



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.62:631.67

© 2023

ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЗРОШЕННЯ В УКРАЇНІ НА ОСНОВІ ОЦІНКИ ЇХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

*М.І. Ромащенко¹, Р.В. Сайдак², М.В. Яцюк³,
Т.В. Матяш⁴, Д.Я. Строкон⁵, В.М. Попов⁶, В.В. Книш⁷*

^{1, 6}доктори технічних наук

²кандидат сільськогосподарських наук

³кандидат географічних наук

⁴кандидат технічних наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН

вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна

e-mail: ¹mi.romashchenko@gmail.com, ²saidak_r@ukr.net, ³mv_yatsiuk@ukr.net,

⁴t.v.matiash@gmail.com, ⁵dmitry.strokon@gmail.com, ⁶v_popov15@ukr.net, ⁷iwpim27@gmail.com

ORCID: ¹0000-0002-9997-1346, ²0000-0002-0213-0496, ³0000-0002-5535-715X,

⁴0000-0003-1225-086X, ⁶0000-0003-2024-0290, ⁷0000-0002-3220-9883

Надійшла 28.11.2022

Мета. Оцінити енергоефективність подачі води для зрошення з урахуванням технічного стану міжгосподарської інженерної інфраструктури та визначити основні напрями її модернізації. **Методи.** Дослідження проведено із застосуванням системного аналізу даних технічних і фінансових звітів Держводагентства України, інвентаризації, технічного, енергетичного та фінансово-економічного аудиту. **Результати.** Проаналізовано сучасний стан зрошення в Україні, визначено основні проблеми та напрями його розвитку, проведено комплексний аналіз технічного стану та наявного потенціалу меліоративної інфраструктури, зокрема міжгосподарської інженерної інфраструктури зрошувальних мереж на прикладі Нижньо-Дністровської зрошувальної системи (НДЗС). Установлено, що обладнання насосних станцій НДЗС зношене й амортизоване, перебуває в украї незадовільному технічному стані, втрати води під час транспортування сягають 32 – 35% від первинного водозабору, інженерна інфраструктура практично вичерпала свій ресурс і за технічним станом та параметрами не відповідає належному рівню. Визначено середні питомі витрати електроенергії на перекачку води, встановлено, що експлуатація застарілого обладнання здійснюється в умовах жорсткого дефіциту бюджетного фінансування, що практично відсутні фінансові можливості для здійснення поточних і капітальних ремонтів обладнання та споруд. За результатами проведеного техніко-економічного аналізу та енергетичного аудиту розраховано загальну

потребу інвестицій на розробку і впровадження проєкту із модернізації та реконструкції НДЗС. Висновки. Сучасний стан зрошення в Україні не відповідає вимогам сьогоднішнього дня ні за обсягами використання наявного потенціалу, ні за енергоефективністю процесу подачі води. У подальшому ефективне використання наявного потенціалу зрошення можливе лише за умови розроблення та реалізації інвестиційних проєктів із модернізації зрошувальних систем. Реалізація таких проєктів дасть змогу підвищити енергоефективність процесу водоподачі щонайменше на 30% та забезпечити можливість нарощування площ поливу до рівня, за якого витрати на експлуатацію систем зрошення покриватимуться за рахунок плати за подачу води для зрошення та інші послуги.

Ключові слова: зрошення, аудит, технічний стан, енергоефективність, модернізація, вартість водоподачі.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202301-07>

Загальноновизнаним є факт наявності в Україні значних можливостей для нарощування обсягів виробництва сільськогосподарської продукції [1]. Значимість і важливість експорту на світові продовольчі ринки зерна та іншого продовольства особливо актуалізувалися через зриви поставок у середині 2022 р. внаслідок воєнної агресії РФ. Зрозуміло, що і зриви поставок через воєнні дії, і агресію РФ можна розцінювати як явища тимчасові. На противагу їм тривалим процесом є глобальне потепління, яке в Україні проявляється у швидкому зростанні середньорічної температури повітря (понад 0,6°C/10 років порівняно з 0,42°C у Європі) і супроводжується прогресуючим погіршенням умов природного вологозабезпечення, що значно ускладнює можливості для ведення майже на половині території України сталого та ефективного землеробства без необхідності зрошення [2]. Зазначений фактор поряд із вимогами мінімізувати вплив антропогенної діяльності на подальший розвиток процесу потепління, висунутими Паризькою кліматичною угодою, потребує також реалізації адаптаційних заходів, здатних зменшити негативний вплив глобального потепління на умови ведення сільськогосподарського виробництва. В Україні до числа таких заходів належать передусім зрошення і дренаж, що розцінюються як найбільш радикальні та ефективні інструменти поліпшення умов природного вологозабезпечення, а отже, і створення

умов для сталого ведення землеробства з гарантованою прогнозованою продуктивністю сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень. Необхідність розроблення й реалізації на рівні держави програмного документа з відновлення та розвитку зрошення і дренажу в Україні зумовлене не лише стрімким потеплінням, а й украй неефективним використанням створеного ще за часів СРСР потужного водогосподарсько-меліоративного комплексу, який станом на 1 січня 2022 р. був здатний охопити 2,17 млн га зрошуваних і 3,2 млн га дренажних площ [3]. На жаль, цей воістину безцінний арсенал за цільовим призначенням — для проведення поливів та здійснення водорегулювання — використовується неповністю: у 2021 р. (до початку агресії РФ) приблизно на 520 тис. га земель функціонували системи зрошення і на 300 тис. га — системи дренажу [4]. Тому основним завданням розробленої і схваленої Кабінетом Міністрів України «Стратегії зрошення і дренажу в Україні на період до 2030 року» [5] є збільшення площ зрошення на 1,0–1,2 млн га. Його виконання потребує здійснення цілого комплексу заходів — від розроблення та прийняття нових законів до застосування новітніх техніко-технологічних рішень, спрямованих на значне покращення технічних можливостей систем зрошення. Пріоритетними в переліку цих заходів є ті, що спрямовані на підвищення енергоефективності водоподачі для зрошувальних систем.

Визначальна роль завдання з підвищення енергоефективності водоподачі при реалізації проєктів з модернізації наявних зрошувальних систем зумовлена високою енергоємністю процесу водоподачі. Причин такого стану є кілька. Відомо, що абсолютна більшість зрошувальних систем України спроектована та побудована ще за часів СРСР, тобто до 1991 р. Зрозуміло, що встановлене на них насосно-силове обладнання — від головних насосних станцій до станцій перекачки та підкачки — є застарілим і таким, що характеризується значно вищим (на 20–30%) рівнем питомих витрат електроенергії на 1 м³ води у порівнянні з новітніми зразками. На додаток до конструктивно-застарілого (відсутність регульованого приводу) насосно-силового обладнання, низька енергоефективність процесу водоподачі на зрошувальних системах України зумовлюється низкою інших факторів, у тому числі високими витратами води на шляху її транспортування через відсутність протифільтраційних покриттів або дуже низькі показники їх ефективності внаслідок тривалої експлуатації. В результаті цього середньозважені втрати води від фільтрації з каналів перевищують 30%, а на окремих, побудованих у 60–70-х роках ХХ ст. зрошувальних системах, зокрема на Інгулецькій, перевищують 50% [6].

На рівень енергоефективності зрошення в Україні впливає і необхідність транспортування води на великі відстані від джерел її постачання. Регіони України, що найбільше потребують зрошення, недостатньо забезпечені власними водними ресурсами, тому збільшення площ іригації в них можливе передусім за рахунок використання поверхневих вод після попередньої їх акумуляції в спеціально створених водосховищах. Зокрема Каховське водосховище на р. Дніпро є джерелом зрошення і водопостачання для АР Крим, Миколаївської, Херсонської, Запорізької, Дніпропетровської та Кіровоградської областей [7, 8]. Як наслідок, виникає потреба у транспортуванні води на великі відстані (наприклад, загальна протяжність Північно-Кримського каналу сягає 402 км), а також, з огляду на пересічний рельєф місцевості, в установленні на шляху транспортування додаткових, зазвичай кількох, насосних станцій перекачки. В підсумку

питомі витрати електроенергії на подачу води для зрошення значно зростають. У поєднанні з тим фактом, що на всіх насосних станціях, як уже зазначалося, використовується застаріле, вкрай енергонеефективне насосно-силове обладнання, вартість води для зрошення, в структурі якої ціна електроенергії становить 70–80%, стає економічно непривабливою для ефективного ведення зрошення [9].

На енергоефективність процесу водоподачі негативно впливає і використання для поливу застарілих типів дощувальних машин із гідроприводом [10]. Їх застосування зумовлює необхідність подачі води по трубопровідних мережах під високим тиском (7–10 атм), що супроводжується великими втратами напору [11]. Зважаючи на перелічені причини енергонеефективності процесу подачі води на більшості зрошувальних систем, одним із основних завдань уже згадуваної «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» визначено покращення саме цього показника. Це завдання може бути виконано під час реалізації інвестиційних проєктів із відновлення зрошення завдяки заміні насосно-силового обладнання на головних насосних станціях, станціях перекачки та підкачки, здійсненню протифільтраційних заходів у мережах транспортування води [12–14], оснащенню міжгосподарських мереж сучасними засобами обліку води, автоматизації процесів водоподачі, водорозподілу та водовідведенню [13], переведенню зрошення на застосування переважно малонапірного та низькоінтенсивного дощування [14], використанню систем краплинної зрошення й інформаційно-дорадчих, а також інформаційно-аналітичних систем управління поливами [15].

Мета досліджень — оцінити енергоефективність подачі води для зрошення з урахуванням технічного стану міжгосподарської інженерної інфраструктури та визначити основні напрямки її модернізації.

Матеріали та методи. Дослідження виконано на одній із найстаріших в Україні зрошувальній системі — Нижньо-Дністровській.

Аналіз і моделювання проведено на основі даних технічних і фінансових звітів Держводагентства України з урахуванням

результатів інвентаризації, технічного, енергетичного та фінансово-економічного аудиту роботи НДЗС, із використанням методик і рекомендацій з оцінювання технічного стану каналів меліоративних систем, енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем, функціонування зрошувальних систем за техніко-технологічними й економічними показниками, норм витрат електроенергії та палива на подачу води для зрошення, оцінювання технічного стану насосних агрегатів за рівнями вібрації та показниками енергоефективності [16–18].

Результати досліджень. НДЗС розташована на лівому березі Дністровського лиману в Одеському р-ні Одеської обл., експлуатується близько 50 років. Площа, на яку розраховувалася НДЗС після введення в експлуатацію, становила 37,6 тис. га. В 1996 р. фізична площа поливу дорівнювала 29,3 тис. га (максимальна, що була зафіксована за час експлуатації). У період з 1999-го по 2020 р. площі поливу скоротилися з 24,2 до 9,5 тис. га. Водозабір на потреби НДЗС здійснюється з річки Дністер по підвідному каналу довжиною 800 м і шириною 45 м. Від головної насосної станції (ГНС) вода двома нитками напірного трубопроводу довжиною 4,2 км та діаметром 1,8 м подається на висоту 102 м у 2 розподільчі басейни. Загальну схему НДЗС наведено на рис. 1.

Далі, згідно з проєктом, через розгалужену систему міжгосподарських каналів, трубопроводів, водосховищ і 3 насосні станції (НС) перекачки (рис. 2) вода має подаватися на 29 НС підкачки. Загальна довжина зрошувальної мережі становить 753 км, з них 558 (79%) – це закрита її частина, а 195 км – відкрита.

Як засвідчили результати технічного та енергетичного аудиту, наразі обладнання насосних станцій на НДЗС повністю зношене, тобто перебуває у вкрай незадовільному технічному стані, із 29 НС підкачки функціонують лише 14 (3 станції – справні, але не діють, 8 – підлягають капітальному ремонту або списанню, 4 станції – зруйновані у 2001–2003 рр.). Втрати води при транспортуванні становлять 32–35% від первинного водозабору.

Господарська діяльність НДЗС у сучасних умовах зводиться до подачі води

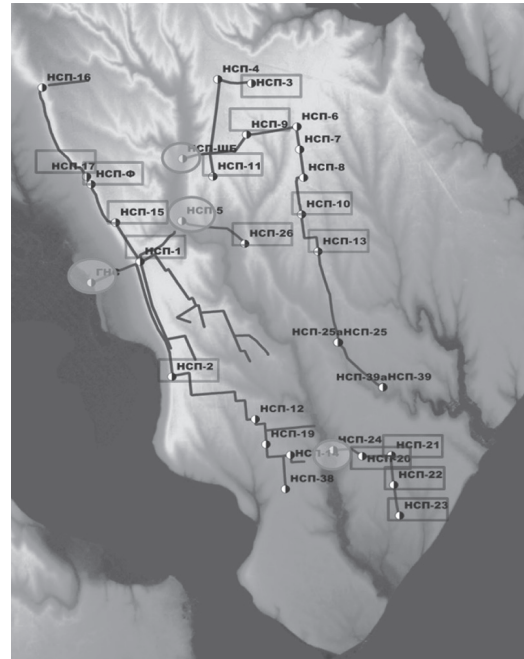


Рис. 1. Загальна схема НДЗС

для зрошення та інших потреб засобами наявної, побудованої ще в 70-х роках минулого століття, інженерної інфраструктури, яка практично вже вичерпала свій ресурс і за технічним станом та параметрами є застарілою. Найбільш критично важливими для системи вважаються ГНС та напірний трубопровід, через можливу зупинку яких існує загроза виходу з ладу всієї НДЗС.

Основний режим роботи системи, передбачений проєктом, – безперервний, цілодобовий, з функціонуванням насосних агрегатів у сталому режимі. Але з 2012 р., через неповне завантаження та з метою здешевлення вартості електричної енергії, водоподача в систему здійснювалася щодоби впродовж 7-ми нічних годин, що призвело до передчасного зношення насосного обладнання.

У 2020 р. із загального водозабору у 38,36 млн м³ на зрошення подано 25,82 млн м³ води, тобто її втрати та технічні витрати разом становили 12,46 млн м³, або 32,7%. Сучасними ультразвуковими витратомірами комплексами на НДЗС оснащені лише 8 НС, на інших станціях пристрої водообліку

відсутні і використовується так званий непрямий водооблік, тобто адекватна система обліку води та диспетчерського управління відсутня.

Середній показник питомих витрат електричної енергії на одну перекачку води в НДЗС у розрахунку на 1000 м³ об'єму, за звітними даними, становив 351 кВт·год.

Експлуатація застарілого обладнання здійснюється в умовах жорсткого дефіциту бюджетного фінансування (кошти виділяються лише на заробітну плату обслуговуючого персоналу та, частково, на оплату електроенергії) за практично повної відсутності фінансових можливостей для здійснення поточних і капітальних ремонтів обладнання й споруд.

Фінансове забезпечення експлуатації НДЗС у 2020 р. було сформовано на 66% із коштів державного бюджету і на 34% за рахунок надходжень від водокористувачів (максимальний показник за останні 10 років). Цей рівень фінансування забезпечує лише покриття мінімальної по галузі оплати праці, тобто не покриває капітальні видатки та можливість розвитку системи зрошення. Така ситуація виникла у зв'язку з тим, що існуюча система відшкодування вартості послуг не забезпечує повного фінансування витрат на подачу води для зрошення і не містить інвестиційної складової, а також через малу площу фактичного поливу (25,3% від проєктного).

Результати виконаних аудитів дали можливість визначити основні проблеми діяльності НДЗС:

- відсутність системи автоматизованого обліку води та процесу водорозподілу – неможливість забезпечити контроль та повний облік води, а також оцінити об'єм і причини її втрат;
- застарілі типи та відпрацьований ресурс насосно-силового обладнання — неможливо забезпечити подачу води на проєктну площу поливу, а також гарантувати безперебійність цього процесу через аварійні зупинки обладнання та великі питомі витрати електроенергії;
- незадовільний технічний стан мереж транспортування та водорозподілу — низька протифільтраційна здатність

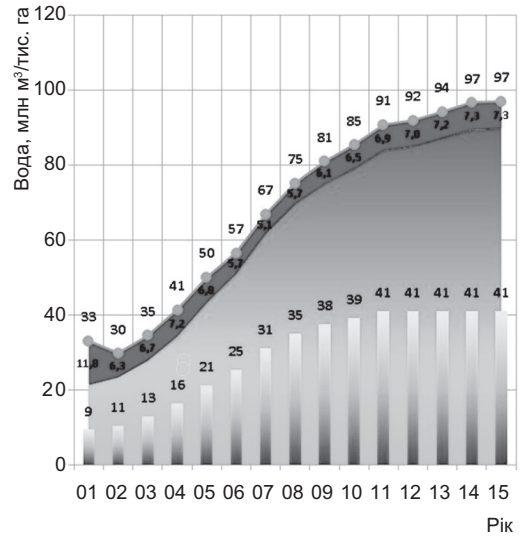


Рис 2. Проєктні технічні показники роботи НДЗС за умови її повної модернізації та реконструкції: ■ — усі втрати та витрати води, млн м³; ■ — водоподача до точок водовиділу, млн м³; ■ — площа зрошення, тис. га; —●— первинний водозабір, млн м³

облицювань відкритих каналів, велика кількість поривів напірних трубопроводів, значні втрати води від фільтрації та випаровування (високий рівень втрат води у відкритих каналах є однією з ключових складових енергозатратності системи водоподачі);

- незадовільний стан електромереж — значні втрати електроенергії у розподільчих мережах та високі тарифи на електроенергію.

За результатами досліджень обґрунтовано основні складові та напрями реконструкції й модернізації, а саме:

- відновлення, повна реконструкція та модернізація 29 НС (включно з ГНС) із заміною старих енергонеефективних насосних агрегатів на сучасні з регульованим приводом, що забезпечить відповідне підвищення їх енергоефективності;
- проведення протифільтраційних робіт на відкритих каналах, зокрема створення в руслі каналів безнапірних закритих водоводів, що дасть можливість значно зменшити непродуктивні втрати води в процесі її транспортування;

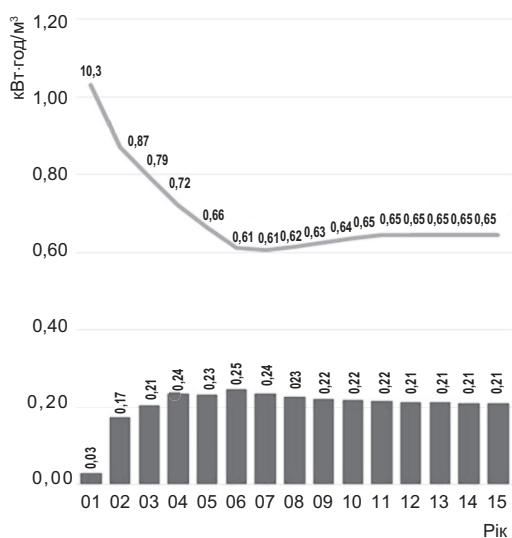


Рис. 3. Проектні показники енергетичної ефективності роботи НДЗС, кВт·год/м³ (у точках водовиділу), за умови її повної модернізації та реконструкції: ■ — сумарна економія електроенергії; ■ — загальна енергоємність кВт·год/м³

- впровадження сучасних систем автоматизованого обліку електричної енергії та води, а також автоматизованої диспетчеризації водорозподілу;
- перехід на застосування низконапірних дощувальних машин із незначною інтенсивністю дощу, систем краплинного зрошення та інформаційних систем управління поливами.

Завдяки впровадженню комплексу заходів із реконструкції НДЗС відповідно до проекту у визначений для кожної насосної станції рік забезпечуватиметься заміна насосно-силового обладнання на сучасне, а отже, енергоефективніше. При цьому ККД насосів має підвищитися до 0,93, а електродвигунів – до 0,98. Це

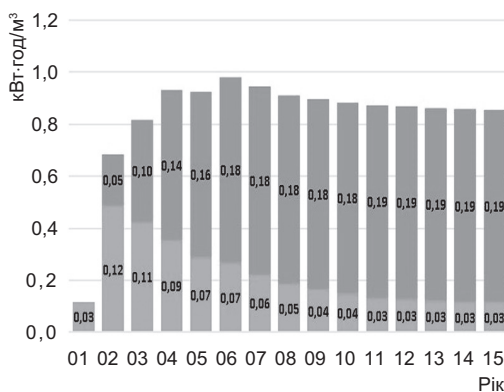


Рис. 4. Динаміка зміни питомої енергоємності води у точка водовиділу: ■ — проектне підвищення енергоефективності НСО; ■ — ліквідація надмірних втрат та витрат води

забезпечить поступове зниження рівня питомого енергоспоживання насосних станцій та системи загалом (рис. 2, 3).

Показник питомої енергоємності 1 м³ води, що її водокористувачі відбирають на полив із точок водовиділу, є одним із комплексних критеріїв оцінки рівня енергетичної ефективності роботи зрошувальної системи. Станом на 2020 р. частка витрат на оплату спожитої електричної енергії в собівартості поданої на зрошення води становила близько 60%. За умови заміни насосно-силового обладнання й повної модернізації системи забору та транспортування води до НС підкачки повна питома енергоємність подачі води у точках водовиділу скоротиться від 1,03 до 0,65 кВт·год/м³, або на 37%. При цьому сумарні витрати електроенергії зменшаться до 0,25 кВт·год/м³ (див. рис. 3). Як знизяться компоненти питомої енергоємності води у ТВВ в разі застосування різних заходів із реконструкції та модернізації, показано на рис. 4.

Висновки

Сучасний стан зрошення в Україні не відповідає вимогам сьогодення ні за обсягами використання наявного потенціалу, ні за енергоефективністю процесу подачі води. Підвищити ефективність використання наявного потенціалу

зрошення у майбутньому вдасться лише за умови розроблення та впровадження інвестиційних проектів із модернізації зрошувальних систем. Основною метою реалізації таких проектів має стати нарощування площ поливу за одночасного

здійснення заходів зі збільшення енерго-ефективності процесу водоподачі на зрошення за рахунок заміни насосно-силового обладнання, проведення протифільтраційних робіт на відкритих каналах, переходу на застосування низьконапірного і малоінтенсивного дощування та різних видів краплинного зрошення, впровадження систем автоматизованого обліку електричної енергії та води,

інформаційно-аналітичних й інформаційно-дорадчих систем управління поливами.

Реалізація таких проєктів дасть змогу підвищити енергоефективність процесу водоподачі щонайменше на 30% та наростити площі поливу до рівня, за якого витрати на експлуатацію систем зрошення покриватимуться за рахунок плати за подачу води на зрошення та інші послуги.

Romashchenko M.¹, Saidak R.², Yatsyuk M.³, Matyash T.⁴, Strokon D.⁵, Popov V.⁶, Knysh V.⁷
Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS, 37 Vasilkovskaya Str., 03022, Kyiv, Ukraine, e-mail: ¹mi.romashchenko@gmail.com, ²saidak_r@ukr.net, ³mv_yatsiuk@ukr.net, ⁴t.v.matiash@gmail.com, ⁵dmitry.strokon@gmail.com, ⁶v_popov15@ukr.net, ⁷iwpim27@gmail.com; ORCID: ¹0000-0002-9997-1346, ²0000-0002-0213-0496, ³0000-0002-5535-715X, ⁴0000-0003-1225-086X, ⁶0000-0003-2024-0290, ⁷0000-0002-3220-9883

Substantiation of directions for modernization of irrigation systems in Ukraine based on the assessment of their energy efficiency

Goal. To assess the energy efficiency of water supply for irrigation, taking into account the technical condition of inter-farm engineering infrastructure and to determine the main directions of its modernization. **Methods.** The research was conducted on the basis of a systematic data analysis of technical and financial reports of the State Water Agency of Ukraine, inventory, technical, energy and financial and economic audit. **Results.** The results of the analysis of the current state are presented, the main problems and directions for the development of irrigation in Ukraine are established, a comprehensive analysis of the technical condition and potential for the use of reclamation infrastructure, in particular, the inter-farm engineering infrastructure of irrigation networks, is carried out using the example of the Lower Dniester Irrigation System (LDIS). It was established that

the equipment of the LDIS pumping stations has long been amortized and is in a very poor technical condition, water losses during transportation are 32–35% of the primary water intake, the engineering infrastructure has practically exhausted its resource and does not meet the required level in terms of technical condition and parameters. The average specific costs of electricity for water pumping were determined, it was established that the operation of outdated equipment is carried out in conditions of a severe deficit of budgetary funding, there are practically no financial opportunities for current and capital repairs of equipment and structures. Based on the results of the technical and economic analysis and the energy audit, the total need for investments for the project of modernization and reconstruction of the NDSS was calculated. **Conclusions.** The current state of irrigation in Ukraine does not meet today's requirements either in terms of the amount of use of the available potential or in terms of the energy efficiency of the irrigation water supply process. Further effective use of the existing irrigation potential is possible only if investment projects for the modernization of irrigation systems are developed and implemented. The implementation of such projects will increase the energy efficiency of the water supply process by at least 30% and ensure the expansion of irrigation areas to the level at which the costs of operating irrigation systems can be covered by fees for supplying water for irrigation and other needs.

Key words: irrigation, audit, technical condition, energy efficiency, modernization, cost of water supply.
DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202311-07>

Бібліографія

1. Romashchenko M., Saidak R., Matyash T., Yatsyuk M. Irrigation efficiency depending on water cost. Land Reclamation and Water Management. 2021. 2. P. 150–159. doi: 10.31073/mivg202102-308
2. Ромащенко М.І., Балюк С.А., Вергунов В.А. та ін. Сталый розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. *Аграрні інновації*. 2020. № 3. С. 56–64. doi: 10.32848/agrar.innov.2020.3.10

3. Огляд стану меліорації в Україні. Офіційний сайт Міністерства аграрної політики та продовольства України. Retrieved from: <https://minagro.gov.ua/napryamki/melioraciya/oglyad-stanu-melioraciyi-v-ukrayini> (дата звернення 17.10.2022)
4. Romashchenko M.I., Husyev Y.V., Shatkovskiy A.P. et al. Impact of climate change on water resources and agricultural production. *Land*

Reclamation and Water Management. 2020. 1. P. 5–22. doi: 10.31073/mivg201902–194. [in Ukrainian]

5. *Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року*: від 14 червня 2019 р. № 688-р. Урядовий кур'єр. 2019. № 170. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80>

6. *Romashchenko M.I., Saydak R.V., Matyash T.V.* Development of irrigation and drainage as the basis of sustainable agriculture in Ukraine in climate change. IX International scientific and technical conference «Modern problems of water management, environmental protection, architecture and construction». 22–27 July. Georgia, P. 243–250.

7. *Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д., Антонюк А.В.* Аналіз функціонування зрошувальних систем за техніко-технологічними та економічними показниками. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 3 (792) С. 50–56. doi: 10.31073/agrovisnyk201903–08.

8. *Зацерковний В.І., Плічко Л.В.* Аналіз системи управління водогосподарським комплексом України та пошук шляхів щодо її вдосконалення. *Наукоємні технології*. 2017. № 4(36). С. 358–367.

9. *Методика визначення норм витрат електроенергії та палива на подачу води для зрошення*. Київ: Мін. АПК, 2008. 25 с.

10. *Методичні рекомендації з ефективного управління водокористуванням на зрошувальних системах*. Київ: ІВПіМ, 2015. 61 с.

11. *Нормування питомих витрат електроенергії та палива на перекачування води насосними станціями*. Методичні вказівки: ВНД 33-3.1–08-2004. Затв. наказом Держводгоспу України від 12.01.2004 р. № 3 Київ, 2004. 30 с.

12. *Попов В.М., Таргоній М.М.* Моделювання динамічних процесів водоподачі та електроспоживання на зрошувальному технологічному комплексі. *Меліорація і водне господарство*. 2014. Вип. 101. С. 179–189.

13. *Romashchenko M.I., Baliuk S.A., Verhunov V.A.* et al. Stalyi rozvytok melioratsii zemel v Ukraini v umovakh zmin klimatu Agrarian innovations. 2020. 3. P. 56–64. doi: 10.32848/agrar.innov. 2020.3.10 [in Ukrainian]

14. *Robles O.* et al. Assessing low-pressure solid-set sprinkler irrigation in maize Agric. Water Manag. V. 191. September 2017. P. 37–49. doi: 10.1016/j.agwat.2017.06.001

15. *Herbei M.V., Sala F.* Use Landsat image to evaluate vegetation stage in sunflower crops. *AgroLife Scientific J*. 2015. 4(1). P. 79–86.

16. *Чернишевська Л.Ю., Ігнатова О.С., Шевчук Я.В.* Методологічне оцінювання технічного стану каналів меліоративних систем. *Меліорація і водне господарство*. 2010. Вип. 98. С. 243–251. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2010_98_27 (дата звернення 17.05.2022)

17. *Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем*: НД 33-6.2-01-2006. Київ: Держводгосп України, 2006. 46 с. (Нормативний документ.)

18. *Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д., Антонюк А.В.* Аналіз функціонування зрошувальних систем за техніко-технологічними та економічними показниками. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 3 (792) С. 50–56. doi: 10.31073/agrovisnyk201903-08