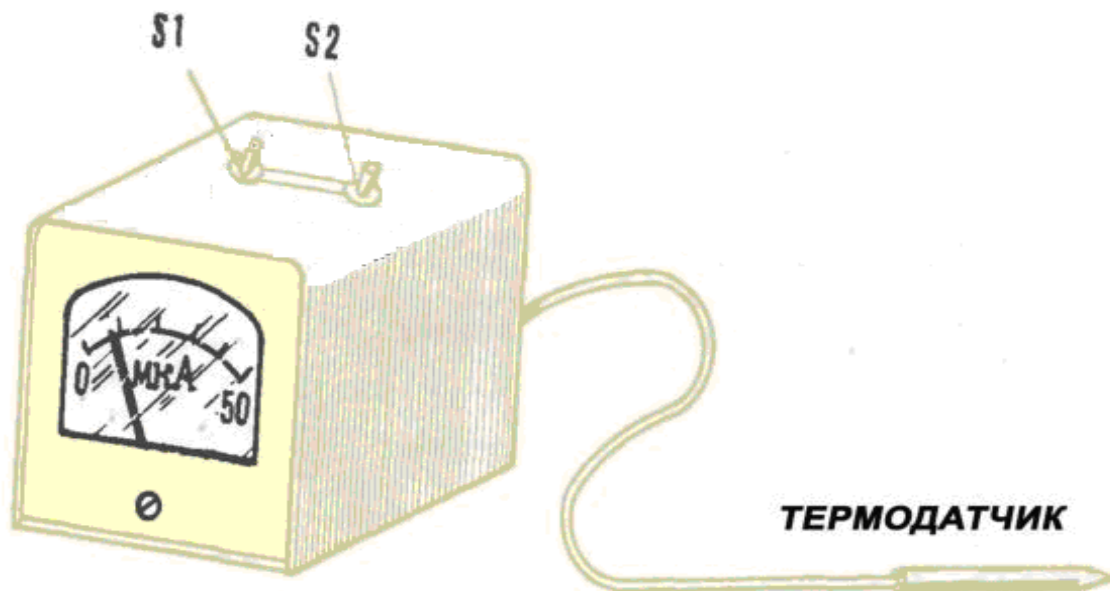


Рис.2. Зовнішній вигляд електричного термометра

Налаштування приладу починають із виміру опору R8 (бажано з високою точністю) при фіксованій температурі 20°C. З цією метою зручно використовувати промислову термокамеру з автоматичною підтримкою заданої температури, куди і поміщають термодатчик [6].

Можливі інші способи отримання температури 20°C, але треба враховувати, що від точності вимірювання опору термодатчика за температури

20°C залежить точність вимірювання приладу. Після вимірювання опору R8 з двох резисторів R6+R7 підбирають такий самий номінал опору та встановлюють їх у схему.

Після цього, встановивши движки резисторів R2 і R3 в середнє положення, включають схему тумблером S1 і виконують послідовно такі операції: 1) встановити перемикач S2 в положення калібрування, а регулятором R2 виводять стрілку вимірювального приладу в нульове положення на шкалі; 2) поміщають датчик температури у місце з відомою постійною температурою (у межах бажаного вимірювального діапазону); 3) встановлюють перемикач S2 у положення «вимірювання», а резистором R3 виводять стрілку приладу на значення шкали, яке відповідатиме вимірюваній величині. Операції 1, 2, 3 необхідно повторити кілька разів, після чого налаштування можна вважати закінченим. На закінчення хотілося б відзначити, що в налаштованому приладі діапазон вимірювання можна змінити резистором R2 при перемиканні в режим калібрування і встановлювати стрілку на будь-яке значення шкали (положення стрілки буде відповідати значенню 20 ° C). При перемиканні приладу в режим «вимірювання» шкала буде зрушена відповідним чином щодо положення стрілки в режимі «калібрування». Прилад має великий запас чутливості, яка збільшується зі зменшенням опору R3 (при початковому налаштуванні).

Висновки. Розроблено електричний термометр для вимірювання температури тіла. Термометр простий у обслуговуванні, має порівняно невисоку вартість.

Список використаної літератури

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка. Підручник. К.: Каравелла, 2009. 416с.
2. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка. Підручник. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 223 с.
3. Дрозденко К.С. Фізичні основи електроніки. Навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 153с.
4. Матвієнко М.П. Основи електроніки. Підручник. Київ: Ліра, 2017. 364с.
5. Болюх В. Ф., Данько В.Г., Гончаров Є.В. Основи електротехніки, електроніки та мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. Харків : Планета-Прінт, 2019. 248 с.
6. Глуценко О.Л. Теплотехнічні вимірювання та прилади. Конспект лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. 88с.

УДК 628.179.2

Кравченко В. І.

к.т.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон

cerb_kravchenko@ukr.net

РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД НА КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУДАХ МІСТА КРОПИВНИЦЬКИЙ

Вступ. Очищення стічних вод відноситься до багатовідхідної технології, в якій утворений осад являється великотоннажним відходом [1].

Технологія очистки стічних вод, що застосовується на підприємстві ОКВП «Дніпро- Кіровоград» не передбачає утилізацію чи використання мулових осадів стічних вод, що утворюються на каналізаційних очисних спорудах.

Одержані мулові осади направляються на мулові майданчики, що вимагає залучати значні площі земель та створює екологічну небезпеку навколишньому середовищу.

У країнах Європи для утилізації осадів на сьогодні застосовуються наступні методи: у сільському господарстві як добрива, як будівельний матеріал, спалювання тощо [1]. В Україні використовується практично один спосіб утилізації мулового осаду – це складування (>95 %). Це пов'язано з браком сучасних технологій утилізації осадів стічних вод, з високою вологістю цих відходів, а також тим, що їх якість не відповідає вимогам нормативів за вмістом важких металів. Разом з тим, очисні споруди можуть бути потенційним джерелом отримання додаткових сировинних ресурсів, потенціал яких повною мірою не використовується.

Основна частина. В останні роки все більшого інтересу викликають термічні методи утилізації осадів стічних вод, які в елементарному складі сухої речовини мають до 87 % вуглецю, до 8,7% водню та до 2,7% сірки. Теплова енергія, що міститься в них, може бути рекуперована в процесах спалювання на різних промислових підприємствах.

Термічна утилізація є радикальним методом утилізації осадів стічних вод. В Україні стримування розповсюдження методу спалювання мулових осадів було з причини високої їх вологості, яка становить не менше 70 % [2]. Загалом до переваг термічного методу утилізації мулових осадів належить висока ефективність, знезараження осадів стічних вод від патогенної мікрофлори та значне зниження обсягів депонованих мулових осадів

З урахуванням результатів досліджень виготовлення і аналізу експериментальних зразків композитних біопаливних пелет, отриманих на основі мулових осадів стічних вод ОКВП «Дніпро-Кіровоград», прийнято рішення виготовляти дослідну партію пелет з використанням такого складу: 80% мулові осади і 20% лушпиння соняшника. Така композитна суміш здатна зменшити вологість осадів та підвищити її енергетичну цінність. Підставою для вибору лушпиння соняшника обґрунтовано тим, що значна частина його вирощується і переробляється саме у Кіровоградській області.

При виборі пресового пристрою для виготовлення біопаливних пелет, приймалося до уваги, що надані зразки осадів є пластично-в'язкими матеріалами, а композитна сировина, виготовлена на основі мулових осадів та лушпиння соняшника також буде мати пластично-в'язкі властивості.

Серед машин для пластичного формування значне поширення одержали шнекові преси

Зважаючи на викладене вище, було зроблено висновок, що для виготовлення біопаливних пелет на основі мулових осадів доцільним є застосування модернізованого пресового пристрою з використанням горизонтального шнекового преса спрощеної конструкції, а саме без вакуумної камери і транспортного шнекового пристрою для подачі композитної сировини, що спрощує конструкцію пресового пристрою. Тому подачу сировини передбачалося здійснювати вручну через завантажувальну ємність, під'єднану до корпусу преса на вході до робочої частини пресового шнека.

Схемне рішення модернізованого шнекового пристрою для виготовлення дослідної партії біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод представлено на рисунку 1.

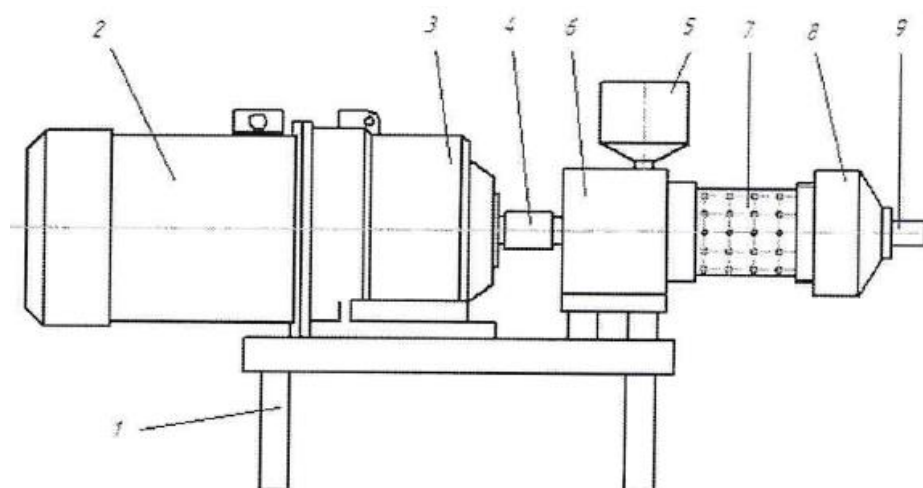


Рисунок 1 - Схемне рішення модернізованого шнекового пристрою для виготовлення дослідної партії біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод

Прес змонтований на рамі 1 і містить: електродвигун 2, редуктор 3; муфту 4; ємність для завантаження суміші 5, шнек 6, корпус шнека 7, формуючу головку 8, мундштук 9.

Геометричні характеристики головки шнекового преса представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Геометричні характеристики головки шнекового преса

Діаметр шнека, м	D	0,072
Крок гвинта шнека, м	S	0,022
Діаметр вала шнека, м	D	0,055
Висота лопаті, м	H	0,0085
Діаметр отвору мундштука, м	d ₁	0,016
Довжина шнека, м	L	0,280

Апробація модернізованого шнекового пристрою виготовлення дослідної партії біопаливних пелет діаметром 16 мм на основі мулових осадів підтвердила його працездатність. Однак у процесі виготовлення не вдалося досягнути значного зниження вологості пелет порівняно з вологістю вихідної композитної сировини на основі мулових осадів. Частково це пов'язано з відносно великими розмірами отворів ($d = 4$ мм) у корпусі циліндра, які призначалися для планового відводу рідини при пресуванні сировини. Проте виявилось, що при підвищенні тиску орієнтовно до 5 МПа через отвори почала виходити сировина, а не рідина, що не дозволило підвищити тиск пресування до більш високих величин.

Зменшення вологості виготовлених пелет в межах 7-10% спостерігалось при місцевому малопотужному підігріву циліндра шнекового преса до 45-50 °С. Тому для зниження вологості виготовлені біопаливні пелети підсушували в умовах відкритої атмосфери протягом 24 годин до вологості 18-25%.

Загальний вигляд біопаливних пелет, виготовлених на шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових осадів показано на рисунку 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд біопаливних пелет діаметром 16 мм, виготовлених на модернізованому шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових осадів

Основні характеристики біопаливних пелет, виготовлених на шнековому пресі з композитної сировини на основі мулових осадів:

склад композитних пелет:

мулові осади стічних вод	80%
лушпиння соняшника	20%
діаметр пелет	$d = 16$ мм
щільність пелет на виході з шнекового пресового пристрою	$\rho = 1010$ кг/м ³
вологість підсушених пелет	$W = 23$ %
зольність	$A = 33$ %
теплота згоряння (розрахована)	$Q = 21,6$ МДж/кг
загальна маса виготовлених пелет	$m_n = 50$ кг

Висновки. На підставі проведеного аналізу рекомендовано для виготовлення дослідної партії біопаливних пелет використовувати композитну сировину у складі: 80% - мулові осади стічних вод і 20%- лушпиння соняшника.

Виготовлено дослідно-промислову партію біопаливних пелет на основі мулових осадів стічних вод загальною масою 50 кг, достатню для теплотехнічних випробувань при спалюванні у котельній техніці.

Визначено основні фізико-технічні характеристики біопаливних пелет: щільність пелет на виході з шнекового пресового пристрою $\rho = 1010 \text{ кг/м}^3$, вологість підсушених пелет $W = 23 \%$, зольність $A = 33\%$, теплота згоряння (розрахована) $Q = 21,6 \text{ МДж/кг}$.

Апробацією модернізованого шнекового преса підтверджено його працездатність, що дозволяє рекомендувати його застосування для виготовлення біопалива.

Список використаних джерел:

1. Бабаєв В.М., Панов В.В., Хайло Я.М., Волков В.М., Горох М.П. Альтернативні технологічні рішення проблеми повної утилізації мулового осаду стічних вод // Комунальне господарство міст. 2018. № 144. С. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_144_7

2. Кравченко В.І., Білоус Ю.В., Кравченко В.П. Створення та обґрунтування композитного палива на основі осаду стічних вод // Технічні науки. Херсон: ХДАЕУ. 2023. № 3. С. 88-94. URL: <http://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/article/view/403>

УДК 628.169

Сапко І. Є.

*здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
sapko1342@gmail.com*

Кравченко В. І.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та
електричної інженерії
Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
cerb_kravchenko@ukr.net*

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ СУМІШІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРОТУАРНОЇ БРУКІВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОСАДУ ПИТНОЇ ВОДИ

Вступ. Осад, що одержують при зневодненні на водопровідних очисних станціях може накопичуватися і зберігатися у великих кількостях. На більшості станцій водопідготовки України не передбачено споруди для обробки водопровідних осадів і промивних вод. Зберігання таких кількостей осадів та їх складування, вивіз у відвали також забруднює навколишнє середовище через високу концентрацію органічного вуглецю та неорганічних сполук і вимагає відчуження частини земель для захоронення.

Кількість зневодненого осаду, що утворюється на водоочисній станції, залежить від:

- якості вихідної води (вмісту завислих речовин, заліза, марганцю тощо),
- технології очищення (коагуляція, відстоювання, фільтрування, промивання фільтрів),

- ступеня зневоднення осаду (центрифуги, фільтр-преси, шнекові дегідратори тощо),
- обсягу очищеної води.

Осад, що знаходиться на станціях, являє собою складну органо-мінеральну суміш, яка містить цінні елементи, зокрема каолінит, гідроксиди алюмінію, кремнію, заліза, кварц, у яких є потреба різних галузях.

В залежності від складу, що превалює, і властивостей осаду тієї або іншої станції можуть бути вибрані різні шляхи її утилізації. Так, осади з високим вмістом органічних складових можна застосовувати у сільському господарстві як добрива і меліоранти, одержання шпаристих заповнювачів та фільтрувальних матеріалів на станціях очистки як коагулянт. Також осади водопровідних очисних станцій можуть бути ефективно утилізуватися у металургії та виробництві будівельних матеріалів.

Висока концентрація алюмінію в осаді відходів на 19,6–28,5% або 1,4–2 мг/л зазвичай отримується як залишок коагулянту з водоочисних споруд; тому утилізація осаду на земельних ділянках є неприйнятною.

На сьогодні оптимальне вирішення проблеми утилізації осадів зі споруд станцій водопідготовки та очищення наразі відсутнє.

Основна частина. При вирішенні питання про шляхи переробки та утилізації осаду кожної водопровідної станції велике значення мають його хіміко-мінералогічний склад і фізико-хімічні властивості.

Переважаючими мінеральними складовими більшості осадів вод середньої каламутності є глинисті мінерали – каолінит і монтморилоніт, в меншій кількості присутні гелевидні гідроксиди алюмінію, кремнію, заліза, а також гідроліди, кварц і органічні включення.

Типові осади, ідентичні за складом природній глинистій або лесовидній сировині, доцільно використовувати як керамічну сировину, компоненти при виробництві різних будівельних матеріалів: цементів, бетонів, захисних покриттів тощо.

На Дніпровській водоочисній станції з потужністю 90 тис. м³ води на добу осад утворюється внаслідок коагуляції, флокуляції та відстоювання води, а його обсяг може сягати десятків тон на добу залежно від навантаження.

За оцінками, при обробці такої кількості води, утворюється приблизно **20–40 тонн осаду на добу** у сирому вигляді, після зневоднення – **5-10 тонн твердого матеріалу.**

За результатами фізико-хімічного аналізу шламу **Дніпровській водоочисній станції**, було прийнято рішення про застосування осаду питної води як заміника піщаного заповнювача тротуарної бруківки.

Було виготовлено два склади тротуарної плитки, при цьому піщаний заповнювач був замінений на осад питної води у різних вагових пропорціях з різними водоцементним відношенням: суміші серії I та серії II з (В/Ц) 0,4 та 0,8 відповідно та співвідношенням заповнювач-цемент 3:1. Піщаний заповнювач був частково або повністю замінений на заповнювач з осаду питної води, з додаванням його у кількості від 0% до 100% за вагою.

Матеріалами, що використовувалися для виробництва тротуарної бруківки у цьому дослідженні, були цемент марки 400, водопровідна вода, піщаний заповнювач місцевого виробництва з смт. Власівка Кіровоградської області та

заповнювач з осаду питної води. Зазначений заповнювач обробляли шляхом подрібнення та просіювання через сито № 1,6 для отримання шламу у порошкоподібній формі, а потім сушили при температурі 105 °С у печі.

Методика виготовлення бруківки з використанням осаду питної води складалася з трьох фаз: змішування, ущільнення та твердіння.

Механічні характеристики та довговічність бруківки з ґрунтовою сумішшю для твердих порід оцінювали за допомогою міцності на стиск, щільності та водопоглинання. Випробування на міцність на стиск, щільність та водопоглинання проводили для вимірювання п'яти сумішей після 28 днів затвердіння.

Міцність зразків на стиск була випробувана відповідно до ДСТУ Б В. 2.7-220:2009. Визначення щільності та водопоглинання зразків проводили згідно з ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

Результати досліджень по виготовленню бруківки з використанням осадів питної води на стиск продемонстрували обернено пропорційну залежність від вмісту осадів питної води, як показано у таблиці 1. Підвищення вмісту шламу знижував міцність зразків на стиск.

Таблиця 3.4 – Результати міцності зразків бруківки з використанням осадів питної води на стиск

Вміст осаду, %	Міцність на стиск (МПа)	
	Серія 1 (В/Ц 0,4)	Серія 1 (В/Ц 0,8)
0	11,77	17,25
20	5,55	21,70
40	5,11	11,64
60	3,32	6,20
80	-	6,65
100	-	3,86

Найвища міцність на стиск 21,7 МПа була досягнута у бруківці зі співвідношенням шламу 20% та водоцементним співвідношенням 0,8, що відповідає вимогам якості до бруківки для пішохідних доріжок та паркування.

Щільність бруківки зменшувалася зі збільшенням концентрації шламу в суміші зразків. Найнижче значення для кожного водоцементного співвідношення було продемонстровано при найвищому співвідношенні заміни піску на дрібний заповнювач з осаду питної води.

Отримані результати показали, що осад питної води може бути використаний як адекватна заміна піщаних заповнювачів, і що оптимальний рівень у тротуарній блоці може допомогти підвищити ефективність виробничих витрат, що забезпечить значне зниження собівартості продукту.

Використання осаду питної води як альтернативної заміни дрібним заповнювачам, можна класифікувати як безпечні відходи та екологічно чистий будівельний матеріал.

Таким чином, збільшення шламу впливає на однорідність бруківки під час ущільнення, що призводить до зниження когезійності зразків. Вищий вміст осаду питної води призвів до отримання більш пористого зразка бруківки з високим вмістом води. Підвищення осаду питної води може впливати на щільність бруківки, що обумовлено тим, що бруківка з вищою часткою шламу показала зниження щільності порівняно з бруківкою з вищою часткою піску.

Додавання шламу тісно корелювало з водопоглинанням, що також впливало на міцність бруківки.

Висновки. Перероблені осади Дніпровської очисної станції можуть знайти застосування як адекватна заміна піщаного заповнювача у будівельній суміші для виготовлення бруківки.

Результати дослідження виготовлених зразків бруківки показали, що за оптимальним вмістом осадів 20-30% у будівельній суміші з водоцементним відношенням 0,8 була досягнута щільність 2200 кг/см³, водопоглинання 8-10% і міцність на стиск 21,7 МПа.

Використання осаду питної води для заміни дрібного заповнювача значно знизить собівартість виробництва. Так, **заміна 20–30% піску на осади стічних вод у виробництві бруківки може дати суттєвий економічний ефект – до 15–25% зниження собівартості матеріалу, залежно від регіону та технології виготовлення.**

Для водоочисних станцій економічні переваги будуть у вигляді зменшення витрат на утилізацію осадів.

Загальний економічний ефект полягає у економії сировини, а також зменшення екологічного збору та витрат на транспортування.

Зменшення добування піску покращить стан довкілля: зменшиться навантаження на річкові екосистеми та обсяги утворення відходів, що потрапляють на майданчики зберігання осадів.

УДК 621.313 : 620.92

Заводяний В.В.

к.ф.-м.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
zavodiannyi_v@ksaeu.kherson.ua.,*

Шпилько О.О.

*студент третього курсу спеціальності 141 електроенергетики,
електротехніки та електромеханіки*

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м.Херсон

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМАШИНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Вступ. На сьогоднішній день промисловість є найбільшим споживачем електричної енергії у світі. За оцінкою Міжнародного енергетичного агентства, електричні двигуни використовують 45% електричної енергії виробленої у світі, якщо взяти промисловий сектор цей показник може сягати 70% [1, с. 11]. У світі

використовують 300 мільйонів промислових двигунів, і їх сумарне споживання становить близько 7000 ТВт·год на рік [1, 25]. В Україні, де промисловий сектор формує значну частку ВВП, ситуація аналогічна: електричний привід є основою металургійних, гірничодобувних, хімічних та комунальних підприємств.

Однак значний потенціал енергозбереження залишається нереалізованим. Опитування та аудити показують, що близько 60% двигунів, які перебувають в експлуатації у світі, мають клас ефективності IE1 або навіть нижчий [5, с. 2792]. Це означає, що від 5% до 20% спожитої ними електроенергії втрачається у вигляді тепла. Життєвий цикл електродвигуна демонструє вражаюче співвідношення: початкова вартість придбання становить лише 2–3% загальних витрат, тоді як витрати на електроенергію протягом стандартного терміну служби перевищують 95% [5, с. 2794]. Тому навіть невелике підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) призводить до суттєвої економії в абсолютних цифрах.

Усвідомлення цього факту зумовило розроблення та запровадження низки міжнародних стандартів, спрямованих на поступове підвищення мінімально допустимого ККД. В цій статті головним є систематизувати сучасні вимоги до енергоефективності електромашин, оглянути передові технічні рішення, що дозволяють досягати класів IE4 і IE5, акцентуючи увагу на їх практичному впровадженні.

Основна частина. Нормативною основою для класифікації електродвигунів за рівнем енергоефективності є міжнародний стандарт IEC 60034-30-1:2014, який встановлює чотири класи для мережевих трифазних асинхронних двигунів потужністю від 0,12 до 1000 кВт [2, с. 15]:

- IE1 (Standard Efficiency) – стандартна ефективність;
- IE2 (High Efficiency) – підвищена ефективність;
- IE3 (Premium Efficiency) – преміальна ефективність;
- IE4 (Super Premium Efficiency) – супер-преміальна ефективність.

Вимоги до ККД зростають зі збільшенням класу в середньому на 1–2,5 абсолютних відсотки залежно від потужності та кількості полюсів. Слід зазначити, що стандарт IEC 60034-30-2 (Technical Specification) уже вводить клас IE5 для майбутніх преміальних машин, хоча поки що не має статусу обов'язкового. Характерно, що найбільшу користь від підвищення класу досягається для двигунів малої та середньої потужності — саме тих, які становлять абсолютну більшість у використанні. Наприклад, у чотириполюсного двигуна потужністю 1,1 кВт номінальний ККД зростає з 75,0% для IE1 до 85,3% для IE4, що становить понад 10 відсотків; для 7,5 кВт — з 87,7% до 92,6% відповідно; а для 110 кВт різниця між IE1 (94,1%) та IE4 (96,4%) становить лише 2,3 відсотки [2, с. 18–22].

Запровадження цих класів у законодавче поле різних країн відбувалося поетапно. У Європейському Союзі основою став Регламент Комісії (ЄС) № 640/2009 [3, с. 26–34]. Згідно з ним, з 2011 року всі нові двигуни мали відповідати щонайменше класу IE2, з 2015 року для двигунів 7,5–375 кВт став обов'язковим IE3, а з 2017 року вимога IE3 поширилася на весь діапазон 0,75–375 кВт (або IE2

у комплекті з частотним перетворювачем) [3, с. 30–31]. Україна приблизила своє законодавство до європейського, ухваливши Технічний регламент щодо вимог до екодизайну для електродвигунів, затверджений Постановою КМУ № 157 від 27.02.2019 р. [4, с. 2]. Відповідно до нього, з 2021 року заборонено постачати на ринок двигуни класом нижче ІЕ3 для згаданого діапазону потужностей [4, с. 5].

Економічний ефект від переходу на вищі класи є беззаперечним. Простий розрахунок для двигуна потужністю 15 кВт із напрацюванням 6000 годин на рік показує: різниця в ККД між ІЕ1 (89,4%) та ІЕ3 (92,1%) становить 2,7 відсотки. Це створює заощадження близько 1450 кВт·год електроенергії на рік [5, с. 2795]. За середньої промислової ціни електроенергії термін окупності різниці у вартості двигунів зазвичай не перевищує 1,5–2 років, після чого двигун генерує чистий прибуток. У масштабах великого підприємства з парком у 500–1000 двигунів мова йде про мільйони гривень щорічної економії [5, с. 2798].

Для досягнення класів ІЕ3, ІЕ4 та перспективного ІЕ5 необхідне впровадження комплексу заходів в проектуванні, при виборі матеріалів і способів виробництва.

Перехід від алюмінію до міді для обмотки ротора короткозамкнених двигунів (технологія литої мідної клітки) дозволяє знизити опір ротора на 40%, значно зменшуючи втрати в роторі (на 15–25%) [7, с. 410]. Одночасно застосовують технологію високощільної намотки (hairpin winding), яка збільшує коефіцієнт заповнення паза з 45–50% до 75–80%. Це дозволяє вкласти більше міді в той самий об'єм, знизивши густину струму та опір обмотки статора [8, с. 345]. Одним із найдієвіших інструментів зниження магнітних втрат є заміна традиційної кремнієвої сталі на аморфні магнітні сплави (наприклад, Metglas 2605SA1). Аморфний стан відзначається відсутністю кристалічної структури, що кардинально зменшує втрати на гістерезис. Питомі втрати в аморфній стрічці товщиною 0,025 мм при 1,5 Тл і 50 Гц становлять менш як 0,5 Вт/кг, що в 7–10 разів менше, ніж у стандартної сталі [6, с. 2]. Двигуни з аморфними осердями демонструють зниження сумарних втрат у сталі до 80%. Компромісним варіантом, що поєднує нижчу вартість і високу технологічність, є висококремнієва сталь із вмістом кремнію 6,5%, яка також має низьку магнітострикцію та прийнятні питомі втрати [6, с. 3]. Сучасне комп'ютерне моделювання (скінченно-елементний аналіз) дозволяє з високою точністю оптимізувати форму зубця, паза, довжину пакета, повітряний зазор та конфігурацію ротора. Наприклад, збільшення активної довжини сталі на 20–30% дозволяє знизити магнітну індукцію в осерді, зменшивши питомі втрати в сталі майже пропорційно квадрату індукції [7, с. 420]. Використання багатополюсних схем (6- або 8-полюсних) для низькооберткових застосувань дозволяє відмовитися від проміжних механічних редукторів, усуваючи додаткові механічні втрати [7, с. 85]. Традиційні вентилятори відбирають частину потужності з валу. Одним із виходів є рідинне охолодження (водяна сорочка на корпусі), яка ліквідує потребу в вентиляційних втратах, забезпечує значно кращий тепловідвід і дозволяє підвищити електромагнітне навантаження без перегріву. Це обґрунтовує можливість зменшити габарити двигуна при тій самій потужності. Іншим підходом є закриті двигуни без вентилятора (TENV), які розсіюють тепло лише через корпус із розвиненим оребренням. Такі двигуни ідеальні для запилених середовищ і забезпечують

відсутність вентиляційних втрат як клас, але мають недолік. Низьку ступінь навантаження [7, с. 365]. Використання частотного перетворювача (ЧП) відкриває два шляхи економії: по-перше, регулювання швидкості дозволяє реалізувати принципи гідравлічної та аеродинамічної афінності (для насосів і вентиляторів потужність пропорційна кубу швидкості, тому зниження швидкості на 20% дає економію до 50%); по-друге, оптимізоване керування (векторне, бездатчикове) мінімізує струм намагнічування. Синергія виявляється у використанні двигунів на постійних магнітах (PMSM) або синхронних реактивних двигунів (SynRM), які безпосередньо живляться від перетворювача. Такі машини не мають втрат у роторі, що дозволяє досягати рівня IE5. Крім того, сучасні ЧП із активним випрямлячем зменшують гармонічне забруднення мережі та додаткові втрати в двигуні [5, с. 2797].

Виокремлюючи головне, жоден окремий напрям не здатен дати різкий стрибок у ефективності, тоді як поєднання мідних обмоток, покращеної сталі, оптимізованої геометрії та векторного перетворювача забезпечує синергічне зростання ККД на 5–7 відсотків.

Перехід від теоретичних розробок до масового виробництва вже відбувся. Яскравим прикладом є *синхронний реактивний двигун із ротором без магнітів класу IE5*, представлений компанією ABB (серія SynRM IE5). За відсутності струмів у роторі та завдяки оптимізованій геометрії бар'єрів магнітного потоку такий двигун демонструє на 40% нижчі сумарні втрати порівняно з двигуном IE3 еквівалентної потужності. Двигуни успішно застосовуються в парі з частотними перетворювачами для насосів систем водопостачання, повітродувки та компресорів. На одному з водоочисних комплексів Фінляндії заміна 110-кіловатного двигуна IE2 на SynRM IE5 із перетворювачем дала змогу зменшити річне споживання електроенергії на 22%, а термін окупності склав лише 14 місяців.

Одним з важливих напрямів є *асинхронні двигуни з литою мідною кліткою ротора*. Компанії Siemens та SEW-Eurodrive пропонують серії двигунів класу IE4, у яких застосовано мідний ротор, виготовлений за технологією лиття під тиском. Це дозволило зменшити втрати в роторі на 20% і підвищити загальний ККД до позначок IE4 без використання дорогих постійних магнітів [7, с. 412]. Такі двигуни є прямою заміною для стандартних асинхронних двигунів у загальнопромислових приводах – від конвеєрів до компресорів.

Окремо хочеться згадати гібридні технології – лінійні стартерні двигуни з постійними магнітами (LSPM), що поєднують прямий пуск від мережі з ефективністю, близькою до IE4/IE5. Вони вже знаходять застосування в нафтогазовому секторі, де потрібна висока надійність і робота без перетворювача частоти.

Висновки. Світовий парк електродвигунів усе ще на 60% складається з машин низьких класів IE1, що становить гігантський потенціал економії – понад 20% поточного споживання, або більше 1 300 ТВт·год на рік. Міжнародні стандарти та локальні регламенти (включно з українським Технічним регламентом) встановили мінімальний рівень IE3 для нових двигунів, що стимулює модернізацію, проте наступним кроком має стати поступове

впровадження вимог до класу ІЕ4. Практичний досвід впровадження SynRM-двигунів та асинхронних двигунів з мідним ротором довів їх надійність, швидку окупність (1,5–2 роки) та екологічну ефективність завдяки скороченню викидів CO₂. В умовах енергетичної нестабільності України та курс на євроінтеграцію робить безальтернативним рух до енергоефективних технологій. Підприємствам необхідно вже сьогодні проводити енергоаудит парку двигунів для пріоритезації заміни на більш енергоефективні машини.

Список використаних джерел

1. International Energy Agency (IEA). *Energy Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. – Paris: IEA, 2011. – 128 p.
2. IEC 60034-30-1:2014. *Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)*. – International Electrotechnical Commission, 2014.
3. Commission Regulation (EC) No 640/2009 of 22 July 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for electric motors // *Official Journal of the European Union*. – L 191, 23.07.2009. – P. 26–34.
4. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до екодизайну для електродвигунів» від 27 лютого 2019 р. № 157 // *Офіційний вісник України*. – 2019. – № 24. – Ст. 867.
5. Ferreira F.J.T.E., De Almeida A.T. Overview on energy saving opportunities in electric motor driven systems // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 2016. – Vol. 52, No. 4. – P. 2791–2799.
6. Kolano R., Kolano-Burian A., Szymowski J. et al. Application of rapidly quenched soft magnetic materials in energy-saving electric equipment // *IEEE Transactions on Magnetics*. – 2014. – Vol. 50, No. 4. – P. 1–4.
7. Pyrhönen J., Jokinen T., Hrabovcova V. *Design of Rotating Electrical Machines*. – 2nd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2014. – 612 p.

УДК 625.332

Грінченко Р.О.

асистент кафедри

гідротехнічного будівництва; водної та електричної інженерії

Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон

hrinchenko_r@ksaev.kherson.ua

Гранулометричний склад гідротехнічного бетону за граничними кривими

Вступ. На даному етапі не можливо уявити сучасне будівництво гідротехнічних споруд без використання важких бетонів класів В30..В40. Приготування цементобетонних сумішей таких класів потребує використання на заводах якісних кам'яних матеріалів. Проте, обладнання багатьох кам'яно-дробильних заводів вже вичерпало свій ресурс, і тому доводиться використовувати кам'яні матеріали, які не відповідають тим чи іншим показникам. Так розповсюдженим недоліком кам'яних матеріалів є невідповідність зернового складу вимогам стандартів, що веде до монофракційності та його високої пустотності. Важливим фактором, що погіршує фізико-механічні властивості цементобетону є використання дрібних пісків. Тому для досягнення необхідних експлуатаційних показників цементобетону доводиться збільшувати вміст в'язучого, а також хімічних добавок, що не може не відбитись на вартості продукції.

Основна частина. Покращити якість цементобетонної суміші можна за рахунок використання на цементобетонних заводах кам'яних матеріалів декількох видів. Останнім часом для приготування цементобетонної суміші на підприємствах все більше використовуються сучасні заводи, що мають від чотирьох і більше бункерів живлення кам'яних матеріалів. Але, як показує практика на таких заводах використовується не більше трьох бункерів. Це обумовлено тим, що найрозповсюджений метод розрахунку складу цементобетонної суміші (абсолютних об'ємів) дає можливість розрахувати співвідношення між одним дрібнозернистим заповнювачем та одним крупнозернистим заповнювачем і не дає відповідь як розрахувати співвідношення, якщо використовувати більше ніж два наповнювача в суміші.

Ведуться роботи спрямовані на пошук методики розрахунку співвідношення між різними наповнювачами, що дозволить оптимізувати склад цементного бетону за рахунок використання трьох, чотирьох і більше видів заповнювачів. Як показав аналіз робіт, які велися і ведуться в даному напрямку, для отримання непереривчатого гранулометричного складу можна використати принцип розрахунку кривої просіювання, який базуються на використанні коефіцієнту збігу. Коефіцієнт збігу ($K_{зб}$) - величина, що показує в скільки разів маса наступної Y_n , фракції наповнювача менша за попередню Y_{n-1} :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{Y_3}{Y_2} = \dots = \frac{Y_n}{Y_{n-1}}$$

Знаючи кількість фракцій (N) та коефіцієнт збігу можна визначити кількість першої фракції:

$$Y_1 = \frac{1 - K_{зб}^N}{1 - K_{зб}} \cdot 100$$

Перший етап досліджень передбачав перевірку даної методики на зразках бетону. Для дослідження впливу гранулометричного складу цементобетонної суміші на фізико-механічні характеристики бетону було заформовано чотири склади, з різним коефіцієнтом збігу 0,7; 0,8; 0,9, а також контрольний склад, розрахований за ДСТУ. За рівняннями була розрахована та заготовлена необхідна кількість кожної фракції, щоб заформувати відповідну кількість зразків бетону. Відсотковий вміст кожної фракції наповнювача наведено в таблиці 1

В усіх складах було прийнято однакову кількість цементу (390 кг/м^3) та води (183 л/м^3). Під час формування, зразки бетону всіх складів вібрувались однаковий час. Дослідження проводилися на зразках розміром $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$. Зразки бетону тверднули на протязі 28 діб при температурі $+18 \dots 22^\circ\text{C}$ і відносній вологості повітря $55 \dots 70\%$.

$K_{зб}$	Вміст, %, зерен мінерального матеріалу розміром, мм								
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
0,7	31,26	21,88	15,32	10,72	7,51	5,25	3,68	2,57	1,80
0,8	23,10	18,48	14,78	11,83	9,46	7,57	6,06	4,84	3,88
0,9	16,32	14,69	13,22	11,90	10,71	9,64	8,68	7,81	7,03

Таблиця 1. Вміст кожної фракції для різних коефіцієнтів збігу

Під час випробування у зразків цементного бетону були визначені наступні показали (таблиця 2):

Склад	контроль	$K_{зб}=0,7$	$K_{зб}=0,8$	$K_{зб}=0,9$
Щільність, кг/м^3	2372	2399	2402	2355
Міцність на стиск, МПа	38,3	43,4	42,2	41,6
Осадка конусу, см	2	3	6	4

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості

З отриманих даних видно, що міцність зразків бетону, склад яких був розрахований за коефіцієнтом збігу, зросла від 8,6% до 13% в порівнянні з контрольним складом. Підвищення міцності для даних зразків обумовлене тим, що під час навантаження зусилля більш рівномірно розподіляється між складовими цементного бетону, а також зменшенням відкритої пористості зразків бетону, про що свідчить водопоглинення зразків (рисунок 1).

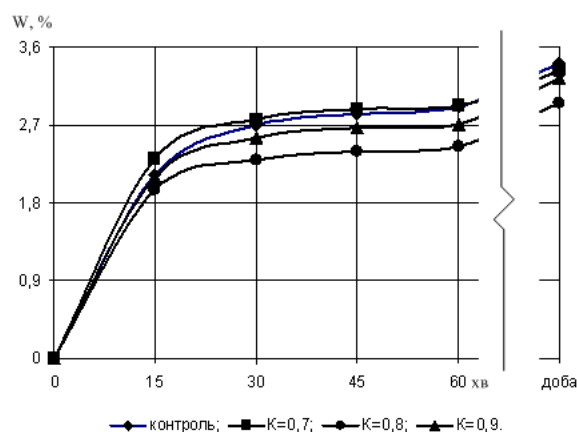


Рисунок 1. Водопоглинення зразків бетону

Підвищення міцності зразків з $K_{зб}=0,7$ (в порівнянні з контрольними) викликано появою контактної структури, яка утворена в наслідок великої кількості крупного заповнювача. В якості якого прийнятий щебінь з міцних гірських порід, модуль пружності якого вище модуля деформації цементно-піщаного розчину і тому при дії навантаження зусилля через тонкі прошарки

цементного розчину концентрується на більш твердих елементах структури, тобто на зернах великого заповнювача.

Недоліком такої структури є наявність великої кількості пор розміром від 5 до 1 мм (рисунок 1), які утворились в наслідок того, що цементно-піщаному розчину під час вібрування, важко проникнути між крупними агрегатами.

З таблиці видно, що підвищення міцності для зразків з $K_{36}=0,9$, в порівнянні з контрольними зразками, становить найменший показник - 8,6%. Дані зразки містять велику кількість піщаної фракції, що веде до збільшення товщини прошарків розчину між зернами крупного заповнювача, яке викликає зменшення ступеня концентрації зусиль в контакті зерен, зменшуючи несучу здатність елементів структури, а, отже і міцність бетону.



Рисунок 1. Пори у структурі бетону з $K_{36}=0,7$

Висновок. Отримані результати підтверджують перспективність використання методики підбору гранулометричного складу за коефіцієнтом збігу для оптимізації складу гідротехнічного бетону та підвищення його експлуатаційних характеристик.

Аналітичні та проведені дослідження дають можливість розрахувати граничні криві для розрахунку гранулометричного складу цементобетонної суміші. Для сумішей з пластичністю П1-П2 граничні криві повинні бути з коефіцієнтом збігу від 0,7 до 0,8, а для сумішей з пластичністю П3-П4 для граничних кривих необхідно приймати коефіцієнт збігу від 0,8 до 0,9.

Впровадження методики розрахунку гранулометричного складу за граничними кривими дає можливість отримати раціональний гранулометричний склад цементного бетону за рахунок використання чотирьох і більше видів заповнювачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДСТУ Б В.2.7-215:2009 Бетони. Правила підбору складу. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 14 с.
2. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л. Проектування складів бетонів : монографія. – Рівне : НУВГП, 2015. – 353 с.
3. Сопов В. П., Сінякін Д. А., Кабусь А. В. Бетони для зведення гідротехнічних споруд // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Т. 91, №1. – С. 165–169.
4. Шпирько М. В., Дубов Т. М., Гришко Г. М. та ін. Гідротехнічний бетон з покращеними фізико-механічними властивостями // Гідротехнічне будівництво: минуле, сьогодення, майбутнє : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених. – Херсон : ХДАЕУ, 2021. – С. 54–56.

5. Руденко Д. В. Фізико-хімічні основи технології модифікованого бетону для споруд спеціального призначення : монографія. – Дніпро : Герда, 2018. – 344 с.
6. Постолатій М. О., Бурлаков В. П., Ковальський В. П. Гідротехнічний бетон для воднотранспортних мереж // Матеріали наукових досліджень. – Вінниця : ВНТУ, 2020.

УДК 631.67:556.3:631.81

Турченко В.О.

д.т.н., професор, завідувач кафедри водної інженерії та водних технологій

Кропивко С.М.

*к.т.н., доцент, доцент кафедри водної інженерії та водних технологій
Національний університет водного господарства та природокористування,*

м. Рівне

v.o.turchenik@niwm.edu.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИДУНАЙСЬКИХ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ З МЕТОЮ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ РИСУ ДРЕНАЖНО-СКИДНИХ ВОД

Вступ. Сучасне науково обґрунтоване зрошуване землеробство повинно забезпечувати отримання постійно високих врожаїв сільськогосподарських культур при умові раціонального використання енергетичних та водних ресурсів за умови збереження навколишнього природного середовища та родючості ґрунтів. Технологія вирощування рису, в порівнянні з вирощуванням інших сільськогосподарських культур, потребує суттєво більших витрат води та енергетичних ресурсів. В умовах змін клімату особливої актуальності набуває проблема раціонального використання прісної води. Одним з шляхів економії прісних вод є зменшення їх подачі за рахунок використання для зрошення дренажно-скидних вод (ДСВ) шляхом застосування технології повторного використання цих вод для поливу рису. Така технологія потребує в першу чергу певних особливостей конструкції рисової системи, а також технології подачі ДСВ для поливу рису, яка б не приводила до засолення рисових полів. Нижче ми якраз і розглянемо ці питання для умов рисових систем дельти Дунаю.

Основна частина. Так як в Україні переважно практикується вирощування культури затоплюваного рису, для цього необхідно будівництво рисових зрошувальних систем (РЗС), конструкція яких суттєво відрізняється від конструкції зрошувальних систем, де застосовується полив дощуванням. В Україні рисові зрошувальні системи були побудовані в Криму, а також в Херсонській та Одеській областях. Після агресії Росії рисові системи залишились тільки в Одеській області в дельті Дунаю (Придунайські РЗС).

Особливістю Придунайських РЗС є те, що вони знаходяться на обвалованих територіях і на них, як подача води на зрошення з річки Дунай, так і відведення ДСВ за межі кожної з рисових систем у Дунай здійснюється насосними станціями

Тому, як для подачі води на зрошення, так і для відведення ДСВ щорічно витрачаються значні енергоресурси.

В міжнародній та вітчизняній практиці рисосіяння на сьогоднішній день накопичений певний досвід з ефективного використання ДСВ рисових систем. Як показують дослідження, для більшості рисових систем використання ДСВ на полив в перші роки їх експлуатації не є можливим. Це пояснюється, як правило, значною мінералізацією ДСВ і незадовільними їх якісними показниками, оскільки у початковий період експлуатації систем процес розсолення проходить найбільш інтенсивно. Після кількох років правильної в меліоративному і агротехнічному відношенні експлуатації рисової системи, на ній настає відносно стійка рівновага між кількістю солей, які надходять у балансовий шар ґрунту і тими, які відводяться з ДСВ. У цей період експлуатації системи ДСВ можна використовувати для зрошення як змішуючи з прісною водою в різних співвідношеннях, так і без розбавлення.

При використанні ДСВ з рисових полів необхідно врахувати, що хімічний склад цих вод формується за рахунок змішування прісних скидних вод з мінералізованими ґрунтовими, які дренуються колекторно-дренажною мережею. Залежно від співвідношення прісних вод та ДСВ у водах, що подаються на зрошення, може змінюватися як їх мінералізація, так і хімічний склад. Тому, перед тим як використовувати скидні води з рисових полів для повторного використання їх для зрошення, необхідно вивчити їх хімічний склад і його зміну в часі.

На сьогоднішній день в меліоративній практиці виділяють такі основні прийоми використання ДСВ рисових систем для зрошення рису: *повторне використання без розбавлення стоку; повторне використання з розбавленням стоку зрошувальною водою; повторне використання ДСВ із подачею у зрошувальні канали; часткове зворотне використання ДСВ.*

Повторне використання води без розбавлення стоку полягає в тому, що стік з рисового чека, який зрошується прісною водою подається на нижче розташований чек. Допустима мінералізація ДСВ при такому її використанні не повинна перевищувати 1г/л. При цьому необхідно здійснювати оперативний контроль мінералізації води, яка повторно подається на зрошення, а також зміни мінералізації води в другому чеку. Невиконання цієї вимоги може бути причиною зниження врожайності рису, бо він має слабку солестійкість. В Україні ця технологія не застосовується.

Повторне використання ДСВ із розбавленням їх зрошувальною водою полягає в тому, що зрошувальна вода на першу ділянку подається прісною, стік з неї, розбавлений прісною водою, поступає на нижче розташовану другу ділянку; стік з другої, так само розбавлений, подається на третю ділянку і т. д. В умовах рисових систем України цей прийом не є перспективним через їх конструктивні особливості, які не дозволяють проводити розбавлення ДСВ на різних ділянках системи.

Повторне використання ДСВ із подачею у зрошувальні канали полягає в тому, що на зрошувальній системі виявляють точки, в яких можливо і доцільно перекачувати воду із колекторів в рисові зрошувальні канали. Цей прийом є ефективним у випадку, коли на рисовій системі досягнуто високий рівень автоматизації міжгосподарського і внутрішньогосподарського водорозподілу, і

при цьому здійснюється контроль за мінералізацією води, яка повторно використовується і змішується з прісною водою.

Часткове зворотне використання ДСВ найбільш перспективне і найбільше підходить для застосування на Придунайських рисових зрошувальних системах. Цей прийом полягає в акумуляції ДСВ в ставках-накопичувачах або водосховищах з подальшою подачею води по мірі споживання в голову системи у зрошувальний розподільчий канал. Після змішування в каналі з водою, яка забирається з річки або водосховища, потік направляється на зрошення. Така система оснащена засобами автоматизації водорегулювання, контролю і зв'язку, дає можливість управляти процесом і забезпечує максимально ефективне використання ДСВ рисових систем. Застосування такого прийому потребує певних особливостей конструкції рисової системи, які залежать від топографічних особливостей території, на якій розміщена система, відстані від системи до джерела зрошення, режиму РГВ на системі та деяких інших факторів.

Проведені нами багаторічні дослідження на Придунайських РЗС показали, що навіть за оптимальної зрошувальної норми з кожного гектара посівів рису в колекторно-дренажну мережу стабільно потрапляє 6...10 тис. м³ води з мінералізацією менше 2 г/л. Нами встановлено, що підвищена мінералізація ДСВ спостерігається переважно при початковому затопленні рисових полів і в період після збирання врожаю. Враховуючи те, що на початку вегетації культура рису є досить чутливою до поливу водою підвищеної мінералізації, в цей період використання дренажно-скидних вод для зрошення рису є не бажаним, краще ці води скидати за межі рисової системи. Також бажано скидати за межі системи досить мінералізовані дренажні води, які формуються на рисовій системі в осінньо-зимовий період. Тому на Придунайських системах існують насосні станції для перекачування дренажно-скидних вод в річку Дунай.

Нами встановлено, що протягом майже всього зрошувального періоду (після початкового затоплення і до скидання вод з рисових чеків перед збиранням врожаю) мінералізація дренажно-скидної води не перевищує 3 г/л (максимальне значення) і коливається в основному від 0,6 до 1,7...1,8 г/л. Виходячи з результатів наших досліджень така вода може повторно подаватись на зрошення рису після змішування її з прісною річковою водою у співвідношенні 1:1, або 1:2. Завдяки цьому, по-перше, зменшується забруднення джерела зрошення біогенними елементами та залишками гербіцидів й інсектицидів, що повністю не розклались, по-друге, відпадає необхідність у перекачуванні значної кількості прісної води для поливів рису, що дозволяє суттєво економити прісну воду та електроенергію.

Нами пропонується конструкція рисової системи (рис.1), яка дасть змогу суттєво економити енергетичні та матеріальні ресурси, запобігати забрудненню природних водних джерел дренажно-скидними водами рисових систем, які мають підвищену мінералізацію та містять токсичні хімічні сполуки.

За такої схеми ДСВ з дренажно-скидної мережі по головному скидному каналу 8 надходять в басейн 7, з якого по низьконапірному трубопроводу 10 пересувною насосною станцією 9 подаються в басейн-накопичувач 11. В басейні-накопичувачі відбувається змішування дренажно-скидних вод з прісними водами які в нього подаються насосною станцією 1. Підготовлена таким чином вода подається самопливом в розподільчий канал 12 з якого поступає на рисові чеки для зрошення рису та супутніх культур рисової сівозміни. Розбавлення дренажно-

скидних вод здійснюється в басейні-накопичувачі в певному співвідношенні за витратами насосних станцій 1 та 9. При технологічній необхідності, для відводу дренажних вод підвищеної мінералізації при початковому затопленні та в осінньо-зимовий період, від насосної станції 9 прокладається низьконапірний трубопровід 13 для скидання надлишкових дренажно-скидних вод в річку Дунай.

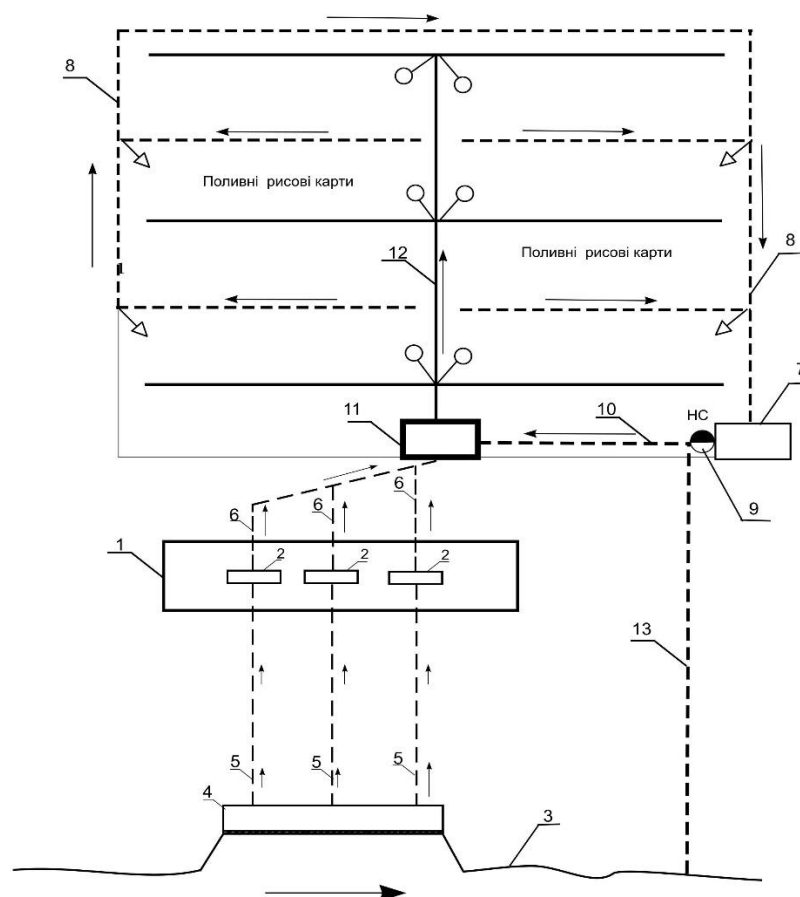


Рисунок 1. Схема водооборотної рисової системи: 1-насосна станція 1; 2-насоси ; 3- річка Дунай ; 4- водозабір прісної води; ; 5- водопідвідні трубопроводи ; 6- напірні трубопроводи ; 7- басейн для накопичення дренажно-скидних вод; 8-головний скидний канал; 9- пересувну насосна станція для перекачування дренажно-скидних вод; 10- низьконапірний трубопровід для перекачування дренажно-скидних вод на зрошення; 11- басейн-накопичувач для змішування прісних та дренажно-скидних вод; 12- розподільчий канал рисової системи; 13- низьконапірний трубопровід для скидання надлишкових дренажно-скидних вод в річку Дунай.

Висновки. Запропонована конструкція водооборотної рисової системи дає змогу економити енергетичні ресурси при перекачуванні дренажно-скидних вод та економити матеріальні ресурси на придбання додаткового насосно-силового обладнання та влаштування додаткових інженерних комунікацій, а також дозволяє суттєво економити водні ресурси. Впроваджувати запропоновану водооборотну рисову систему можна при реконструкції існуючих Придунайських РЗС та при будівництві нових систем в цьому регіоні.

УДК 504.4:556.18

Герус А.Р.

асистент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон
herus_a@ksaeu.kherson.ua*

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Вступ. Інтегроване управління водними ресурсами є одним із ключових напрямів сучасної екологічної та водогосподарської політики України. Його актуальність для Херсонської області зумовлена посушливими природно-кліматичними умовами, значною залежністю регіону від зрошення, дефіцитом водних ресурсів та посиленням негативного впливу кліматичних змін. Додатковим чинником погіршення водогосподарської ситуації стало руйнування Каховської ГЕС, що спричинило суттєві зміни водного балансу та порушення функціонування систем водопостачання і зрошення.

У цих умовах ефективно управління водними ресурсами потребує переходу до басейнового підходу, врахування екологічних, економічних і соціальних аспектів водокористування, а також адаптації європейського досвіду до регіональних умов.

Основна частина. Впровадження інтегрованого управління водними ресурсами в Україні здійснюється відповідно до європейських підходів у сфері водної політики. Зокрема, Україна імплементує шість ключових директив Європейського Союзу, серед яких Водна рамкова директива, директива про очищення міських стічних вод, директива про нітрати, директива про оцінку та управління ризиками затоплення, директива про морську стратегію та директива про питну воду. У сукупності ці документи визначають сучасні стандарти якості води, екологічного моніторингу та управління водними ресурсами.

Національна система водної політики базується на басейновому принципі управління, закріпленому у Водному кодексі України. Відповідно до нього управління водними ресурсами здійснюється в межах річкових басейнів, що дає змогу враховувати природні межі водних систем, екологічні зв'язки та забезпечувати узгодження рішень між різними водокористувачами. У реалізації цієї політики важливу роль відіграють Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державне агентство водних ресурсів, Державна служба геології та надр України, Державна екологічна інспекція, а також органи місцевого самоврядування і комунальні підприємства.

Варто підкреслити, що інтегроване управління водними ресурсами суттєво відрізняється від традиційного підходу раціонального використання води. Якщо останній переважно орієнтований на економію та ефективність ресурсів, то ІУВР передбачає довгострокове планування, збереження водних екосистем, підтримання екологічного балансу та узгодження екологічних, економічних і

соціальних інтересів. У цьому контексті особливої ваги набуває участь стейкхолдерів у процесах прийняття рішень.

Додатковим орієнтиром для розвитку політики є сучасні європейські ініціативи. Так, у 2024 році Європейська комісія ухвалила документ щодо управління річковими басейнами в умовах зміни клімату, спрямований на підтримку регіонів, що зазнають впливу посух, повеней та дефіциту води. Для Херсонської області ці рекомендації є особливо актуальними з огляду на складні кліматичні умови та високий рівень водогосподарських ризиків.

Географічні та природні особливості регіону додатково підсилюють необхідність таких підходів. Херсонська область характеризується посушливим кліматом, нерівномірним розподілом опадів і обмеженою кількістю природних водотоків. Основу гідрографічної мережі становить річка Дніпро разом із системою каналів і зрошувальних мереж, що формує високий рівень залежності регіону від дніпровських вод.

На стан водних ресурсів одночасно впливають як природні, так і антропогенні чинники. З одного боку, спостерігається підвищення температури повітря, зростання частоти посух і зменшення водності. З іншого — значне навантаження створюють водозабір для аграрного виробництва, функціонування меліоративних систем і промислові процеси. Особливо критичним фактором стала руйнування Каховської ГЕС, що призвело до дестабілізації всієї водогосподарської системи регіону. Втрата ключового джерела зрошення та порушення інфраструктури суттєво погіршили стан водної безпеки області. Водночас дані щодо підземних вод свідчать про потенційну можливість їх більш активного використання за умов належного моніторингу та контролю.

У системі інтегрованого управління водними ресурсами важливу роль відіграють стейкхолдери. До основних груп належать сільське господарство, комунально-господарська сфера, промисловість, енергетика, природоохоронні структури, органи державної влади та місцевого самоврядування. При цьому найбільшим споживачем води в Херсонській області залишається аграрний сектор, що зумовлено значною площею зрошуваних земель. Ефективне управління в таких умовах неможливе без координації дій між усіма групами водокористувачів, особливо в контексті воєнних викликів та необхідності відновлення водогосподарської інфраструктури.

Стратегічні напрями розвитку інтегрованого управління водними ресурсами включають відновлення природних водних екосистем, удосконалення басейнового планування, розвиток систем моніторингу та підготовку планів управління річковими басейнами. Окремо слід відзначити впровадження принципу «відбудова краще, ніж було», який передбачає відбудову водогосподарської системи на більш сучасних і стійких засадах.

Не менш важливими є заходи з адаптації до змін клімату, впровадження сучасних технологій зрошення, модернізації систем водопостачання та водовідведення, а також розвиток сталого землекористування. Адже деградація ґрунтів, ерозійні процеси та засолення безпосередньо впливають на водний режим і якість водних ресурсів.

У цьому контексті доцільним є також використання міжнародного досвіду, зокрема практик Нідерландів у сфері басейнового управління, цифрового моніторингу та екосистемного підходу до відновлення водних об'єктів. Такий

підхід дозволяє поєднати наукові методи оцінювання водних ресурсів із сучасними європейськими практиками управління водною сферою.

Висновки. Інтегроване управління водними ресурсами є необхідною умовою забезпечення водної безпеки та сталого розвитку Херсонської області. Низький рівень природної водозабезпеченості, кліматичні зміни, значне антропогенне навантаження та наслідки руйнування Каховської ГЕС зумовлюють потребу переходу до комплексного басейнового підходу управління водними ресурсами.

Ефективна система управління повинна базуватися на принципах сталого розвитку, екологічної безпеки, модернізації водогосподарської інфраструктури та координації взаємодії між усіма групами стейкхолдерів. Використання сучасних європейських підходів і адаптація міжнародного досвіду створюють основу для формування ефективної моделі післявоєнного відновлення водної системи Херсонської області.

Список використаних джерел

1. Progress on implementation of Integrated Water Resources Management Mid-term status of SDG Indicator 6.5.1 and acceleration needs, with a special focus on Climate Change (2024). United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-4171-1.
2. Екологічний паспорт Херсонської області за 2023 рік. Херсонська обласна військова адміністрація. 2024. 169 с.
3. Знищення Каховського водосховища: наслідки для довкілля / упоряд. В.В. Колодежна, О.В. Василюк. Чернівці : Друк Арт, 2025. 112 с.
4. План управління річковим басейном Дніпра на 2025–2030 роки. Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1077.

УДК 531.55-022.56

Заводяний В.В.

к.ф.-м.н., доцент кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії

*Херсонський державний аграрно-економічний університет, Херсон
zavodiannyi_v@ksaeu.kherson.ua.,*

РУХ ТІЛА ЗМІННОЇ МАСИ В ПОЛІ ТЯЖІННЯ ЗЕМЛІ.

УМОВА ЗЛЬОТУ РАКЕТИ

Анотація: У роботі розглядається механіка руху тіл змінної маси в однорідному та центральному полі тяжіння Землі. Виведено та проаналізовано рівняння Мещерського, формулу Цюлковського та умову зльоту ракети з урахуванням сили тяжіння і реактивної тяги. Розглянуто вплив гравітаційних втрат на ефективність ракетних систем.

Ключові слова: тіло змінної маси, рівняння Мещерського, реактивна сила, формула Цюлковського, умова зльоту, гравітаційні втрати, ракетна динаміка.

1. Вступ

Класична механіка Ньютона базується на припущенні про постійність маси матеріальної точки. Однак у багатьох реальних задачах — рух ракет, реактивних літаків, небесних тіл, що випаровуються, — маса системи змінюється з часом. Вивченням таких систем займається *механіка тіл змінної маси*, фундаментальний внесок у розвиток якої зробили І. В. Мещерський та К. Е. Ціолковський [1].

Особливого значення ця теорія набуває при аналізі руху ракет у полі тяжіння Землі, де необхідно враховувати одночасний вплив гравітаційних сил та реактивної тяги [2]. Питання про мінімальну тягу двигуна, необхідну для відриву ракети від стартового майданчика, є принципово важливим для ракетно-космічної техніки.

2. Рівняння Мещерського

Нехай у момент часу t тіло має масу m і швидкість v . За малий проміжок часу dt тіло відокремлює від себе масу $|dm|$ зі швидкістю u відносно тіла. Застосовуючи другий закон Ньютона до системи тіло + відокремлена маса і переходячи до границі, отримуємо *рівняння Мещерського* [3]:

$$m \cdot (dv/dt) = F + R,$$

де F — рівнодійна зовнішніх сил, $R = -u \cdot (dm/dt)$ — реактивна сила (сила віддачі). Знак мінус пов'язаний з тим, що при зменшенні маси тіла ($dm/dt < 0$) реактивна сила спрямована в бік, протилежний швидкості витікання газів [3].

Якщо розглядати рух у полі тяжіння Землі і нехтувати опором атмосфери, то $F = mg$ (де вісь спрямована вертикально вниз), і рівняння набуває вигляду:

$$m \cdot (dv/dt) = mg - u \cdot |dm/dt|.$$

3. Рух ракети у вертикальному напрямку та формула Ціолковського

Розглянемо ракету, що рухається вертикально вгору. Позначимо через w швидкість витікання газів відносно ракети (швидкість відносного руху, $w > 0$). Тоді рівняння руху у проекції на вертикальну вісь (вгору — позитивний напрям):

$$m \cdot (dv/dt) = w \cdot |dm/dt| - mg.$$

У випадку, коли зовнішні сили відсутні ($g = 0$), рівняння спрощується до вигляду:

$$m \cdot dv = -w \cdot dm,$$

інтегрування якого від початкового стану (маса m_0 , швидкість 0) до кінцевого (маса m , швидкість v) дає *формулу Ціолковського* [4]:

$$v = w \cdot \ln(m_0 / m).$$

Ця формула є фундаментальною в ракетодинаміці: вона показує, що швидкість ракети визначається питомим імпульсом двигуна w та масовим числом m_0/m — відношенням початкової маси до кінцевої [4]. Із збільшенням цього відношення швидкість зростає логарифмічно, що пояснює багатоступеневу будову сучасних ракет-носіїв [5].

4. Умова зльоту ракети

Відривання ракети від стартового столу відбувається в момент, коли реактивна тяга F_m перевищує силу ваги ракети з повним запасом палива [2]. Реактивна тяга визначається як:

$$F_m = w \cdot |dm/dt| = w \cdot \mu,$$

де $\mu = |dm/dt|$ — витрата маси (секундна витрата палива). Умова зльоту при вертикальному старті:

$$F_m > m_0 \cdot g,$$

або у явному вигляді:

$$w \cdot \mu > m_0 \cdot g.$$

Таким чином, умова зльоту формулюється так: добуток питомого імпульсу двигуна на секундну витрату палива повинен перевищувати початкову вагу ракети [6].

5. Гравітаційні втрати та ефективність ракетних систем

У реальних умовах під час вертикального підйому ракета витрачає частину реактивної тяги на подолання сили тяжіння. Ця частина імпульсу, яка не перетворюється на кінетичну енергію, називається *гравітаційними втратами* [5]. Їх величина за час роботи двигуна T становить:

$$\Delta v_g = g \cdot T.$$

З метою мінімізації гравітаційних втрат сучасні ракети-носії здійснюють гравітаційний поворот — поступове нахилання траєкторії від вертикалі після початкового підйому. Це дозволяє зменшити проекцію сили тяжіння на вектор швидкості і підвищити ефективність виведення корисного навантаження на орбіту [6].

Для ракети з постійною тягою F_m і постійним питомим імпульсом $I_{уд}$ відношення тяга/вага у момент старту є ключовою характеристикою:

$$\eta = F_m / (m_0 \cdot g) > 1.$$

Зазвичай для ракет-носіїв це відношення становить 1,2–1,5. При значеннях, близьких до 1, час активної ділянки зростає, збільшуючи гравітаційні втрати. При надмірно великих значеннях — зростають аеродинамічні втрати у щільних шарах атмосфери [7].

6. Узагальнення: рух у центральному полі тяжіння

При виведенні на навколосемну орбіту необхідно враховувати, що поле тяжіння не є однорідним: прискорення вільного падіння змінюється з висотою за законом [1]:

$$g(r) = GM / r^2 = g_0 \cdot (R / r)^2,$$

де G — гравітаційна стала, M — маса Землі, R — радіус Землі, r — відстань від центру Землі. Для висот до ~ 100 км відхилення від значення на поверхні не

перевищує $\sim 3\%$, тому наближення однорідного поля є задовільним для нижніх ступенів [2].

Для виходу на кругову орбіту висотою h необхідна орбітальна швидкість:

$$v_{орб} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

Характеристична швидкість (ідеальний ΔV) складається з орбітальної швидкості та компенсації гравітаційних і аеродинамічних втрат. Типово для низької навколосемної орбіти сумарне ΔV становить близько 9–10 км/с [7].

7. Висновки

Рух тіла змінної маси у полі тяжіння Землі описується рівнянням Мещерського, яке узагальнює другий закон Ньютона на системи зі змінною масою. Ключовими результатами аналізу є:

- 1) формула Ціолковського пов'язує прирощення швидкості ракети з питомим імпульсом та масовим числом;
- 2) умова зльоту виконується, якщо реактивна тяга перевищує початкову вагу ракети;
- 3) гравітаційні втрати можна мінімізувати за допомогою гравітаційного повороту та оптимізації відношення тяга/вага;
- 4) облік центрального характеру поля тяжіння є необхідним при виведенні на орбіту та розрахунку характеристичної швидкості місії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кильчевский М. О. Курс теоретичної механіки. Т. 1. — К.: Вища школа, 1977. — 480 с.
2. Мещерський І. В. Рівняння руху точки змінної маси. — СПб: Вісник Петербурзького університету, 1897.
3. Ціолковський К. Е. Дослідження світових просторів реактивними приладами. — М.: Наука, 1954. — 232 с.
4. Лойцянский Л. Г., Лур'є А. І. Курс теоретичної механіки. Т. 2: Динаміка. — М.: Наука, 1983. — 640 с.
5. Сихарулідзе Ю. Г. Балістика і наведення літальних апаратів. — М.: Бинوم. Лабораторія знань, 2011. — 351 с.
6. Уманський С. П. Ракети-носії. Космодроми. — М.: Рестарт+, 2001. — 218 с.
7. Sutton G. P., Biblarz O. Rocket Propulsion Elements. — 8th ed. — New York: John Wiley & Sons, 2010. — 768 p.

УДК 504.453:621.311.21

Рагулін С.В., Коваленко С.В.

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ВПЛИВ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ: ЕКОЛОГІЧНИЙ БАЛАНС, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Вступ

Безсумнівно, порівняно з тепловими електростанціями (ТЕС), що працюють на органічному паливі, більш чистими з екологічної точки зору є електростанції, що використовують гідроресурси: тут повністю відсутні викиди в атмосферу золи, оксидів сірки та азоту. Це вкрай важливо, оскільки гідроелектростанції (ГЕС) досить поширені і посідають друге місце після ТЕС за обсягами світового виробництва електроенергії.

При цьому слід враховувати, що робота електростанцій цього типу пов'язана зі значними негативними змінами в навколишньому середовищі, які нерозривно пов'язані зі створенням гребель і водосховищ. Багато з цих змін досягають рівноваги з навколишнім середовищем через дуже тривалий час (десятиліття), що істотно ускладнює точний прогноз можливого впливу на екосистеми при проектуванні нових електростанцій.

1. Трансформація земельних ресурсів та геодинамічні ризики

Будівництво ГЕС безпосередньо пов'язане із затопленням та виведенням із обігу земельних ресурсів. Наразі у світі затоплено понад 350 тис. км² територій. До цього числа входять колосальні земельні площі, спочатку придатні для високоефективного сільськогосподарського використання та лісового господарства.

Крім прямого затоплення, гідровузли провокують супутні деструктивні процеси:

- **Заболочування та підтоплення:** У прибережній смузі водосховища кардинально змінюється рівень ґрунтових вод. Це призводить до підтоплення фундаментів, заболочування місцевості та повністю унеможливорює використання цих територій як сільськогосподарських угідь.

- **Абразія берегів:** Штучні коливання рівня води та вітрові хвилі викликають постійне обвалення та розмивання берегів. У результаті берегова лінія «відступає», поглинаючи нові ділянки суші.

- **Парадокс парникових газів:** Затоплена під час створення водосховища біомаса (ліси, чагарники, гумус) в анаеробних умовах починає гнити. Це призводить до виділення в атмосферу великих обсягів метану (CH₄) та

вуглекислого газу (CO₂). У перші роки експлуатації велика рівнинна ГЕС за своїм вуглецевим слідом може бути порівнянна з класичною ТЕС.

2. Зміна гідрологічного, термічного та льодового режимів річок

Для ГЕС характерна радикальна зміна природного гідрологічного режиму річок. Відбувається глобальний перерозподіл стоку, зміна рівневого, хвильового, термічного та льодового режимів.

- **Уповільнення водообміну:** Швидкості течії води у водосховищах можуть зменшуватися у десятки разів, а в окремих зонах водосховища можуть виникати повністю застійні ділянки (рис. 1).

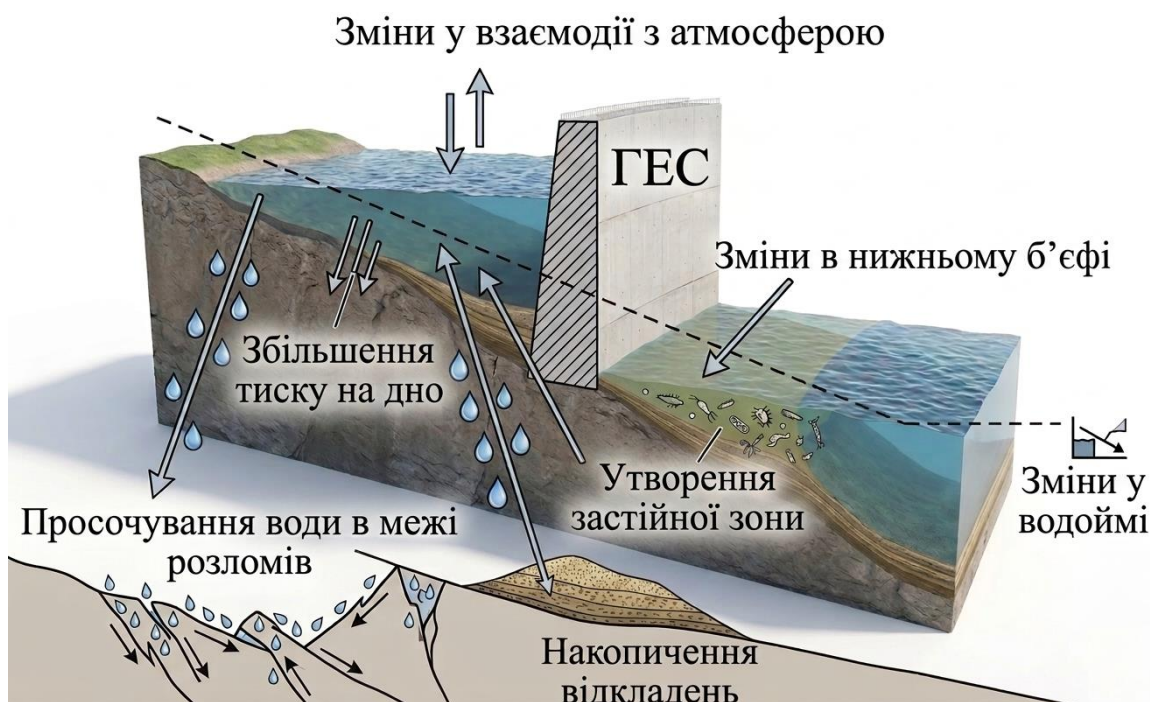


Рисунок 1. Схема комплексного впливу гідротехнічної споруди на суміжні середовища

- **Затримання твердого стоку (замулювання):**

Греблі затримують річковий мул і пісок (до 90 % наносів). Водосховище поступово замулюється, втрачаючи корисний об'єм, а нижче греблі річка тече «голодною». Позбавлений наносів потік починає інтенсивно розмивати власне русло, руйнуючи опори мостів і підмиваючи береги нижче за течією.

- **Теплове забруднення та незамерзаючі ополонки:**

Скидання води з нижніх шарів водосховища змінює температуру річки нижче греблі. Взимку вода там стає теплішою, через що утворюються багатокілометрові незамерзаючі крижані плями. Це призводить до постійних локальних туманів, обмерзання доріг, ЛЕП та порушує умови зимівлі фауни. Влітку ж, навпаки, скинута вода холодніша за природну, що затримує прогрівання річки.

3. Криза річкових екосистем та удар по біорізноманіттю

Гребля та водосховище грубо порушують біологічні цикли гідробіонтів та прибережної фауни.

- Проблема евтрофікації: на деяких водосховищах розвиваються бурхливі процеси евтрофікації («цвітіння» води). В основному вони зумовлені уповільненням течії та скиданням у річки стічних вод, що містять велику кількість біогенних елементів (азоту та фосфору). Синьо-зелені водорості поглинають кисень, що призводить до загибелі риби та погіршення якості питної води.

- Порушення шляхів міграції: Високі греблі перекривають шлях на нерест прохідним і напівпрохідним риbam (наприклад, осетровим і лососевим), ізолюючи їх від традиційних нерестовищ. Більше того, гребля розділяє колись єдині популяції річкових видів на дві ізольовані групи (вище та нижче гідровузла), що призводить до їх генетичного виродження.

- Розмноження риб і травматизм: Великі амплітуди коливань рівнів води на водосховищах (через скидання енергії в пікові години) осушують мілководдя, знищуючи відкладену ікру. Крім того, молодь і доросла риба часто гинуть від механічних пошкоджень лопатями турбін або від газової емболії (кесонної хвороби) при різкому перепаді тиску у водоскидах.

4. Сучасні методи компенсації та зменшення екологічної шкоди

Шкоду, яку завдають ГЕС, значною мірою можна істотно зменшити, компенсувати або запобігти ще на етапі проектування за допомогою сучасних інженерних підходів.

Перехід до низьконапірних каскадів

Ефективним способом зменшення затоплення територій є збільшення кількості ГЕС у каскаді зі зменшенням на кожному щаблі напору і, отже, рівня води у водосховищах. Незважаючи на деяке зниження чистих енергетичних показників, саме низьконапірні гідровузли, що забезпечують мінімальне затоплення земель, лежать в основі всіх сучасних екологічно орієнтованих розробок. Головне правило сучасної гідроенергетики — прагнути мінімізувати площу затоплюваної землі на одиницю створюваної потужності.

Дериваційні технології

У гірських і передгірних районах екологічним еталоном служать дериваційні ГЕС. Вони не вимагають зведення гігантських гребель: вода відводиться з річки через спеціальний дериваційний канал або тунель, подається на турбіну під нахилом і повертається назад у русло. Затоплення територій при цьому практично зводиться до нуля.

Захист іхтіофауни та біоінженерія

Для полегшення проходження риби через споруди гідровузла детально вивчають поведінку риб біля гідротехнічних споруд: їхню реакцію на напрямок потоку, температуру води, рельєф дна та освітленість. На основі цих даних створюються:

1. Рибопропускні шлюзи та рибопідйомники (рибні ліфти) для перенесення риби через греблю.

2. Штучні обвідні біоканали, що імітують природне русло річки зі спеціальним субстратом на дні та оптимальною швидкістю течії, які риба безпомилково обирає для міграції.

Екологічний скид та захист від евтрофікації

Радикальним способом запобігання евтрофікації водойм є припинення скидання неочищених стічних вод промисловими та комунальними підприємствами вище за течією річки. На законодавчому рівні також вводиться поняття екологічного відпуску — гарантованого мінімального обсягу води, який ГЕС зобов'язана безперешкодно пропускати через греблю в будь-які періоди для підтримки природного життя річки нижче за течією.

Висновки

Гідроенергетика залишається ключовим елементом глобального переходу до відновлюваних джерел енергії. Однак статус «зеленої» енергетики ГЕС можуть зберегти лише за умови жорсткого синергетичного підходу — коли проектування станцій здійснюється з пріоритетом мінімізації площі водосховищ, збереженням шляхів міграції риб та найсуворішим контролем за якістю стічних вод, що надходять у річку.

Список використаної літератури

1. Клименко М. О., Бедункова О. О. Екологічний моніторинг водосховищ. — Рівне: НУВГП, 2010. — 212 с.
2. Яцик А. В. Екологічна безпека в Україні. — К.: Генеза, 2001. - 216 с.
3. Коротун С. І. Геоекологічний аналіз та оцінка впливу гідротехнічних споруд на річкові екосистеми. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». — 2015. — Вип. 13. — С. 44–51.
4. Малік М. Й., Шемаєв В. М. Екологічна безпека гідроенергетичних об'єктів та оцінка їхнього впливу на земельні ресурси. // Екологічні науки: науково-практичний журнал. — 2018. — № 3 (22). — С. 45–51.

Середа В.В.

*здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
ОПП «Водна інженерія та водні технології» спеціальності
194 Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро
11802577@student.dsau.dp.ua*

Стрепетова Х.В.

*асистентка кафедри водогосподарської інженерії
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро
strepetova.kh.v@dsau.dp.ua*

ІНЖЕНЕРНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС У КОНТЕКСТІ ПОВОЄННОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Вступ. Руйнування Каховської гідроелектростанції 6 червня 2023 року стало однією з найбільших техногенно-екологічних катастроф в історії гідротехнічного будівництва України. Каховська ГЕС була важливою ланкою дніпровського каскаду, забезпечувала регулювання стоку, судноплавство, водопостачання, іригацію Південної України та виробництво електроенергії. Її гребля утримувала Каховське водосховище об'ємом 18,2 км³ при нормальному підпірному рівні 16,0 м [1, с. 4].

Наслідки руйнування мали каскадний характер: було порушено водопостачання населених пунктів, припинено роботу магістральних каналів, втрачено доступ до іригаційної води для значних площ сільськогосподарських угідь, завдано шкоди рибному господарству та природним екосистемам [1, с. 6–7]. Водночас ця подія актуалізувала питання не лише відбудови конкретної споруди, а й перегляду принципів відновлення великих гідротехнічних об'єктів у післявоєнний період.

Метою роботи є інженерний аналіз можливих шляхів відновлення Каховської ГЕС та пов'язаних із нею великих гідротехнічних споруд, зруйнованих унаслідок воєнних дій. Для досягнення мети передбачено: оцінити масштаб руйнації та її інженерні наслідки; узагальнити міжнародний і вітчизняний досвід відновлення пошкоджених гідротехнічних споруд; запропонувати можливі інженерні рішення та визначити пріоритетність відновлювальних робіт.

У роботі застосовано системно-аналітичний, порівняльний і нормативно-аналітичний методи, а також елементи гідравлічних та інженерно-економічних розрахунків для обґрунтування наслідків руйнування і послідовності відновлення.

Основна частина. Інженерна оцінка масштабу руйнації. Вибух призвів до руйнування водоскидної частини, машинного залу та втрати регулюючої функції водосховища. Рівень води перед катастрофою досягав 17,5 м, що перевищувало нормальний підпірний рівень і збільшувало потенційну енергію прориву [1, с. 5]. За класифікацією ДБН В.2.4-3:2010 Каховська ГЕС належить до I класу гідротехнічних споруд, а за ДБН В.1.2-14:2018 — до класу наслідків СС3, що визначає підвищені вимоги до реконструкції [4; 10].



Рисунок 1 – Зона руйнування Каховської ГЕС та формування потоку прориву в нижній б'єф

Загальний вигляд зони руйнування Каховської ГЕС та формування потоку прориву в нижній б'єф наведено на рисунку 1. За оцінками UNEP, витрата води під час прориву сягала 30 000–50 000 м³/с, тобто перевищувала середню добову витрату приблизно у 12–19 разів [1, с. 6]. Хвиля прориву досягла Херсона орієнтовно за шість годин зі швидкістю близько 15 км/год. Для перевірки порядку величини швидкості використано залежність для довгої гравітаційної хвилі на мілководді:

$$c_0 = \sqrt{gH} = \sqrt{9,81 \cdot 17,5} \approx 13,1 \text{ м/с} \approx 47,1 \text{ км/год},$$

де c_0 — теоретична швидкість поширення хвилі прориву, м/с; g — прискорення вільного падіння, м/с²; H — глибина води перед греблею, м. Співвідношення фактичної швидкості фронту затоплення до теоретичної можна подати через коефіцієнт русла:

$$C_m = \frac{C_{\text{факт}}}{c_0} = \frac{15}{47,1} \approx 0,32$$

Отримане значення $C_m \approx 0,30\text{--}0,35$ відповідає умовам широких затоплених заплавл, де рух води сповільнюється шорсткістю поверхні, рослинністю, звивистістю русла та гідравлічним опором заплавлних територій.

Після руйнування водосховище фактично трансформувалося у систему річкових рукавів та ізольованих водойм. За даними дистанційного зондування, через два місяці після аварії залишкова водна поверхня становила близько 430 км², тобто приблизно 19 % від початкової площі [6, с. 5]. Однією з характерних поставарійних тенденцій стало швидке заростання оголеного дна переважно вербою, що ускладнює майбутні будівельно-відновлювальні роботи [5, с. 147].

Соціально-економічні наслідки проявилися у втраті доступу до централізованого водопостачання, припиненні роботи магістральних каналів та погіршенні умов ведення зрошувального землеробства. За оцінками, до 5 840 км² сільськогосподарських угідь втратили доступ до іригаційної води [1, с. 7]. Для рибного господарства катастрофа означала втрату нерестовищ, зниження запасів риби та порушення екосистемних послуг дельти Дніпра [6, с. 7].

Міжнародний та вітчизняний досвід відновлення гідротехнічних споруд. У міжнародній практиці для великих гребель застосовується підхід «dam renovation», який охоплює структурну реабілітацію конструкцій, зміну режимів експлуатації, управління наносами та впровадження природоорієнтованих і

рибоохоронних рішень [8, с. 1–3]. Такий підхід є доцільним і для Каховської ГЕС, оскільки просте відтворення попередньої схеми не враховуватиме нові безпекові, екологічні та кліматичні умови.

Для споруд I класу та класу наслідків ССЗ ключовим етапом реконструкції має бути багаторівнева перевірка проектних рішень: інженерно-геодезичні та геологічні вишукування, оцінка фільтраційної стійкості, аналіз аварійних сценаріїв, чисельне і фізичне моделювання водоскидних споруд та нижнього б'єфа. За даними ICOLD, серед типових причин аварій гребель особливе місце займають переливання через гребінь і фільтраційні деформації, тому ці фактори мають бути враховані при реконструкції [11, с. 25].

Інженерні рішення та пріоритети відновлення. Реконструкція Каховського гідровузла може розглядатися за кількома сценаріями: повне відновлення водосховища, створення зменшеного водосховища або перехід до каскаду менших регулюючих споруд. Порівняння можливих сценаріїв наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння можливих сценаріїв реконструкції Каховського гідровузла

Параметр	Повне відновлення	Зменшене водосховище	Каскад малих споруд
Об'єм, км ³	18,2	9–12	< 5
Напір, м	16,0	12–14	—
Потужність, МВт	351	≈ 200	локальні рішення
Іригаційний ефект	максимальний	частковий	обмежений
Екологічний стан	помірний	покращений	наближений до природного
Капіталовкладення	100 %	≈ 70 %	≈ 40 %

Найбільш технічно повним є сценарій відновлення гідровузла у параметрах, близьких до довоєнних. Водночас звіт UNEP рекомендує також розглядати природоорієнтовані рішення та варіант меншого водосховища, який може зменшити екологічні ризики і наблизити гідрологічний режим до природного [1, с. 67]. Остаточний вибір сценарію має базуватися на результатах державної експертизи, моделювання, оцінки впливу на довкілля та безпекового аналізу.

Відновлення іригаційної інфраструктури повинно супроводжуватися модернізацією водорозподілу. Одним із пріоритетів є перехід до водозберігаючих технологій. Орієнтовний ефект переходу від поверхневого до краплинного зрошення можна оцінити за формулою:

$$\Delta W = 1 - 0,55 / 0,90 \approx 0,39, \text{ або } 39 \%,$$

де ΔW — відносна економія води; 0,55 — орієнтовний коефіцієнт корисної дії поверхневого зрошення; 0,90 — орієнтовний коефіцієнт корисної дії краплинного зрошення. Отже, модернізація зрошення здатна зменшити водоспоживання приблизно на 39 %, що узгоджується з оцінками ефективності водозберігаючих технологій [9, с. 66].

Для визначення першочерговості відновлювальних робіт застосовано метод зваженої бальної оцінки:

$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot S_{ij}, \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

де R_i — інтегральний рейтинг напрямку відновлення; w_j — вага критерію; S_{ij} — експертна оцінка напрямку за відповідним критерієм. Результати оцінювання подано у таблиці 2.

Таблиця 2 – Матриця пріоритетів відновлення (експертна оцінка)

Напря́м	Життєзаб. w=0,30	Безпека ЗАЕС w=0,25	Продов. безпе́ка w=0,20	Енергетика w=0,15	Екологія w=0,10	R _i	Ранг
Водопостачання	5	5	3	1	2	3,70	1
Гребля/ГЕС	2	3	2	5	2	2,70	2
Іригація	3	1	5	1	3	2,60	3
Екорекреація	1	1	2	1	5	1,60	4

Отримані результати підтверджують таку послідовність пріоритетів: водопостачання ($R = 3,70$) → гребля та ГЕС ($R = 2,70$) → іригація ($R = 2,60$) → екологічна реабілітація ($R = 1,60$). Вирішальними критеріями є життєзабезпечення населення, безпека суміжних критичних об'єктів, продовольча безпека та довгострокова екологічна стійкість території.

Висновки.

1. Руїнування Каховської ГЕС спричинило каскадну відмову водогосподарського комплексу Південної України з одночасним ураженням водопостачання, іригації, енергетики, навігації та рибного господарства.

2. Теоретична швидкість хвилі прориву, розрахована за залежністю для довгої гравітаційної хвилі, становить близько 47,1 км/год, тоді як фактична швидкість фронту затоплення близько 15 км/год відповідає коефіцієнту русла $C_m \approx 0,32$.

3. Відновлення Каховського гідровузла має базуватися на комплексному підході: обстеженні залишків споруди, чисельному і фізичному моделюванні, аналізі фільтраційної стійкості, оцінці аварійних сценаріїв та виборі оптимального сценарію реконструкції.

4. Формалізоване ранжування підтвердило першочерговість відновлення водопостачання, після чого мають реалізовуватися роботи з відновлення греблі та ГЕС, модернізації іригаційної інфраструктури й екологічної реабілітації.

5. Модернізація зрошувальних систем на основі водозберігаючих технологій може забезпечити орієнтовну економію води до 39 %, що є важливим для південних регіонів України.

6. Перспективним напрямом подальших досліджень є чисельне моделювання хвиль прориву та порівняльна оцінка сценаріїв реконструкції за інженерними, екологічними, безпековими і фінансовими критеріями.

Список використаної літератури

1. Rapid Environmental Assessment of Kakhovka Dam Breach; Ukraine, 2023 / United Nations Environment Programme. Nairobi : UNEP, 2023. 81 p. DOI: 10.59117/20.500.11822/43696.

2. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure / O. Shumilova et al. Nature Sustainability. 2023. Vol. 6. P. 578–586. DOI: 10.1038/s41893-023-01068-x.

3. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр> (дата звернення: 01.05.2026).

4. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 37 с.

5. Vyshnevskiy V. I., Shevchuk S. A. Natural processes in the area of the former Kakhovske reservoir after the destruction of the Kakhovka HPP. *Journal of Landscape Ecology*. 2024. Vol. 17, № 2. P. 147–164. DOI: 10.2478/jlecol-2024-0014.

6. Losses in fishery ecosystem services of the Dnipro river Delta and the Kakhovske reservoir area caused by military actions in Ukraine / R. Novitskyi et al. *Frontiers in Environmental Science*. 2024. Vol. 12. Art. 1301435. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1301435.

7. Bisinicu E., Lazar L. Assessing the Black Sea mesozooplankton community following the Nova Kakhovka Dam breach. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2025. Vol. 13, № 1. Art. 67. DOI: 10.3390/jmse13010067.

8. Kondolf M., Yi J. Dam renovation to prolong reservoir life and mitigate dam impacts. *Water*. 2022. Vol. 14, № 9. Art. 1464. DOI: 10.3390/w14091464.

9. Ромащенко М. І., Музика О. П., Войтович І. В., Усатий С. В. Наукові засади відновлення технічного стану інженерної інфраструктури зрошувальних систем. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 6 (843). С. 61–70.

10. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіон України, 2018. 30 с.

11. ICOLD. Dam Failures — Statistical Analysis : Bulletin 99. Paris : International Commission on Large Dams, 1995. 76 p.

УДК 556.53 : 502/504

А.П. Блажко

доцент кафедри гідротехнічного будівництва

Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса

blazhko49@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНИХ ВОД ЗА АГРОНОМІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ ДЛЯ КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ НА ГОЛОВНОМУ ВОДОЗАБОРІ ТРОЇЦЬКО-ГРАДЕНИЦЬКОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Вступ. Останніми роками в Україні при зрошенні сільськогосподарських культур знаходить все більше застосування один із прогресивних, ресурсо-енергозберігаючих, екологічно безпечних способів поливу – краплинне зрошення. З 1997 р. в Україні розпочався новий етап застосування технологій краплинного зрошення в овочівництві відкритого ґрунту. Великомасштабного використання в Україні краплинне зрошення набуло з 2004 р., коли площі його досягли 25,0 тис. га. Відтоді відмічається позитивна динаміка зростання площ краплинного поливу – у 2010 р. вона досягла майже 48 тис. га. Оцінювання якості зрошувальної води та її вплив на показники родючості ґрунтів є одним із актуальних завдань в обґрунтуванні площ відновлення і розвитку зрошування та визначенні територій і напрямів розвитку зрошеного землеробства в Україні (Балюк С., Воротинцева Л., Дрозд О. 2013).

Мета роботи – здійснити екологічну оцінку якості зрошувальних вод на головному водозаборі Троїцько-Граденицької зрошувальної системи за агрономічними критеріями за краплинного зрошення.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження служать поверхневі води річки Турунчук біля с. Троїцьке на головному водозаборі Троїцько-Граденицької зрошувальної системи (ТГЗС). Гідровузол забезпечує подачу води на зрошувальний масив головною насосною станцією продуктивністю 1,58 м³/с. Загальна площа зрошення (нетто) ТГЗС складає 3,7 тис. га. Зрошувальна система розташована на землях трьох сільськогосподарських господарств, введена в експлуатацію в 1965 році.

В роботі використані результати гідрохімічних досліджень зрошувальних вод р. Турунчук, правий рукав Дністра, на водозаборі головної насосної станції НС-1. Джерело вихідної інформації – фондові матеріали Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації та Відокремленого підрозділу Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» [1, с. 148].

Агрономічні критерії придатності води для краплинного зрошення встановлює ДСТУ 7591:2014 «Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії» [2, с. 6]. Якість зрошувальної води оцінюють, урахувавши: небезпеку іригаційного засолення, підлуження, осолонцювання ґрунту та токсичний вплив зрошувальної води на рослини.

Згідно рекомендацій вищезазначеного нормативного документа оцінювання якості поверхневих вод за небезпекою іригаційного засолення ґрунту здійснюють на основі показників токсичних іонів, відображених в еквівалентах хлорид-іонів (eCl^-), *мекв/дм³* за формулою:

$$eCl^{-\text{токс.}} = Cl^- + 0,2SO_4^{2-\text{токс.}} + 0,4HCO_3^{-\text{токс.}} + 10CO_3^{2-\text{токс.}}, \quad (1)$$

де $eCl^{-\text{токс.}}$ – сума токсичних солей в еквівалентах хлору, *мекв/дм³* ;

Cl^- – сума хлоридів, *мекв/дм³* ;

$SO_4^{2-\text{токс.}}$ – сума токсичних сульфатів, *мекв/дм³* ;

$HCO_3^{-\text{токс.}}$ – сума токсичних гідрокарбонатів, *мекв/дм³* ;

$CO_3^{2-\text{токс.}}$ – сума токсичних карбонатів, *мекв/дм³* .

Під час оцінювання якості зрошувальної води, виділяють три класи її придатності: I клас – придатна, II клас – обмежено придатна, III – непридатна. Зрошувальна вода I класу – придатна для зрошення без обмежень.

Зрошувальну воду II класу використовують за умови обов'язкового застосування комплексу заходів запобігання деградації ґрунтів або поліпшення води до показників I класу. Зрошувальна вода III класу – вода, показники якої виходять за межі значень, що встановлені для зрошувальних вод II класу, непридатна для зрошення без попереднього поліпшення її складу.

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою підлуження ґрунту проводиться на основі комплексної оцінки більшості (не менше ніж двох показників) [2, с. 7]: водневого показника (*pH*), токсичної лужності ($HCO_3^- - CO_3^-$) й лужності від нормальних карбонатів (CO_3^-). Звісно, що активність іонів водню (*pH*) є показником кислотності (*pH* < 7) або лужності (*pH*

> 7) води. Нормальний діапазон поливної води становить від 6,5 до 8,2. При збільшенні рН зрошувальної води вище 8,2 посилюється можливість осолонцювання ґрунту.

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання ґрунтів визначають за величиною відношення (у відсотках) суми лужних катіонів натрію і калію до суми всіх катіонів з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів та їхньої буферності щодо осолонцювання, величини відношення у зрошувальній воді магнію до кальцію і класу води за небезпекою засолення чи підлуження ґрунтів [2, с. 7].

Основна частина наукової роботи. Результати розрахунків та оцінювання якості поверхневих вод за небезпекою іригаційного засолення ґрунтів наведено в таблиці.

Таблиця

Результати оцінювання якості поверхневих вод на водозаборі НДЗС для краплинного зрошення за небезпекою вторинного засолення ґрунту

Водний об'єкт, водозабір	Показники	Загальна концентрація токсичних солей за середньорічними і максимальними значеннями гідрохімічних інгредієнтів, мекв/дм ³ за роками дослідження				
		2013	2014	2015	2016	2017
р. Турунчук НС, с. Троїцьке	$eCl_{сер}^-$	3,9	3,0	2,9	3,4	3,1
	Клас якості води	I	I	I	I	I
	$eCl_{макс}^-$	4,4	4,2	4,1	4,7	4,2
	Клас якості води	I	I	I	I	I

Аналіз табличного матеріалу дозволяє стверджувати наступне. Концентрація токсичних іонів (в еквівалентах хлору) за середньорічними значеннями гідрохімічних показників в досліджуваному періоді змінювалася від 2,9 мекв/дм³ (2015 р.) до 3,9 мекв/дм³ (2013 р.). Нормована величина вмісту токсичних іонів для важкосуглинкових та глинистих ґрунтів не повинна перевищувати 5 мекв/дм³ [2, с. 6].

За максимальними значеннями гідрохімічних інгредієнтів досліджувана величина варіювала в межах 4,1 - 4,7 мекв/дм³. Отже згідно з вимогами ДСТУ 7591 : 2014 така зрошувальна вода, як за середньорічними так і за максимальними значеннями гідрохімічних інгредієнтів, з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів, відповідає I класу якості. Вода такої якості може застосовуватися для краплинного зрошення на різних типах ґрунтів без обмежень. Візуалізація динаміки загальної концентрації токсичних солей (в еквівалентах хлору) у поверхневих водах р. Турунчук показана на рисунку.

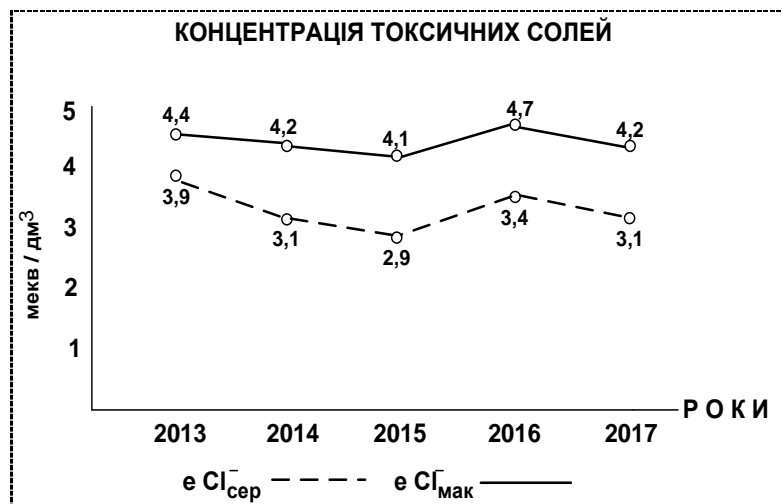


Рис. Динаміка загальної концентрації токсичних іонів у зрошувальній воді р. Турунчук на водозаборі Троїцько-Граденицької зрошувальної системи

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою підлучення ґрунтів виконано шляхом співставлення фактичних даних гідрохімічних інгредієнтів (показника (рН), токсичної лужності ($HCO_3^- - CO_3^-$) й лужності від нормальних карбонатів (CO_3^-) з їх гранично допустимими величинами. Аналіз вищезазначених показників якості води р. Турунчук показує, що водневий показник рН в досліджуваному періоді змінювався в межах 7,0 – 8,1; лужність від нормальних карбонатів (CO_3^-) взагалі не зафіксована в відібраних пробах води, а токсична лужність ($HCO_3^- - Ca^{+2}$) не перевищує нормовані величини (2 мекв / дм³). Тобто, зрошувальні води р. Турунчук за небезпекою підлучення ґрунту відповідають I класу якості і можуть використовуватися для мікрозрошення.

Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання ґрунтів проведено за величиною відношення (у відсотках) суми лужних катіонів натрію і калію до суми всіх катіонів з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів та їхньої буферності щодо осолонцювання і класу води за небезпекою засолення чи підлучення ґрунтів [2, с. 7]. За результатами дослідження величини відношення (у відсотках) суми лужних катіонів натрію і калію до суми всіх катіонів варіювали в межах 25,0 – 35,6 %. Це означає, що поливні води за небезпекою осолонцювання ґрунтів можна використовувати для краплинного зрошення без обмежень.

Висновок. Дослідженням встановлено, що зрошувальні води на головному водозаборі Троїцько-Граденицької зрошувальної системи за агрономічними критеріями відповідають I класу якості і можуть використовуватися для систем краплинного зрошення на ґрунтах різного механічного складу без обмежень.

Література

1. Блажко А.П., Анісімов К.І., Осадчий В.С. Гідрохімічний моніторинг водних ресурсів Північно-Західного Причорномор'я. навч. пос. Одеса: ОДАБА, 2020. – 382 с. ISBN 978-617-7900-03-9.

2. ДСТУ 7591:2014 Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії [Текст] – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 14 с.

УДК 556.5

Шевченко А.М.

*к. с.-г. н., ст.наук. співроб., завідувач відділу водних ресурсів
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ
monitoring_protect@ukr.net*

Козицький О.М.

*науковий співробітник відділу екології і природокористування
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ
olegkoz@ukr.net*

Сидоренко О. О.

*к. с.-г. н., завідувач відділу екології і природокористування
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ
63059@ukr.net*

Шевченко І.А.

*к.т.н. старший науковий співробітник відділу екології і природокористування
Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ
irashef@ukr.net*

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВОДНОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ ЩОДО ВСТАНОВЛЕННЯ ВОДООХОРОННИХ ОБМЕЖЕНЬ НА ПРИБЕРЕЖНИХ ТЕРИТОРІЯХ І НАУКОВІ ПІДХОДИ ЇХНЬОГО ВИРІШЕННЯ

Вступ. Важливим елементом запобігання забруднення, засмічення, вичерпання водних об'єктів є надання прилеглим до них територіям особливого статусу з встановленням в їхніх межах водоохоронних обмежень. При цьому слід враховувати категорію (вид) водного об'єкта та його розміри. Так, для визначення меж прибережних захисних смуг (ПЗС) в Україні прийнято лінійний принцип, що передбачає встановлення ширини у фіксованих межах, залежно від площі водозбору річок, об'єму водойм і крутизни прилеглих схилів. У даному контексті положення Водного кодексу України (ВКУ) є імперативними нормами і тому законодавством повинні бути встановлені єдині методичні підходи, що забезпечують однозначні результати визначення ширини ПЗС. Проте численні судові справи в останні десятиліття вказують на можливість неоднозначного трактування положень ВКУ, що значною мірою пов'язано з різним розумінням гідрологічної термінології та відсутністю нормативних класифікацій природних і штучних водойм за їх гідрографічними характеристиками. У зв'язку з цим актуальним завданням є удосконалення існуючих визначень гідрологічних термінів і класифікації водних об'єктів для забезпечення однозначності та неупередженості в ході реалізації вимог водного законодавства України щодо встановлення режиму обмеженої господарської діяльності на землях водного фонду, насамперед, у прибережних захисних смугах.

Основна частина. На підставі аналізу юридичних проблем, які виникають при реалізації положень водного законодавства України щодо забезпечення природоохоронного режиму на землях водного фонду, встановлено, що вони значною мірою зумовлені неоднозначністю трактування гідрологічної термінології або відсутністю нормативних визначень окремих гідрологічних термінів. Зокрема, це стосується таких понять як річка, потічок, струмок, межень, крутизна схилу, лагуна, річковий лиман тощо. Так, у статті 1 Водного кодексу України, що визначає основні терміни, які використані у цьому законодавчому документі, відсутнє як визначення самого поняття річка, так і інших водотоків, про які йде мова в ВКУ, зокрема, струмків (статті 3, 88) і потічків (статті 87, 88). У наведеній у ВКУ класифікації річок не зазначена нижня межа площі їхнього водозбору, тому до категорії малих річок належать усі водотоки з площею водозбору до 2000 км², тобто до цієї категорії відносяться як річки з довжиною в десятки кілометрів, так і невеликі потічки та струмки.

З урахуванням зазначеного вище класифікацію річок України доцільно доповнити категоріями струмок, потік і дуже мала річка. Пропонується наступна класифікація малих водотоків в Україні:

- струмки - постійні або тимчасові водотоки, що витікають з джерел ґрунтових вод і протікають в межах річкових заплавл та схилу першої надзаплавної тераси;
- потоки - постійні або тимчасові водотоки з площею водозбору до 10 км², основна частина якого знаходиться поза межами річкової заплави;
- дуже малі річки - постійні або тимчасові водотоки з площею водозбору від 10 км² до 100 км²;
- малі річки - постійні або тимчасові водотоки з площею водозбору від 100 км² до 2000 км².

Відповідно до статті 88 ВКУ, незалежно від розміру і гідрологічного режиму, для всіх річок з площею водозбору до 2000 км² необхідна ширина ПЗС становить 25 м або 50 м при крутизні схилу більше 3°. З урахуванням запропонованої класифікації, аналізу гідрологічної ролі водотоків, інтенсивності антропогенного впливу та реальної просторової протяжності у ландшафті доцільно змінити і градацію ширини ПЗС, зокрема, для струмків - 5 м, для потоків - 10 м, дуже малих річок - 15 м, із її подвоєнням при перевищенні крутизни схилів 3°.

Суттєвою проблемою при визначенні меж ПЗС є встановлення висотної відмітки початкової точки визначення крутизни схилу. Згідно статті 88 ВКУ ПЗС встановлюються вздовж берегів річок і навколо водойм уздовж урізу води (у меженний період), незалежно від типу берега річки, його форми та висоти. При визначенні меж ПЗС найбільш важливими характеристиками берега є його геометричні параметри, зокрема, висота і ширина верхового укосу вище меженного рівня, співвідношення яких визначає крутизну берегового схилу річки. Прибережна захисна смуга річок (за винятком річок з ущелиноподібними долинами, де береговий схил плавно переходить у гірський схил) включає ширину берегового укосу вище меженного рівня, крутизна якого завжди більше 3°, і частину заплави. На річках з крутими берегами ПЗС майже повністю знаходиться на заплаві, тому вимога ВКУ «якщо крутизна схилів більше 3°, то її ширина подвоюється» є некоректною. Більш доцільним є вираз «якщо похил прибережної захисної смуги більше 3°, то її ширина подвоюється».

Згідно ВКУ для усіх типів русел ширина ПЗС визначається від урізу меженного рівня води. Поряд з тим, у ВКУ конкретно не сказано, від якої висотної відмітки визначається крутизна схилу, зокрема, від урізу води чи брівки берега. Неоднозначність трактування щодо визначення крутизни схилу породжує юридичні проблеми, що часто виникають у судовій практиці при визначенні необхідності подвоєння ПЗС при перевищенні крутизни схилу 3° . Окрім того, у статті 1 ВКУ зазначено, що уріз води – це межа води на березі водного об'єкта (берегова лінія).

На практиці, на ділянках з вертикальними і крутими берегами крутизна схилу встановлюється від відмітки берегової лінії річки (без врахування перепаду між урізом води і брівкою русла), а на дуже пологих і слабовиражених руслах - від урізу води. Це є цілком логічним, оскільки для річок з крутими берегами відстань між лінією урізу води та брівкою берега є незначною і вона практично не впливає на значення ширини ПЗС. Поряд з тим, на ділянках з сильно пологими берегами відповідна відстань може бути співрозмірною з шириною ПЗС. Однак, такий підхід законодавчо не визначений і суб'єкти судових справ, що зацікавлені у подвоєнні ширини ПЗС наполягають на необхідності визначення крутизни схилу саме від відмітки меженного урізу води, посилаючись на ВКУ.

Важливим терміном, що зумовлює неоднозначність встановлення меж ПЗС, є поняття межень, або меженний період. Меженний період буває зимовий та літньо-осінній, або тільки літній. У Водному кодексі не зазначено, який меженний період необхідно приймати при розрахунку ПЗС. Меженні рівні на річках і водоймах можуть суттєво відрізнитися не лише у різні меженні фази, а і в різні місяці та роки однорідної фази гідрологічного режиму. Проблема зумовлена тим, що меженний рівень, від урізу якого (згідно ВКУ) встановлюється ПЗС, не є фіксованою величиною і ширина меженного потоку на середніх і великих річках може відрізнитися у різні роки на десятки метрів, тому при визначенні меж ПЗС повинен прийматися середній за багаторічний період рівень води, що визначений за конкретні місяці меженного періоду. Іншим варіантом визначення ширини ПЗС річок і озер є встановлення її внутрішньої межі вздовж брівки берегового укосу, яка повинна бути позначена на картах Земельного кадастру. За меженний рівень ставків і водосховищ доцільно прийняти встановлений правилами експлуатації нормальний підпертий рівень.

Оскільки приватизація земель у долинах річок законодавством України дозволена тільки за межами земель водного фонду, то за відсутності відомостей у Земельному кадастрі та на кадастрових картах приналежність ділянок староріч, зниклих водойм, висохлих ділянок обмілілих (зникаючих) озер і ПЗС навколо них до земель водного фонду стає предметом тривалих судових спорів. Відповідно, для недопущення юридичної неоднозначності трактувань таких спірних ситуацій необхідне встановлення фіксованого значення меженного рівня для постійних водотоків і водойм, а також прийняття інших підходів щодо встановлення внутрішньої межі ПЗС для тимчасових, пересихаючих чи зниклих (з перспективою відновлення) водних об'єктів.

Визначення меженного рівня в конкретних розрахункових створах, що віддалені від гідрологічних постів, необхідно виконувати з врахування похилу річки на ділянці від створу до поста. За відсутності матеріалів безпосередніх спостережень за меженними рівнями, ширину ПЗС доцільно визначати від брівки берега річок і озер, особливо при похилах берегового схилу більше 30° . У такому

випадку до статті 1 ВКУ необхідно внести визначення терміна «брівка берега», як лінії що відділяє берег річки від її заплави. Для озер з пологими берегами, а також коли площа їхньої водної поверхні в меженний період сильно зменшується, за внутрішню межу ПЗС можна прийняти межу заростання ложа водойми водною рослинністю.

Згідно ВКУ для всіх озер, на відміну від ставків, встановлюється однакова ширина (100 м, або 200 м - при крутизні схилу понад 3°) ПЗС, незалежно від їх розмірів. Водним кодексом не передбачені мінімальні розміри озер, для яких необхідне встановлення ПЗС. З урахуванням типології озер за площею водного дзеркала, згідно Водної рамкової директиви ЄС 2000/60/ЄС, доцільно ввести до ВКУ категорії озер: малі озера з площею водного дзеркала від 0,5 га до 10 га з шириною ПЗС для них у розмірі 25 м; середні озера з площею водного дзеркала від 10 га до 1000 га з шириною ПЗС 50 м, а також великі і дуже великі озера з площею водозбору від 1000 га до 10000 га і понад 10000 га, відповідно, з шириною ПЗС 100 м. Для водойм з площею водного дзеркала менше 0,5 га встановлювати ПЗС не потрібно, якщо їх глибина в меженний період не перевищує 3 м. Оскільки ПЗС навколо ставків площею менше 3 га встановлюється залежно від категорії річок, на яких вони збудовані, то необхідно нормативно закріпити тільки їх мінімальну площу, орієнтовно, як і для озер – 0,5 га. Менші водойми можна віднести до категорії басейнів.

У ВКУ слід чітко визначити приналежність технологічних водойм до водного фонду, уточнити правовий статус водойм кар'єрного типу, лагун і річкових лиманів, обгрунтування чого наведено авторами.

Висновки. Аналіз положень Водного кодексу України засвідчив, що більшість юридичних проблем при встановленні меж прибережних захисних смуг спричинена відсутністю чіткої класифікації водних об'єктів і неоднозначністю термінології. Невизначеність понять «річка», «струмок», «межень», «лагуна» та інших створює передумови для різночитань у правозастосовній та судовій практиці.

Обгрунтовано необхідність класифікації малих водотоків із виділенням категорій: струмки, потоки, дуже малі та малі річки. Це дозволить запровадити диференційований підхід до визначення ширини прибережних захисних смуг і мінімізувати необгрунтоване вилучення земель із господарського обігу, забезпечуючи екологічну безпеку.

Через труднощі розрахунку мінливого меженного рівня запропоновано альтернативний варіант визначення ширини прибережних захисних смуг від брівки берега, а для штучних водойм використовувати нормальний підпірний рівень.

Визначено потребу в нормативному врегулюванні статусу тимчасових і пересихаючих водотоків шляхом створення державного реєстру малих водотоків, обгрунтовано класифікацію озер за площею водного дзеркала та уточнення правового статусу технологічних водойм, водойм кар'єрного типу, річкових лиманів і лагун.

УДК 631.67:633.18(477.72)

Турченко В.О., Козішкурт С.М., Картавов Ю.О.

д.т.н., професор, завідувач кафедри водної інженерії та водних технологій;

к.т.н., доцент, доцент кафедри водної інженерії та водних технологій;

аспірант кафедри водної інженерії та водних технологій

Національний університет водного господарства та природокористування, м.

Рівне

v.o.turchenuk@nuwm.edu.ua; s.m.kozishkurt@nuwm.edu.ua;

yu.o.kartavov@nuwm.edu.ua

ІНЖЕНЕРНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОЛИВНОЇ КАРТИ РИСОВОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ЗРОШЕННЯ

Вступ. Зростаючий дефіцит водних ресурсів в умовах кліматичних змін є одним із ключових викликів для сталого розвитку зрошувального землеробства України. За даними ФАО, сільське господарство споживає близько 70–72 % загального обсягу прісної води у світі, а у посушливих регіонах цей показник сягає 90–95 % [1]. Для південних регіонів нашої держави, де розташована більша частина зрошуваних угідь, ефективне водокористування набуває стратегічного значення.

Рис є однією з найбільш водомістких культур зрошувального землеробства. Зрошувальна норма при традиційній технології вирощування становить 20-25 тис. м³/га, тоді як біологічна потреба культури у воді – 6-8 тис. м³/га [2]. Різниця між цими величинами – від 3 до 4 разів – формує величезні непродуктивні втрати на фільтрацію, випаровування та скид. За оцінками науковців, рисові чеки займають 34-43 % загального світового обсягу зрошувальної води [3], що робить пошук ресурсозберігаючих рішень для рисових систем особливо актуальним.

Традиційні рисові зрошувальні системи (РЗС) України, збудовані переважно у 1960-1980-х роках, представлені поливними картами краснодарського типу. Їх конструкція передбачає розгалужену відкриту зрошувальну та дренажно-скидну мережу, підтримання постійного шару води на чеку протягом вегетаційного сезону. Такий підхід зумовлює низький коефіцієнт земельного використання, деградацію водно-фізичних властивостей ґрунтів і скид значних обсягів дренажних вод, забруднених залишками агрохімікатів, у водні об'єкти [2; 4].

Світовий досвід свідчить, що переривчасте зрошення (технологія «alternate wetting and drying» – AWD) скорочує подачу зрошувальної води на рисовому полі в середньому на 24–30 % без суттєвих втрат урожайності [3; 5]. Для умов рисових систем півдня України поєднання режиму затоплення у критичні фази вегетації рису з дощуванням у решту сезону є перспективним підходом до реконструкції меліоративних систем [6].

В умовах дефіциту водних ресурсів та необхідності відновлення меліоративної інфраструктури, пошкодженої внаслідок воєнних дій, актуальність інженерного удосконалення поливних карт РЗС значно зростає.

Метою роботи є обґрунтування та опис конструктивного рішення удосконаленої поливної карти рисової системи, яка забезпечує ресурсозберігаюче зрошення шляхом поєднання затоплення та дощування.

Основна частина. Аналіз існуючих конструктивних рішень рисових поливних карт свідчить, що основним недоліком систем краснодарського типу є неможливість застосування інших способів поливу, окрім затоплення. Картові зрошувач-скид та дренажно-скидна мережа конструктивно орієнтовані виключно на роботу в режимі підтримання шару води. Це обмежує гнучкість управління водним режимом ґрунту та унеможливорює вирощування без додаткових систем більшості супутніх культур рисової сівозміни, які не витримують тривалого затоплення [2].

Найближчим аналогом до запропонованого рішення є карта-чек широкого фронту, в якій картовий зрошувач-скид одночасно виконує функції подачі і відведення води. Разом із тим, і ця конструкція не передбачає можливості поливу дощуванням, зберігаючи усі недоліки постійного затоплення.

З метою підвищення ефективності використання водних ресурсів запропоновано удосконалени конструкцію поливної карти рисової системи [7]. Конструктивна схема наведена на рис. 1.

Конструкція включає розподільчий зрошувальний канал, тимчасовий зрошувач-скид, головний скидний канал і контурні земляні валики. Відмінною особливістю запропонованого рішення є розташування тимчасового зрошувача-скиду в центральній частині карти-чеку, що забезпечує його багатофункціональне використання залежно від технологічного режиму роботи системи.

У період затоплення вода надходить із розподільчого каналу через водовипуск до тимчасового зрошувача-скиду та далі рівномірно розподіляється по поверхні чеку. Контурні земляні валики забезпечують підтримання необхідного шару води в межах карти. У цей період скид води в головний скидний канал не здійснюється. Такий режим застосовується у критичні фази росту та розвитку рису, коли культура потребує постійного затоплення.

Після завершення фази затоплення система може функціонувати в режимі дощування. У цьому випадку вода, що подається до тимчасового зрошувача-скиду, використовується дощувальними машинами, підключеними до відкритої зрошувальної мережі. Використання дощування у міжфазні періоди вегетації сприяє скороченню непродуктивних втрат води та створює умови для вирощування супутніх культур рисової сівозміни.

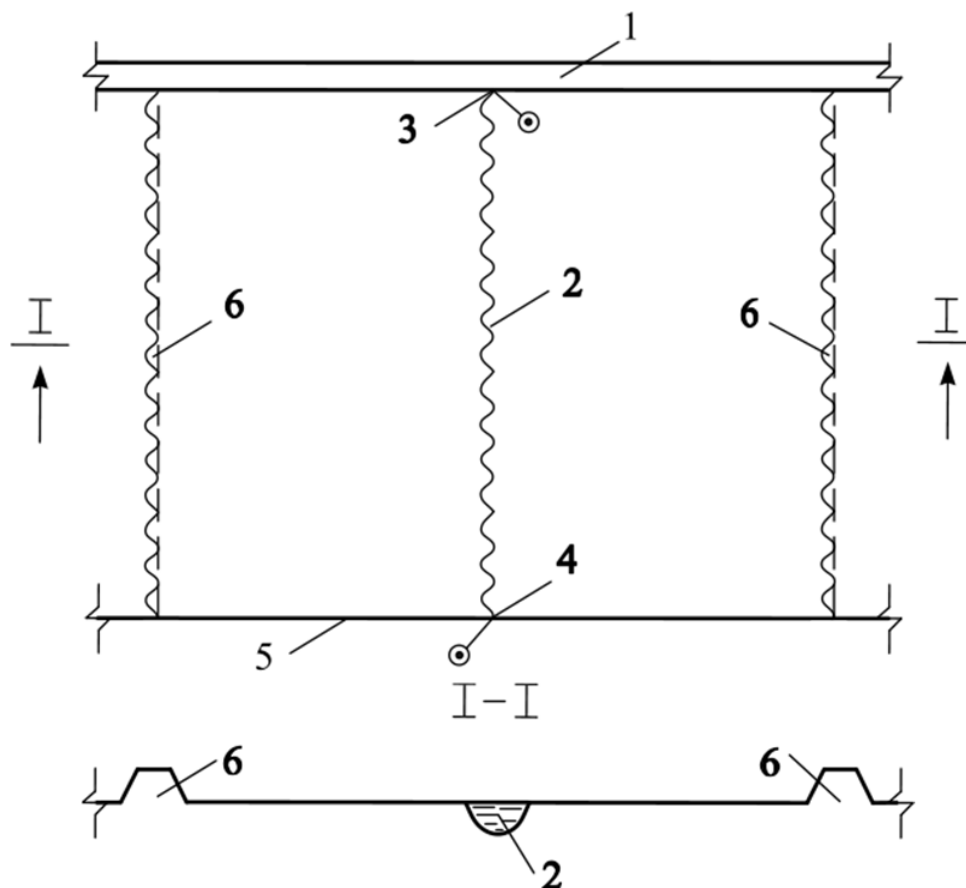


Рис. 1. Конструктивна схема удосконаленої поливної карти рисової системи: 1 – розподільчий зрошувальний канал; 2 – тимчасовий зрошувач-скид; 3 – водовипуск із розподільчого каналу в тимчасовий зрошувач-скид; 4 – водовипуск із тимчасового зрошувача-скиду в головний скидний канал; 5 – головний скидний канал; 6 – контурний земляний валик.

У режимі осушення тимчасовий зрошувач-скид виконує функцію дренажного каналу, забезпечуючи відведення надлишкових вод у головний скидний канал. Це дає змогу підтримувати сприятливий водно-повітряний режим ґрунту в післяполивний та міжвегетаційний періоди. Поєднання функцій зрошення і водовідведення в одному елементі конструкції дозволяє відмовитися від окремих картових дренажно-скидних каналів, що сприяє підвищенню коефіцієнта земельного використання.

Порівняльна характеристика традиційної та удосконаленої конструкції поливної карти наведена у табл. 1.

Аналіз наведених даних засвідчує, що запропонована конструкція забезпечує гнучкіше управління водним режимом порівняно з традиційними рішеннями. Поєднання затоплення у критичні фази з дощуванням у решту вегетаційного сезону дає змогу наблизити фактичну зрошувальну норму до біологічних потреб культури – 8–14 тис. м³/га замість 20–25 тис. м³/га [2; 5]. Чергування анаеробних та аеробних умов у верхньому шарі ґрунту сприяє покращенню його водно-фізичних властивостей [3; 6].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика конструкцій рисових поливних карт

Показник	Традиційна система	Удосконалена система
Основний спосіб поливу	постійне затоплення	затоплення + дощування
Зрошувальна норма	20–25 тис. м ³ /га	8–14 тис. м ³ /га (при комбінованому режимі поливу)
Біологічна потреба рису	6–8 тис. м ³ /га	6–8 тис. м ³ /га
Наявність скидних вод	значні	суттєво зменшені
Вирощування супутніх культур	обмежене	можливе (при дощуванні)
Водно-повітряний режим ґрунту	погіршується при затопленні	покращується в міжфазний та міжполивний періоди
Осушення в міжполивний сезон	окремий картовий дренажний канал	зрошувач-скид у режимі осушення
Коефіцієнт земельного використання	низький	підвищений

Зменшення обсягів дренажно-скидних вод є додатковою екологічною перевагою запропонованого рішення: за рахунок скорочення непродуктивних скидів знижується ризик забруднення суміжних водних об'єктів залишками пестицидів та мінеральних добрив.

Висновки. 1. Традиційні рисові зрошувальні системи краснодарського типу характеризуються зрошувальними нормами 20-25 тис. м³/га при біологічній потребі рису 6-8 тис. м³/га. Різниця, що перевищує біологічну потребу в 3-4 рази, формується внаслідок непродуктивних витрат на фільтрацію, випаровування і скид. Постійне затоплення деградує водно-фізичні властивості ґрунту та унеможлиблює вирощування більшості супутніх культур.

2. Запропонована конструкція удосконаленої поливної карти рисової системи передбачає влаштування тимчасового зрошувача-скиду посередині карти-чеку, який функціонує послідовно у трьох режимах: затоплення – у критичні фази розвитку рису, дощування – в інші міжфазні та періоди після затоплення, осушення – після поливного сезону. Контурні земляні валики забезпечують утримання шару води при затопленні.

3. Застосування запропонованої конструкції уможлиблює скорочення зрошувальної норми до 8-14 тис. м³/га, покращення водно-повітряного режиму ґрунтів, підвищення коефіцієнта земельного використання за рахунок відмови від окремих картових дренажно-скидних каналів, а також вирощування супутніх культур рисової сівозміни без будівництва додаткових зрошувальних систем.

Зменшення обсягів скидних вод знижує екологічне навантаження на суміжні водні об'єкти.

4. Запропоноване рішення є перспективним при реконструкції та відновленні рисових зрошувальних систем півдня України в умовах дефіциту водних ресурсів та необхідності енерго- та водозбереження в повоєнний відновлювальний період.

Список використаних джерел

1. FAO. AQUASTAT – Global Information System on Water and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025. URL: <https://www.fao.org/aquastat/en/> (дата звернення: 12.05.2026).

2. Сташук В.А., Рокочинський А.М., Мендусь П.І., Турченко В.О. та ін. Рисові зрошувальні системи : посіб. для вищ. навч. закладів / за ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, П.І. Мендуся, В.О. Турченюка. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 435 с.

3. Cheng H.M. et al. Effects of alternate wetting and drying irrigation on yield, water and nitrogen use, and greenhouse gas emissions in rice paddy fields. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 349. Article 131487. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131487.

4. Турченко В.О., Рокочинський А.М., Волк П.П. та ін. Комплекс заходів з підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2018. № 4 (84). С. 3–21.

5. Lampayan R.M. et al. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*. 2015. Vol. 170. P. 95–108. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.10.013.

6. 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.

7. Патент № 120517 України, МПК (2017.01), А.01G16/00, Е02В13/00 власник НУВГП.–№ заявки U2017 03769; заявл.18.04.2017; опублік. 10.11.2017, Бюл.№21

УДК 621.311-048.34:658.562(477:4-6ЄС)

Рагулін С.В.

Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОЕС УКРАЇНИ В УМОВАХ ІНТЕГРАЦІЇ ДО ENTSO-E

У процесі реформування енергетики, лібералізації та дерегулювання ринку електроенергії визначився ряд особливостей, пов'язаних із тим, що в умовах ринкових відносин пріоритетом стають економічна вигода та ціна електричної енергії для споживачів. Виникає певна відірваність мереж і ліній електропередачі

(ЛЕП) від об'єктів генерації, втрачається увага до такої важливої проблеми, як надійність і безпека електропостачання. У цій ситуації зростають навантаження на силові елементи електричної мережі, виникає необхідність створення відповідних резервів генеруючих потужностей, збільшення пропускної спроможності електричних мереж. Усе це передбачає підвищення ролі системних операторів і вдосконалення систем диспетчерського управління.

Стратегічна мета такого розвитку електроенергетичного комплексу – створення інтелектуальних енергосистем (ІЕС) як платформи для ринкових, управлінських та технологічних інновацій, що забезпечують перехід на новий рівень розвитку електроенергетики.

Для реалізації нових завдань, що виникають перед електроенергетикою, електричні мережі оснащуються сучасними швидкодіючими керованими пристроями силової електроніки, електромашинувентильними системами, системами інформаційної підтримки, які забезпечують отримання інформації про режими роботи мережі та стан обладнання в режимі online. У мережах і у споживача широко застосовуються різного роду накопичувачі електричної енергії, а споживачі стають активними учасниками процесу розподілу та споживання електроенергії.

Створення інтелектуальних енергосистем, крім власне силових елементів мережі, передбачає створення швидкодіючих багаторівневих управляючих систем з організацією відповідного інформаційного обміну для управління та контролю стану системи в цілому, її частин і елементів з різними часовими циклами для різних рівнів управління.

Передбачається також створення автоматизованих систем управління генерацією, в т.ч. малою та зосередженою.

Об'єднана енергетична система (ОЕС) України являє собою одне з найпотужніших електроенергетичних об'єднань (ЕО) в Європі з достатнім рівнем пропускної спроможності. Установлена сумарна потужність електростанцій ОЕС України становить 54,5 млн. кВт, при цьому потужність теплових електричних станцій (ТЕС) – 27,6 млн. кВт (50,7 % від загальної величини), атомних – 13,8 млн. кВт (25,4 %), гідравлічних (ГЕС) та гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС) – 4,6 млн. кВт (8,5 %). Основна технологічна ланка ОЕС України – це магістральні та міждержавні електричні мережі (МЕМ). До складу МЕМ входять понад 20,6 тис. км (по ланцюгах) повітряних ліній (ПЛ) електропередачі напругою 220-750 кВ і 133 підстанції (ПС) загальною потужністю понад 76,5 тис. МВА. Енергосистема України має 82 електричні зв'язки напругою 0,4-750 кВ з електроенергетичними системами (ЕЕС) інших країн.

Основні проблеми, притаманні ОЕС України в теперішній час, полягають у наступному: незбалансованість структури генеруючих потужностей; нестача ресурсів для ефективного регулювання частоти та потужності; зношеність і технічна застарілість обладнання; недостатня пропускна спроможність ряду системоутворюючих ЛЕП з передачі потужності; недостатні обсяги засобів регулювання напруги та компенсації реактивної потужності; недостатній рівень оснащення засобами телемеханіки, релейного захисту та автоматики, моніторингу та діагностики; недосконалість систем диспетчерського управління.

Через відсутність необхідних обсягів маневрених і пікових потужностей ОЕС України не в змозі забезпечити оптимальний графік навантажень, вимоги щодо частоти, рівня напруги і, зрештою, ефективну синхронну паралельну роботу з європейським енергетичним об'єднанням ENTSO-E. При цьому основною стратегічною метою розвитку ОЕС України є збереження її цілісності, забезпечення надійного, безпечного та сталого функціонування, розвиток електричних мереж (ЕМ) та збільшення їх пропускної спроможності, розширення електричних міждержавних зв'язків та зони синхронної роботи з європейськими ЕО.

У зв'язку з цим передбачається виконати комплекс робіт із подолання зазначених недоліків, підвищення спостережуваності та керованості, приведення основних показників у відповідність до вимог ENTSO-E та забезпечення функціонування оптового ринку електричної енергії (ОРЕ). У першу чергу мова йде про проведення модернізації, реконструкції та технічного переоснащення ЕМ та енергетичних об'єктів на базі нових технологій, сучасного обладнання та передових методів управління, що забезпечить формування оптимальної структури генеруючих потужностей та системоутворюючої мережі, підвищення надійності та ефективності енергопостачання споживачів, впровадження автоматизованих систем управління, сучасних систем моніторингу та діагностики.

Якщо говорити про відповідність ОЕС України вимогам ENTSO-E, виникає багато питань, які потребують свого вирішення. Згідно з розрахунками резерв первинного регулювання для ОЕС України має становити 185-190 МВт і відповідно діапазон резерву первинного регулювання – на рівні 370-380 МВт. Виходячи з того, що зазвичай діапазон первинного регулювання кожного блоку становить 5 % від установленної потужності, а також враховуючи можливі планові та аварійні ремонти обладнання, для ОЕС України достатньо мати (приблизно) нормоване первинне регулювання на 33-35 блоках потужністю 200 і 300 МВт.

Резерв вторинного регулювання має бути достатнім, щоб компенсувати очікувані коливання попиту та втрату найпотужнішого блоку електростанції. Для рівня максимуму споживання (приблизно 30 ГВт) розрахункове мінімально необхідне значення резерву вторинного регулювання має становити 450-500 МВт на розвантаження і 1000 МВт на завантаження. Сумарний діапазон резерву вторинного регулювання має бути на рівні 1450-1500 МВт.

У теперішній час до автоматичного вторинного регулювання в ОЕС України підключено шість агрегатів Дніпровської ГЕС-1 загальною потужністю 432 МВт. Крім того, слід враховувати можливості, пов'язані з введенням в роботу джерел пікової потужності – Ташлицької та Дністровської ГАЕС. Ще одним варіантом, з урахуванням умов, що склалися, є розміщення не менше 50 % резервів вторинного регулювання на енергоблоках ТЕС. Для енергоблоків ТЕС діапазон регулювання навантаження становить приблизно 40-50 МВт на блок. Отже, для забезпечення необхідного резерву, з урахуванням планових та аварійних ремонтів, у систему автоматического вторинного регулювання необхідно підключити близько 30 блоків ТЕС потужністю 200 і 300 МВт.

Експлуатаційна безпека ЕО забезпечується виконанням вимог щодо підтримки планових режимів при роботі в режимі реального часу, в тому числі за умови регулювання напруги та управління реактивною потужністю, ліквідації пошкоджень у мережі, реалізації стабільності, планування відключень, а також виконання вимог щодо обміну інформацією між диспетчерськими центрами (ДЦ) окремих енергосистем об'єднання.

Суть критерію безпеки "n-1" полягає в тому, що втрата елемента (обладнання, будь-якої лінії електропередачі, трансформатора) або елементів, наприклад, дволанцюгової ЛЕП, не повинна загрожувати безпеці об'єднаної роботи, викликати каскад відключень або втрату значної кількості навантаження.

Висновок

Для забезпечення стійкої та надійної роботи і підвищення пропускнуєї спроможності ЕМ з урахуванням критерію "n-1" в ОЕС України може використовуватися протиаварійна автоматика (ПА). Багаторічна практика довела її ефективність і надійність, однак у ринкових умовах подальше застосування ПА вимагатиме спеціального обґрунтування при укладанні контрактів на постачання електроенергії. Аналіз результатів розрахунків свідчить, що в більшості частин ОЕС України вимоги за критерієм "n-1" забезпечуються. Однак у ряді режимів видача потужності АЕС можлива лише із застосуванням ПА. Для забезпечення нормативних умов видачі повної потужності діючих енергоблоків АЕС ОЕС України необхідна реалізація проектних схем їхніх електричних зв'язків.

Щоб привести стан ЕМ ОЕС України у відповідність до вимог ЕО ENTSO-E, передбачається спорудження об'єктів, які мають забезпечити: видачу потужності електростанцій та формування системоутворюючої ЕМ ОЕС України для передачі потужності з надлишкових західних регіонів України в дефіцитні центральний та східний регіони; зміцнення міждержавних електричних зв'язків для збільшення експортних поставок електроенергії; надійне електропостачання споживачів від генеруючих джерел ОЕС України.

Список використаної літератури

1. **Кириленко О. В.** Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / О. В. Кириленко, В. В. Кулик, Ю. Г. Ведмідь // Технічна електродинаміка. — 2018.
2. **Базиліук О. Б.** Проблеми балансування та забезпечення надійності ОЕС України в умовах лібералізації ринку / О. Б. Базиліук // Енергетика: економіка, технології, екологія. — 2021. — № 2.
3. **Стогній Б. С.** Автоматизація та цифровізація систем диспетчерського управління об'єднаних енергосистем / Б. С. Стогній, М. Ф. Сопель. — К.: Наукова думка, 2019.
4. **Праховник А. В.** Мала та рассредоточена генерація в інфраструктурі інтелектуальних енергосистем (Smart Grid) / А. В. Праховник // Енергоефективність. — 2020.
5. **Кулик В. В.** Оптимізація використання протиаварійної автоматики на АЕС в умовах критерію безпеки "n-1" / В. В. Кулик, А. М. Ковальчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2022.

Царук Д.В.

*аспірант кафедри водної інженерії та водних технологій
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
d.v.tsaruk@nuwm.edu.ua*

Приходько Н.В.

*к.т.н, доцент кафедри водної інженерії та водних технологій
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
n.v.prihodko@nuwm.edu.ua*

Рокочинський А.М.

*д.т.н, професор кафедри водної інженерії та водних технологій
Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне
a.m.rokochinskiy@nuwm.edu.ua*

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РЕСУРСООЩАДЛИВОГО ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ ЩОДО СУЧАСНИХ ЗМІННИХ УМОВ І ВИМОГ

Вступ. Сучасне аграрне виробництво стикнулося з низкою проблем глобального характеру, таких як продовольча, водна й енергетична кризи, які щорічно посилюються у результаті кліматичних змін. В Україні дана проблема, окрім глобальних викликів, загострюється і внутрішніми загрозами, пов'язаними насамперед із повномасштабним вторгненням та його впливом на водні, енергетичні й земельні ресурси нашої країни.

Зокрема, з початком повномасштабної війни втрати посівних площ України, що спричинені тимчасовою окупацією та воєнними діями, склали понад 25% від їх загального фонду, а основна частина цих втрат — це високопродуктивні зрошувані землі сходу та півдня країни. Після підриву Каховської ГЕС, окрім подальшої втрати високопродуктивних посівних площ, критичного рівня досягла і без того актуальна як на регіональному, так і планетарному рівнях проблема дефіциту водних ресурсів для зрошення, саме Каховське водосховище забезпечувало водою південь нашої країни — лівобережжя Херсонщини, частково Запорізької й Дніпропетровської областей.

Наразі основна площа доступних для аграрного виробництва зрошуваних земель знаходиться в Одеській області – 226 тис. га, з яких фактично зрошуються менш як 42 тис. га. Важливо зазначити, що основна частка цих посівних площ – це зрошувані землі Придунайських рисових зрошувальних систем (РЗС), розташованих у дельті р. Дунай [1, 2].

У зв'язку з цим, саме Придунайські РЗС та їх зрошувані землі наразі є головним стратегічно важливим ресурсом вітчизняного аграрного виробництва, від ефективності використання якого залежить продовольча безпека нашої країни й не тільки.

Загальновідомо, що рисівництво є однією з найбільш водо- та енергозатратних галузей аграрного виробництва. Це зумовлено біологічними особливостями провідної культури рисової сівозміни, а саме технологією її зрошення затопленням, а також специфічними умовами функціонування

більшості рисових систем, обумовлених складними гідрогеологічними умовами зони їх розташування [1, 2 та ін.].

У лютому цього року Президент України підписав Закон України про ратифікацію Грантової угоди між Урядом України та Урядом Італійської Республіки щодо реалізації проекту з підвищення ефективності використання водних ресурсів в Одеській області, що передбачає залучення 6 млн євро грантового фінансування, яке буде спрямовано на відновлення Татарбунарської та Кілійської РЗС у складі Придунайських РЗС. Проект передбачає модернізацію насосного обладнання, очищення каналів та впровадження автоматизованих систем для забезпечення стабільного зрошення, підвищення врожайності культур рисової сівозміни й раціонального використання водно-енергетичних ресурсів [3].

Такі ініціативи закордонних партнерів та дії керівництва нашої країни підтверджують важливість підвищення ефективності водо- та енергокористування рисових зрошувальних систем у цілому, а також необхідність наукового обґрунтування ресурсоощадливих параметрів водо- та енергокористування на рисових зрошувальних системах Придунав'я відповідно до сучасних змінних умов і вимог.

Основна частина. Удосконалення водо- та енергокористування на рисових системах як складних природно-технічних та еколого-економічних об'єктах є мультизадачею, вирішення якої потребує застосування відповідних комплексних та системних підходів до її розв'язання як складової підвищення загальної ефективності функціонування РЗС.

Першочергово, це потребує комплексного аналізу і дослідження ефективності функціонування Придунайських РЗС, зокрема щодо результатів водо- та енергокористування, а також їх впливу на врожайність культур рисової сівозміни й загальний природно-меліоративний режим на зрошуваних землях рисових систем [4] за багаторічними даними з урахуванням ретроспективних, сучасних та прогнозованих умов, зокрема щодо кліматичних змін.

Узагальнена характеристика динаміки зміни багаторічних даних спостережень на Придунайських РЗС за період понад 50 років, зокрема щодо водо- та енергокористування представлена на рис. 1, де виділено три характерні періоди, які мають низку особливостей, насамперед пов'язаних із погодно-кліматичними умовами, режимно-технологічними та соціально-економічними аспектами, а також вмістом провідної культури затоплюваного рису в сівозміні: *I період (1966–1992 рр.)* – із високим вмістом рису в сівозміні (100–75%), *II період (1993–2001 рр.)* – із низьким вмістом рису в сівозміні (33–30%), *III період (2002–2016 рр.)* – із середнім (60–50%) вмістом рису в сівозміні [1, 2].

Для наосного порівняння та зіставлення результатів функціонування Придунайських РЗС при вирощуванні провідної культури затоплюваного рису та супутніх культур рисової сівозміни наведено відповідні виробничі дані усереднені за період 2013–2023 рр. (табл. 1).

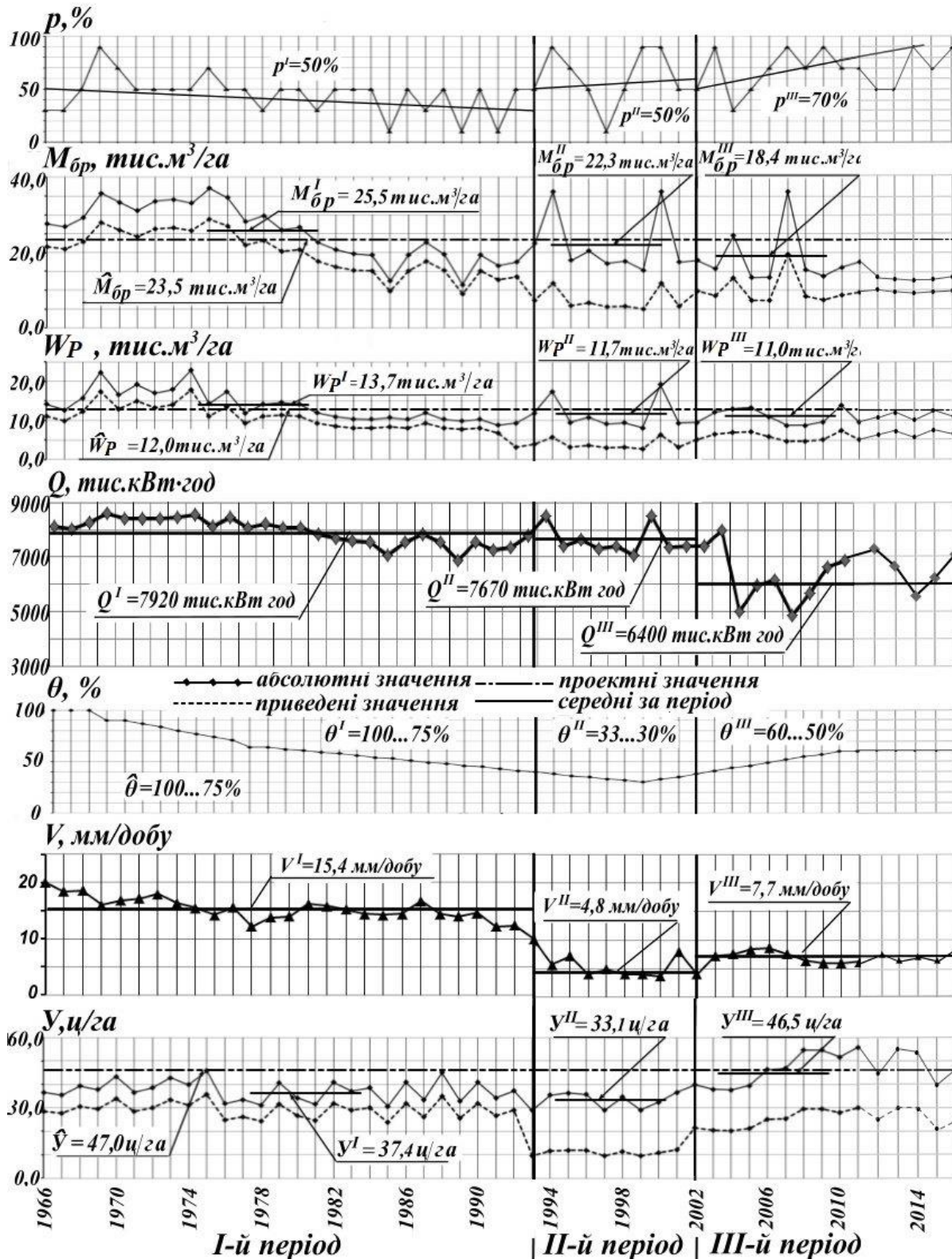


Рис. 1. Динаміка зміни значень критеріїв оцінювання ефективності функціонування Придунайських РЗС у часі: p – комплексний показник тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації; M_{0p} – зрошувальна норма рису брутто; $W_{Pвід}$ – об’єм дренажно-скидних вод; Q – затрати електроенергії на перекачку води; θ – частка рису в сівозміні; V – швидкість фільтрації; Y – врожайність рису

Таблиця 1 – Усереднені значення показників, що характеризують ефективність функціонування Придунайських РЗС за період 2013–2023 рр.*

№ з/п	Показник	Рис	Супутні культури	По системі
-------	----------	-----	------------------	------------

1	площа посіву, тис. га	4,0	2,9	6,9
2	валова продукція, тис. т	22,3	9,4	31,7
3	урожайність, т/га	5,5	3,2	4,5
4	об'єм водозабору, млн м ³	79,2	6,1	85,3
5	затрати електроенергії, млн кВт·год	3,58	0,56	4,14
6	питомі затрати води на одиницю продукції, м ³ /т	3556	649	2691
7	питомі затрати електроенергії на одиницю продукції, кВт·год/т	161	59	131
8	питомі затрати електроенергії на подачу води, кВт·год/ м ³	0,045	0,092	0,049

*Джерело даних: звіти Кілійського міжрайонного управління водного господарства

Висновки. Результати дослідження демонструють, що урожайність основної культури – зрошуваного рису – становить 5,5 т/га на площі 4,0 тис. га. Це вище, ніж показник для супутніх культур, який дорівнює 3,2 т/га на площі 2,9 тис. га. Серед цих супутніх культур переважають зернові, займаючи до 70 % посівних площ. При цьому обсяги використання води та електроенергії для потреб рису, а також інші показники технологічної ефективності його вирощування, суттєво перевищують відповідні значення для супутніх культур. Ця закономірність зберігається в цілому для Придунайських рисових систем, враховуючи умови їх функціонування на сучасному етапі.

Вплив активних кліматичних змін на умови ведення аграрного виробництва та його ефективність, особливо у зоні рисосіяння, потребує насамперед адаптації до прогнозованого зростання затрат водно-енергетичних ресурсів при функціонуванні РЗС, особливо в умовах загострення їх дефіциту та вартості. Відповідно подальше функціонування та розвиток Придунайських РЗС повинні ґрунтуватися на застосуванні нових та прогресивних науково обґрунтованих ресурсоощадливих технологій водо- та енергокористування, що відповідатиме концепції сталого розвитку, насамперед щодо пріоритетності економії дефіцитних й зростаючих у вартості водно-енергетичних ресурсів за умови підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану зрошуваних земель.

Список використаної літератури

1. Рисові зрошувальні системи України: підвищення ефективності їх функціонування : колективна монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН Сташука В.А., д.с.-г.н., проф., акад. НААН Вожегової Р.А., д.т.н., проф. Рокочинського А.М. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2023. 422 с.

2. Рис Придунав'я: [колективна монографія] / за ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, П.І. Мендуся, В.О. Турченюка. Херсон: Грінь Д.С., 2016. 620 с.

3. Уряд України залучає грант на модернізацію державних меліоративних систем: 6 млн євро на зрошення в Одеській області. URL: <https://surl.li/zzlelw>

4. Turcheniuk, V., Rokochinskiy, A., Kuzmych, L., Volk, P., Prykhodko, N.. Formation of a Favorable Filtration Regime of Soils in Saline Areas of the Danube Delta Rice Irrigation Systems. Archives of Hydroengineering and Environmental Mechanics. 2023. Volume 70. Issue 1. pp. 115–128. DOI: 10.2478/heem-2023-0008

5. Rokochynskiy A., Turcheniuk V., Prykhodko N., Volk P., Gerasimov Ie., Cengiz Koç. Evaluation of Climate Change in the Rice-Growing Zone of Ukraine and Ways of Adaptation to the Predicted Changes. Agricultural Research, 2020. 9(4), P. 631-639. DOI: 10.1007/s40003-020-00473-4.

УДК 626.82/.83:626.86

Гурин В.А., д.т.н., професор (*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне*)

Пашинський М.А., здобувач вищої освіти першого рівня (*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне*)

Кузьмич Л.В., д.т.н., професор (*Херсонський аграрно-економічний університет, м. Херсон*)

Кузьмич С.А., здобувач вищої освіти третього рівня (*Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України, м. Київ*)

Казмірчук А.С., здобувач вищої освіти другого рівня (*Херсонський аграрно-економічний університет, м. Херсон*)

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОБ'ЄМНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ ПОТОКІВ У РУСЛІ ВОДОПРИЙМАЧА ВІД ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Очищення відкритих водотоків, каналів і водоприймачів від хімічних забруднень є одним із ключових напрямів забезпечення екологічної безпеки водних ресурсів, стабільної роботи меліоративних систем та належного функціонування гідротехнічних споруд. Актуальність цієї проблеми суттєво зростає в умовах посиленого антропогенного впливу, розвитку інтенсивного сільськогосподарського виробництва, воєнних загроз і загального погіршення екологічного стану поверхневих вод.

Корисна модель належить до сфери гідротехнічного будівництва та охоплює роботи, пов'язані з регулюванням русел річок і каналів, експлуатацією водоприймачів, підтриманням належного екологічного стану водойм і керуванням режимами течії та стоку. Запропонований спосіб орієнтований на підвищення ефективності очищення водних потоків у руслах водоприймачів від хімічних домішок шляхом активізації природних механізмів самоочищення водного середовища.

Відомий спосіб механічного очищення русел річок і каналів із використанням водоплаваючих технічних засобів [1]. Однак такий підхід характеризується недостатньою ефективністю та низькою продуктивністю в умовах постійної зміни обсягів забруднення, а також зміщення забрудненої плями за течією.

Також відомий спосіб очищення водоприймачів із застосуванням мікробіологічних препаратів та подальшою аерацією води [2]. Недоліками цього способу є потреба у спеціальній підготовці біологічних реагентів, складність їх використання в руслових потоках та недостатня швидкість реагування на зміну концентрації й характеру забруднення.

Метою корисної моделі є активізація природних процесів самоочищення відкритих водойм шляхом посилення дифузійних процесів, турбулентного перемішування та поступової нейтралізації забруднюючих речовин без значного антропогенного втручання.

Поставлена задача досягається тим, що у способі об'ємного очищення потоків води в руслі водоприймача від хімічного забруднення, який передбачає механічне внесення реагентів на поверхню води, додатково облаштовують тимчасовий пост постійного спостереження. На цьому посту здійснюють безперервний контроль параметрів водного потоку, концентрації та виду забруднення, а також оперативне дозоване введення відповідного хімічного реагенту залежно від характеристик забруднювача.

Реалізація способу відбувається таким чином. Під час руху водним потоком ядро плями хімічного забруднення поступово видовжується та змінює свою конфігурацію внаслідок нерівномірності швидкостей у поперечному перерізі потоку. На межах водогосподарських ділянок створюють тимчасові пости постійного спостереження, через які проходить забруднений потік.

Під час проходження видовженої плями забруднення виконують її безперервне локальне оброблення малими дозами хімічного реагенту. Внесений реагент взаємодіє із забруднюючими речовинами та переноситься потоком води у нижній б'єф. У результаті турбулентного перемішування та дифузійних процесів забезпечується інтенсивне змішування реагенту із забрудненою водою, що сприяє активізації процесів нейтралізації та природного самоочищення.

У подальшому відбуваються процеси коагуляції та флотації забруднюючих часток із формуванням флокул, які осідають на дно водоприймача або переміщуються до прибережної зони. Свіжі мулові відкладення під дією турбулентного потоку частково розмиваються, дрібнодисперсні частинки транспортуються у завислому стані, а більш крупні тверді відклади переміщуються по дну за рахунок кінетичної енергії потоку.

Для підвищення ефективності очищення у руслі водоприймача чи каналу можуть додатково створюватися локальні турбулентні режими течії шляхом улаштування мініпідпорів або інших елементів регулювання потоку. Це забезпечує інтенсивніше вертикальне та горизонтальне перемішування водних мас, покращує насичення води киснем, активізує окислювальні процеси та сприяє пришвидшенню природної мінералізації органічних домішок.

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує екологічно безпечне та енергоефективне очищення водних потоків від хімічного забруднення завдяки використанню природних процесів самоочищення, турбулентного перемішування та дифузії. Використання малих доз реагентів дозволяє знизити антропогенне навантаження на довкілля, підвищити ефективність очищення та покращити екологічний стан поверхневих вод.

Крім того, запропонований підхід сприяє підвищенню надійності та оперативності проведення робіт з очищення водойм і каналів, оптимізації витрат реагентів та покращенню технічного стану водогосподарських систем.

Список використаних джерел

1. Гурин В.А., Хайтул Н.В. Технологія ремонтно-експлуатаційних робіт. – Рівне: НУВГП, 2010. – 245 с.

2. Гурин В.А., Кузьмич Л.В., Кузьмич С.А., Радчук М.І. Патент на корисну модель UA №156802 «Спосіб об'ємного гідравлічного очищення русла водоприймача чи каналу від мулу» Бюл.№32 від 07.08.2024р.

3. Гурин В.А., Пашинський М.А., Кузьмич Л.В., Кузьмич С.А. Патент на корисну модель UA №159351 «Спосіб об'ємного очищення потоків води в руслі водоприймача від хімічного забруднення». Опубліковано 14.05.2025, Бюл. №20.

Наукове видання

Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: збірник наукових праць. – 8-й випуск. Кропивницький - Херсон: ХДАЕУ, 2026. – 117 с.

*Збірник наукових праць видається за підсумками щорічної
Міжнародної науково-практичної конференції
«Сучасні технології та досягнення інженерних наук
в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії»*

*Формат А4
Гарнітура Times New Roman
Умовних друкованих аркушів 13,4*