

Лук'янчук О. П., к.т.н., доцент, Рокочинський А. М., д.т.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.p.lukyanchuk@nuwm.edu.ua)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ

Обґрунтовано необхідність і шляхи підвищення енергетичної та вологорегулюючої ефективності глибокого розпушення як ефективного адаптивного агро меліоративного заходу щодо продуктивного використання осушуваних мінеральних ґрунтів в умовах глобальних кліматичних змін і суспільних викликів. За структурною схемою взаємозв'язків різнорідних складових меліоративної системи, як складної природно-технічної еколого-економічної системи, із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення, де меліороване поле є визначальною складовою, виконано системний аналіз факторів впливу, причин та напрямів підвищення їх ефективності за енергозберігаючими і водорегулюючими принципами для покращення еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів. Виокремлено технологію та технічний засіб глибокого розпушення як відповідні складові такої системи, які призначені для зміни макроагрегатного стану продуктивної частини осушуваного ґрунтового масиву і є впливовим ефективним заходом регулювання його водно-повітряного режиму, досягнення необхідного рівня економічної та екологічної ефективності. Визначено, що проблема підвищення загальної ресурсної та еколого-економічної ефективності використання осушуваних мінеральних земель щодо змінюваних сучасних умов та вимог може бути вирішена шляхом удосконалення технологій та технічних засобів їх глибокого розпушення за інноваційними ресурсозберігаючими енергоефективними та вологорегулюючими принципами.

Ключові слова: удосконалення; технологія; технічні засоби; глибоке розпушення; осушуваний мінеральний ґрунт; системна методологія.

Постановка проблеми. Серед найбільших викликів сучасності,

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

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

Останні 100 років використання води для сільськогосподарського виробництва постійно зростає. За даними ФАО, прогнозується зростання об'ємів води на 6% для потреб сільського господарства до 2050 року [1].

Генеральна Асамблея ООН проголосила 2014–2024 рр. Десятиріччям стійкої енергетики. Однією із цілей є подвоєння до 2030 року глобального показника енергетичної ефективності [2].

В прийнятій Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року питання енергоефективності є визначальними для прийняття напрямку модернізації існуючих меліоративних систем [3].

Згідно з [4] внаслідок стійкого підвищення температурного режиму площа території України зі значним дефіцитом природного вологозабезпечення за період 1990–2015 рр. збільшилась на 7%, а з надмірним та достатнім зволоженням навпаки – зменшилась на 10%. Внаслідок таких змін існує висока ймовірність на середньо- та довгострокову перспективу збільшення площ ріллі з недостатнім рівнем зволоження до 20,6 млн га (67%) і 24,9 млн га (80%) з одночасним зниженням площ орних земель з достатнім зволоженням до 5,5–1,8 млн га. Внаслідок цього виникає крайня потреба перегляду традиційних зональних систем землеробства відповідно до сьогоденних реалій в напрямі підвищення рівня використання агро-ресурсного потенціалу з одночасним його збереженням.

Аграрне виробництво в умовах України, в тому числі на меліорованих землях, ускладнюється наявними природно-кліматичними, ґрунтовими та ін. умовами. Особливо це стосується зони Західного Полісся України, де переважають осушені дерново-підзолисті, поверхнево оглеєні ґрунти, які часто мають несприятливі водно-фізичні властивості та загальний еколого-меліоративний стан, що знижує ефективність їх використання.

За усталених кліматичних умов максимальна продуктивність таких земель залежала в основному від ефективності роботи дренажу шляхом переведення поверхневого стоку в ґрунтовий з подальшим його відведенням за межі осушеної території. Підвищення температури повітря, збільшення кліматичного дефіциту та посилен-

ня посушливості в регіоні неминуче призводить до збільшення сумарного випаровування та загальної водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур, в тому числі і на землях з регульованим водним режимом (осушувані землі).

Отже, проблема підвищення ефективності використання сільськогосподарських угідь в зоні осушувальних меліорацій не втрачає своєї актуальності і сьогодні, а тільки посилюється насамперед через зміни клімату, несприятливі водно-фізичні властивості ґрунтів та їх незадовільний еколого-меліоративний стан. Це призводить до зниження рівня врожайності вирощуваних культур та недоотримання вирощуваної сільськогосподарської продукції на землях з регульованим водним режимом, зниження ефективності їх використання.

Зміна природних умов визначає необхідність зміни вимог для раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель. Внаслідок чого надзвичайно актуальним постає питання щодо зміни підходів до функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів.

Для ефективного протистояння сучасним викликам енергетичної, продовольчої та водної криз, які посилюються внаслідок наявних змін клімату [5–8], у числі інших найбільш важливих досліджень з адаптації аграрного виробництва до змін клімату в цілому, дослідження для зони осушувальних меліорацій насамперед повинні бути спрямовані на розробку інноваційних енерго-, водо- та ресурсозберігаючих технологій і новітніх технічних засобів водорегулювання тощо.

У загальному випадку це можливо на підставі розробки комплексу адаптивних, в тому числі агро-меліоративних заходів, спрямованих на ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі і в межах системи, перехід від традиційного періодичного на реалізацію і забезпечення регулярного зволоження осушуваних земель, удосконалення технологій їх водорегулювання, типів меліоративних систем тощо [5].

Їх зміна повинна бути направлена на удосконалення технологій та засобів обробки осушуваних ґрунтів, спрямованих на поліпшення їх водно-фізичних властивостей і акумулюючої здатності на підставі подальшого удосконалення технологій і засобів глибокого розпушення ґрунтів за енергоефективними та ресурсозберігаючими принципами, що дасть змогу ефективно акумулювати вологу в ґрунтовому профілі і на осушуваному масиві в цілому [5].

Традиційне глибоке розпушення відіграло важливу роль при

регулюванні водно-повітряного режиму осушуваних ґрунтів, оскільки водно-фізичні властивості ґрунтів і після дренажу часто залишалися загалом несприятливими. У періоди перезволоження традиційне глибоке розпушення сприяло прискореному звільненню орного шару від надлишку вологи, прискорювало її переміщення у нижчерозташовані шари, визначало умови роботи закритого систематичного дренажу шляхом збільшення навантаження на нього. Передумовою для застосування традиційного глибокого розпушення є тривалі застої води на полях, що утворюються після танення снігу навесні чи після значних та інтенсивних атмосферних опадів.

Але, як показує практика, при використанні традиційного глибокого розпушення ґрунту як додаткового заходу для підвищення ефективності роботи дренажу за щільною чи смуговою технологіями із застосуванням глибокорозпушувачів стоякового типу фактично здійснюється тільки локальний вплив на продуктивну частину ґрунтового масиву (активний кореневмісний шар і зону аерації осушуваного ґрунту) з утворенням вертикальних фільтраційних каналів для інтенсифікації водовідведення поверхневого та ґрунтового стоку. Це дійсно сприяє посиленню технологічного ефекту щодо дренажу, але одночасно з цим посилює і промивний водний режим у ґрунті, що з часом призводить до збіднення родючого шару і спричиняє негативний екологічний ефект.

При цьому конструкції традиційних глибокорозпушувачів виконують фактично досить грубе розпушення, яке не відповідає необхідній якості оструктурення ґрунтів відповідно до агротехнічних рекомендацій агропромисловості [6]. Вони ущільнюють ґрунт стінок прорізуваних щілин, потребують при розпушенні значних енерговитрат, мають недостатню повноту розпушення та тривалість його післядії.

Отже, застосування глибокого розпушення як ефективного адаптивного заходу стримується недосконалістю існуючих технологій і засобів, які не забезпечують необхідну якість та ефективність розпушення, а тому потребують подальшого удосконалення відповідно до таких вимог [7]:

- 1) поліпшувати водно-фізичні властивості та макроструктуру ґрунту з дотриманням агротехнічних рекомендацій агропромисловості;
- 2) забезпечувати високу акумулюючу та сорбційну здатності ґрунту, підвищувати ефективність його водорегулювання;
- 3) забезпечувати тривалу післядію;
- 4) забезпечувати ресурсозбереження, високу економічну та енергетичну ефективність;
- 5) відповідати сучасним принципам адаптивного природокори-

стування.

Таким чином для ефективної реалізації змінюваних підходів необхідно адаптувати існуючі або розробити нові технології та технічні засоби глибокого розпушення для реалізації ефективного водорегулювання меліорованих земель врахувавши вже існуючі досягнення в цих питаннях.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш актуальними є дослідження, спрямовані на вдосконалення водорегулювання меліоративних об'єктів при дотриманні оптимального водно-повітряного і поживного режимів осушуваних ґрунтів, економічних та екологічних вимог згідно з положеннями Стратегії, адже глобальні та регіональні кліматичні зміни істотно вплинули на умови водозабезпечення України [8].

Різними аспектами осушення перезволожених ґрунтів займалися багато різних вчених, зокрема Ф. Р. Зайдельман, П. І. Закржевський, А. М. Янголь, С. Т. Вознюк, В. Є. Алексеєвський, О. Я. Олійник, В. Л. Поляков, А. В. Яцик, Л. Ф. Кожушко, О. В. Скрипник, М. О. Клименко, М. О. Лазарчук та ін. Ними встановлено, що осушення та сільськогосподарське використання змінюють напрямки і темпи розвитку ґрунтових процесів, водно-фізичні властивості ґрунтів, у цілому підвищують їх продуктивність. Але водночас остаточно не усуваються і негативні щодо вирощуваних культур, властивості цих ґрунтів.

Для зменшення та усунення негативних наслідків осушення багато дослідників наголошує на необхідності суміщати влаштування дренажу з низкою агро меліоративних заходів, спрямованих на покращення його макроструктури та водно-фізичних властивостей, збільшення акумуляційної здатності активного шару ґрунту тощо (С. Т. Вознюк, М. О. Клименко, В. Р. Гімбаржевський та ін.).

Необхідність застосування глибокого розпушення як ефективного агро меліоративного заходу на дерново-підзолистих оглеєних ґрунтах у західному регіоні України доведено дослідженнями проведеними С. М. Перехрестом, І. Ф. Підпалім, В. С. Олійником, Д. А. Тютюнником, П. П. Кубишкіним та ін. При цьому відмічалось наявність негативних агро екологічних та техногенних складових впливу на ґрунт технічними засобами для його здійснення [5; 7].

Засновник землеробської механіки академік В. П. Горячкін надавав значної уваги гранулометричному складу обробленого ґрунту, тому що, на його думку, надалі підтверджену М. А. Качинським, І. Б. Ревутом, В. В. Медведєвим та іншими, ступінь дисперсності ґрунту визначає комплекс фізико-хімічних й агро біологічних процесів, що

сприяють підвищенню урожаїв, а зняряддя, за його ж словами, це передавальна ланка енергії від енергозасобу (трактора) до приймача енергії (грунту).

Щодо основ проєктування ґрунтообробних технічних засобів вченими попередніх поколінь О. Н. Соколовським, В. П. Горячкіним, В. А. Желіговським, П. М. Василенком закладена основа для вирішення проблем механізації обробітку ґрунту і його макроагрегатного стану. Досягнення в цій галузі пов'язані з іменами Л. В. Погорілого, М. Н. Нагорного, О. Г. Тарарики, В. В. Медведева, М. К. Шикуди, М. К. Лінника, В. С. Глуховського, І. М. Панова, П. М. Бурченка та ін.

Значний внесок у розробку питань щодо вдосконалення ґрунтообробних робочих органів традиційного типу, процесів їх взаємодії з ґрунтом, кінематики руху та визначення енергетичних витрат внесли вчені А. С. Кушнарьов, Д. Д. Прокопенко, В. І. Корабельський, В. О. Дубровін, М. С. Левчук, І. А. Шевченко, В. М. Булгаков, А. С. Павлоцький, В. П. Ковбаса, В. І. Ветохін та ін. У їхніх роботах значну увагу приділено енергетиці робочого процесу з прив'язкою до зміни фізичного стану ґрунтового середовища і відмічалось значне збільшення енергоємності процесу при збільшенні глибини обробітку.

Питання зниження питомої енергоємності глибокої розробки ґрунту в різних умовах розглядалися в роботах В. І. Баловнева, Ю. О. Вєтрова, Р. Годвіна, Е. Дінглінгера, В. К. Руднева, Р. Л. Турецького, В. І. Уродова, Л. А. Хмари, С. В. Шатова, С. В. Кравця, В. В. Кованька та ін. З них випливає, що при глибокій розробці ґрунту в більшості випадків є доцільність переходу від суцільної вертикальної розробки ґрунтового масиву на його пошарову розробку [9].

Деякі функціональні переваги глибокорозпушувача нового типу з пошаровим відвальним принципом дії були відмічені і в подальшому використанні Кожушком Л. Ф. [10] при застосуванні глибокого пошарового розпушення за смуговою технологією як допоміжного засобу при укладанні та роботі безпорожнинних водоакумулюючих дрен без розгляду акумулюючого потенціалу самого ґрунту.

Методика досліджень. Через наявні зміни до умов та вимог сучасного використання осушуваних земель методологія розгляду технологій і засобів глибокого розпушення поступово змінюється. Існуючі методи обґрунтування технологій і засобів глибокого розпушення як агро меліоративних заходів осушуваних мінеральних ґрунтів потребують змін через надзвичайну складність явищ та процесів перетворення ґрунту та переходу до системного підходу із визначення їх енергоефективності з прив'язкою до загальної ефективності

меліоративної системи в цілому.

За такими системними принципами та науково-методичними підходами В. О. Турченюком (2018) та Герасімовим Є. Г. (2020) було успішно виконано обґрунтування параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водорегулювання на зрошувальних системах різного типу, а Волком П. П. (2020) було удосконалено методи та моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель з акцентом на роботу їх дренажних систем [11–13]. Системність підходу до обґрунтування параметрів робочого органа глибокорозпушувача традиційної конструкції в звичайних умовах для неосушуваних ґрунтів відображено в роботах В. І. Ветохіна (2009) [14; 15].

За раніше проведеними дослідженнями можна виділити загальні підходи до обґрунтування технічних і технологічних рішень з підвищення ефективності використання осушуваних земель на еколого-економічних засадах:

- перехід від усталеної практики розгляду меліоративних об'єктів як суто технічних систем до розгляду як складних природно-технічних систем;
- визначення наявності в такій системі структурного зв'язку між різномірними елементами;
- розробки принципів побудови й реалізації комплексних моделей обґрунтування технологічних та конструктивних рішень.

Вирішення поставленого завдання потребує насамперед розробки моделі системи, де відбуваються складні природно-техногенні процеси з формування водного-повітряного режиму осушуваних земель під дією як некерованих зовнішніх (природних), так і керованих (меліоративних) факторів, що формує загальний еколого-економічний ефект від їх сполученості та значення показників, які їх характеризують.

Такий підхід ґрунтується на застосуванні теорії систем з основами системного аналізу та моделювання при розробці сучасних підходів до обґрунтування технологічних та технічних рішень щодо функціонування осушувальних меліоративних систем із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення на еколого-економічних засадах.

Такі різномірні параметри, як ґрунт, вода, енергія будуть визначальними для такої системи і саме застосування системної методики дозволяє їх об'єднати.

Результати досліджень. Визначення поняття меліоративної системи у свій час було представлено різними дослідниками як: метео-

ролого-економічна система (Жуковський Є. Є., 1981); складна природно-технічна система (Рекс Л. М., 1995; Рокочинський А. М., 2002, 2010 та ін.); організована еколого-економічна система (Фроленкова Н. А., 2006 та ін.); соціо-природно-технічна система (Ковальчук В. П., 2016); складна природно-технічна еколого-економічна система (Рокочинський А. М., 2016; Турченко В. О., 2018; Волк П. П., 2021). За науково-методичними принципами та підходами системної оптимізації до створення та функціонування таких систем ними було успішно виконано обґрунтування оптимальних параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водокористування на зрошувальних та дренажних системах на основі розгляду взаємозв'язку їх різномірних параметрів за схемою виду: **ефект** ↔ **режим** ↔ **технологія** ↔ **конструкція**, що адекватно було відображено при побудові структурної, ієрархічної, аналітичної та інших моделей таких систем [11–13; 16]. Тут розглянуто така сукупність різномірних елементів: стосовно ефекту – інтегральний економічний (врожай вирощуваних культур) та екологічний (еколого-меліоративний стан тощо) ефект на меліорованому полі, для режиму – природно-меліоративний режим, для технології – способи водорегулювання, для конструкції – параметри технічних елементів меліоративної системи.

При вирішенні проблеми системних та фізико-механічних основ проєктування розпушувачів ґрунту, використавши положення загальної теорії систем, В. І. Ветохін [14; 15] описав узагальнюючу картину процесів на основі розгляду взаємозв'язку їх різномірних елементів виду: «**джерело енергії** ↔ **розпушувач** ↔ **ґрунт**» з виходом на врожайність вирощуваних культур і оцінку загальної енергоефективності системи в цілому та на цій основі обґрунтував основи проєктування і розрахунку робочих органів ґрунторозпушувачів за розглядом відповідної сукупності різномірних елементів: джерело енергії – силовий агрегат (потужність тягача), розпушувач – параметри знаряддя, ґрунт – фізико-механічні властивості і структурний стан ґрунту.

Розглянута ним система щодо звичайних багарних полів може бути реалізована як технічна складова і в межах меліорованого поля при додатковому врахуванні технологічних водорегулюючих складових. Оскільки меліороване поле є складовою частиною загальної меліоративної системи для якої нами (Рокочинський А. М. та ін. 2017–2021) вже визначені системні принципи удосконалення на засадах загальної енергоефективності, то об'єднання обидвох підходів дозволить сформулювати принципи удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля за

енергоефективними та водорегулюючими засадами.

На підставі та в розвиток існуючих положень, згідно з загальними принципами системної методології оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах [16], в сукупності з вже згаданими системними підходами для меліоративних систем різного типу [11–13] та технічних засобів глибокого розпушення [14; 15], системна методологія стосовно осушувальної меліоративної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення має розглядатися у структурно-ієрархічному взаємозв'язку технічних засобів і технологій глибокого розпушення з природно-меліоративним режимом та еколого-економічним ефектом, у вигляді структурно-ієрархічної схеми: **конструкція** ↔ **технологія** ↔ **режим** ↔ **ефект** (рис. 1), де сукупність різнорідних елементів буде наступною: стосовно блоку конструкції – параметри технічних засобів глибокого розпушення, для технології – способи зміни стану ґрунту та його водно-фізичні властивості, для режиму – природно-меліоративний режим, для ефекту – інтегральний економічний (врожай вирощуваних культур) та екологічний (еколого-меліоративний стан тощо) ефект на меліорованому полі.

Структурно-ієрархічна схема осушувальної меліоративної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля формалізує питання щодо ієрархічної підпорядкованості її елементів та впливу технічних засобів, а також технологій (способів) їх застосування на інші елементи системи.

В такому випадку, системний підхід включає в себе: розгляд меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення; дослідження її елементів, закономірностей функціонування і розвитку; декомпозицію складних цілей і задач переважно ієрархічної природи, притаманних таким системам; застосування методології низхідної ієрархії аналізу та висхідної ієрархії синтезу при розробці параметричних моделей взаємозв'язку елементів системи і методів їхньої реалізації.

Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємопов'язані між собою як різнорідні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем.

Меліороване поле є визначальною складовою, яка за наявними характерними ознаками в складі меліоративної системи може бути віднесена до складних природно-технічних еколого-економічних підсистем, а технічні засоби можна виділити як технічну підсистему, яка складається із сукупності ієрархічно та енергетично зв'язаних

елементів: ґрунторозпушуючий агрегат, робоче обладнання (знаряддя), тягач, робочі органи.

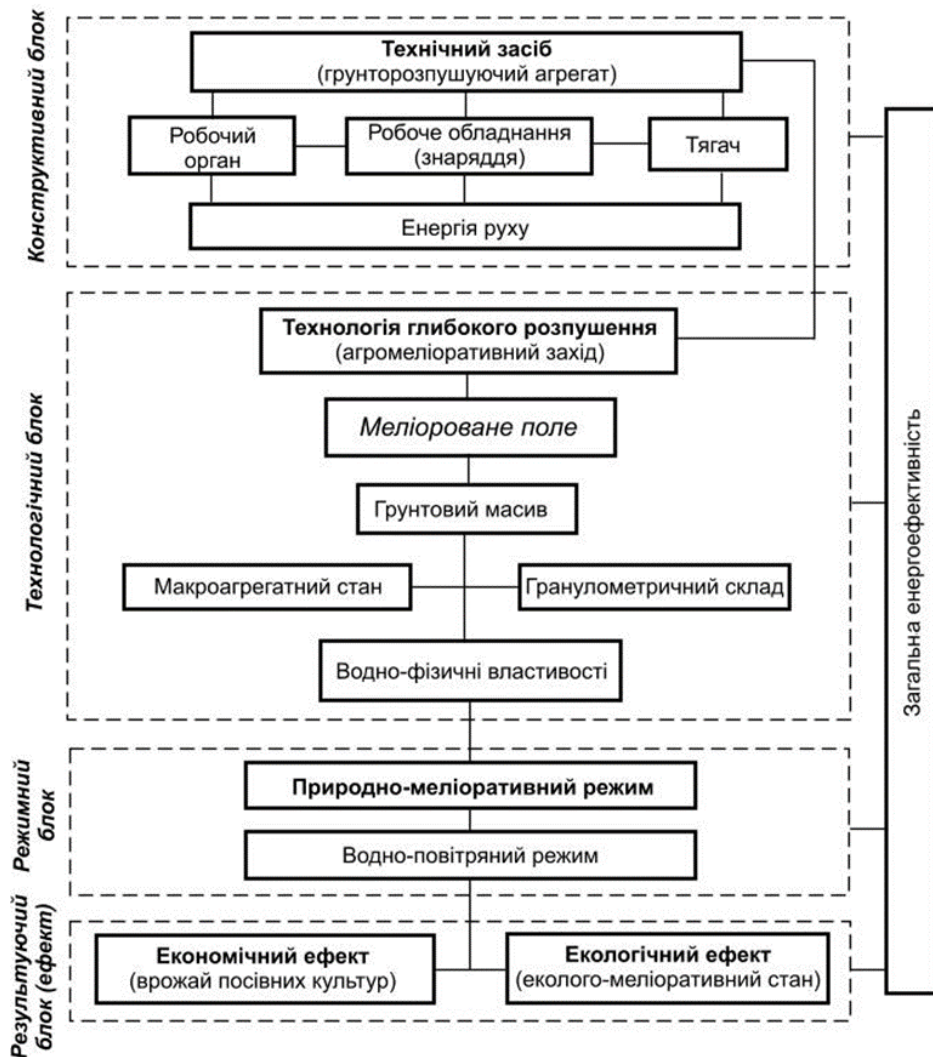


Рис. 1. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку різномірних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля

Функціональним призначенням технічних засобів глибокого розпушення є механічне переформатування макроагрегатного та гранулометричного складу ґрунтового масиву з перерозподілом згі-

дно з технологіями по шарах та по площі меліорованого поля, що через регульовальний вплив на водно-фізичні властивості ґрунту є визначальним для створення технологічних і фізичних передумов встановлення сприятливих водно-повітряного та природно-меліоративного режимів, а отже отримання позитивних економічного та екологічного ефектів.

Економічний результат – урожай на меліорованому полі – це головне завдання меліоративної системи, сумарний обсяг додаткової сільськогосподарської продукції, отримуваної завдяки перетвореним природним умовам.

Отже, вирішення питання ефективності удосконалення технологій і засобів глибокого розпушення необхідно здійснювати на основі оцінки загальної енергоефективності всіх складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи.

Спираючись на оцінку загальної ефективності, існуюча системна методика повинна включати більш детальну оцінку енергетичної, ресурсної ефективності технологій і засобів глибокого розпушення із врахуванням різнорідних за своїм походженням ресурсів (ґрунт, енергія, вода) у їх взаємозв'язку.

У розвиток структурно-ієрархічної схеми взаємозв'язку різнорідних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля (див. рис. 1) на основі деталізації технічного та технічних блоків впливають необхідні принципи удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різнорідних елементів системи (рис. 2).

Рух ґрунторозпушувального агрегату по меліоративному полю зумовлений енергетичними затратами на взаємодію робочих органів з ґрунтовим масивом та забезпечується необхідною потужністю тягача, що визначає загальну енергозатратність процесу.

Параметри енергоємності та параметри водно-фізичних властивостей ґрунту пов'язані через параметри структури ґрунту. Ступінь подрібнення масиву визначає його вологорегулюючі можливості. Чим більш дрібніша структура ґрунту тим більше зростає його вплив на ґрунтову фільтрацію та зростають вологоакумулюючі властивості, але одночасно і значно зростають енергозатрати на їх досягнення.

Отже, існує об'єктивна доцільність зменшення енергетичних затрат на отримання необхідної структури ґрунту для реалізації його вологорегулюючих можливостей.

Оскільки загальну енергозатратність такого процесу визначають технології і технічні засоби, то виникає доцільність удосконалення їх конструкції та методів обґрунтування їхніх параметрів за енергоефективними та вологорегулювальними принципами.

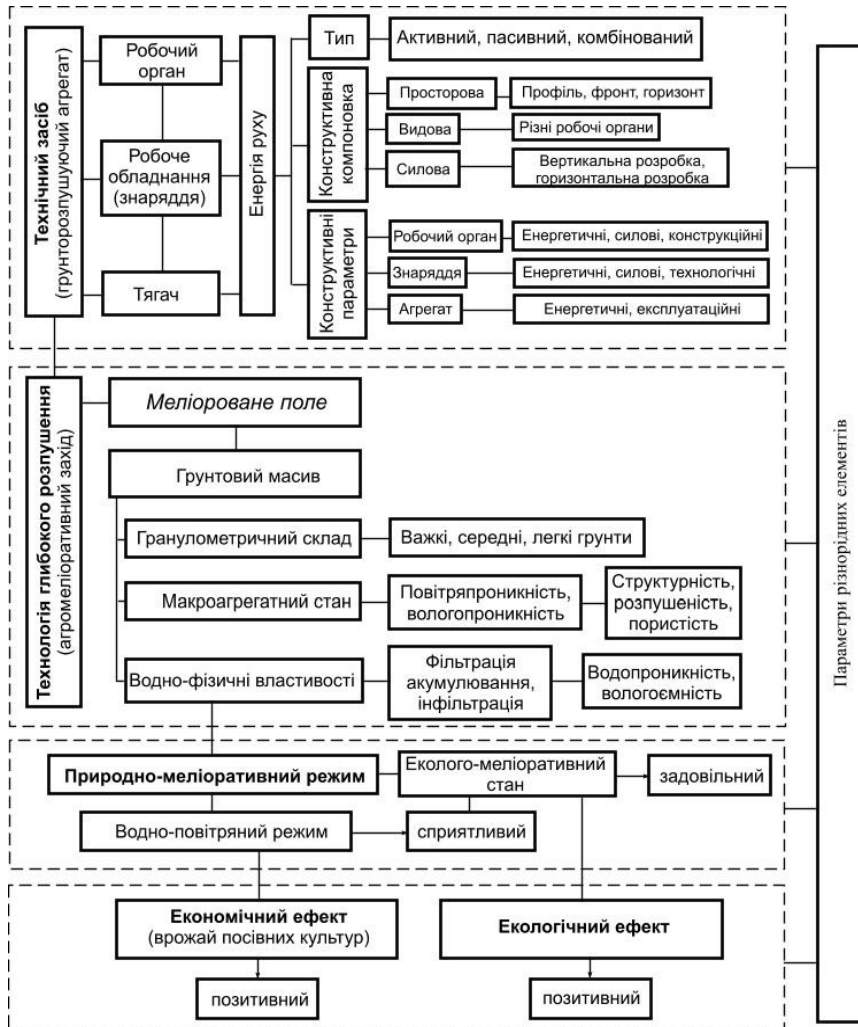


Рис. 2. Структурно-ієрархічна схема щодо необхідних принципів удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різнорідних елементів

Енергетичні затрати на взаємодію робочих органів з ґрунтовим масивом визначаються типом взаємодії, конструктивною компоновкою та їх параметрами. Під найбільш корисними затратами можна вважати затрати на механічне подрібнення ґрунтового масиву, всі інші затрати потрібно максимально зменшити за рахунок удосконалення типу силової взаємодії, конструктивної компоновки та їх параметрів.

Такі дії дозволять підвищити енергетичну ефективність технічних засобів, а оскільки параметри технічних засобів структурно пов'язані з технологічними параметрами, ресурсами меліорованого поля і далі з режимними і параметрами ефекту, то підвищення ресурсної ефективності та загальної ефективності меліоративної осушувальної системи для отримання позитивних економічних та екологічних ефектів згідно зі схемою на рис. 2 може бути реалізовано через відповідне підвищення ефективності її технічної та технологічної підсистем.

Таким чином, метою дослідження є удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за інноваційними ресурсозберігаючими енергоефективними та вологорегулюючими принципами на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різномірних елементів меліоративних систем як природно-технічних еколого-економічних систем для підвищення їх ресурсної та еколого-економічної ефективності щодо змінюваних сучасних умов та вимог.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- оцінювання сучасного стану, обґрунтування необхідності та шляхів підвищення енергетичної та вологорегулюючої ефективності глибокого розпушення як адаптивного агро меліоративного заходу на осушуваних мінеральних ґрунтах відповідно до сучасних умов та вимог;
- розробка наукових принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за інноваційними ресурсозберігаючими енергоефективними та вологорегулювальними принципами на основі застосування системної методології;
- дослідження закономірностей взаємозв'язку зміни параметрів водно-фізичних властивостей ґрунтового середовища зі зміною параметрів його макроструктури;

- обґрунтування підходів до удосконалення технологій глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на ресурсозберігаючих вологорегулюючих принципах з дотриманням агротехнічних вимог агровиробництва;
- обґрунтування підходів до удосконалення технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоощадними моделями робочого процесу і взаємозв'язку їх з макроструктурою ґрунтового середовища;
- розробка удосконалених технологій і технічних засобів за енергоефективними та вологорегулювальними принципами та методи обґрунтування їх параметрів;
- впровадження та оцінювання загальної ефективності результатів наукових досліджень.

Висновок. На основі застосування системної методології шляхом розгляду взаємозв'язків між параметрами різнорідних складових меліоративних систем як природно-технічних еколого-економічних систем, визначено, що проблема підвищення загальної ресурсної та еколого-економічної ефективності використання осушуваних земель щодо змінюваних сучасних умов та вимог, може бути вирішена шляхом удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення мінеральних ґрунтів за інноваційними ресурсозберігаючими енергоефективними та вологорегулюючими принципами.

1. ГЕВР, 2015 р. Водні ресурси і забезпечення продовольчої безпеки і харчування. Доповідь групи експертів високого рівня з питань продовольчої безпеки та харчування Комітету з всесвітньої продовольчої безпеки Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН. Рим, 2015. **2.** Політика підвищення енергоефективності: передовий досвід. Аналіз існуючих оптимальних підходів до підвищення енергоефективності з метою пом'якшення зміни клімату та сталого розвитку. Женева, 2015, Видання ООН. 85 с. ISBN 978-92-1-362846-1. URL:

https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/geee/pub/ECE_ENERGY_100_Rev.1_R.pdf (дата звернення: 15.07.2020). **3.** Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження схвалено Кабінетом Міністрів України від 14.08.2019 р. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.05.2022). **4.** Вплив зміни клімату на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво / Ромащенко М., Гусєв Ю., Шатковський А., Сайдак Р., Яцюк М., Шевченко А. та Матіаш Т. *Меліорація та управління водними ресурсами*. 2020. № 1. С. 5–22. URL:

<https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>. (дата звернення: 15.05.2022).

5. Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах / за заг. ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, П. П. Волка. Рівне : НУВГП, 2021. 113 с. ISBN 978-966-327-509-3. **6.** Панченко А. Н. Теория измелчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск : ДГАУ, 1999. 140 с. **7.** Меліорація та об-лаштування Українського Полісся : колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с. **8.** Вплив кліматичних змін на вологозабезпечення території України та виробництво сільськогосподарської продукції / Ромащенко М. І. та ін. «Вода для всіх»: присвячено Всесвітньому дню водних ресурсів : Між-нар. наук.-практ. конференція : тези доп. Київ, 2019. С. 179–180. **9.** Кравець С. В., Кованько В. В., Лук'янчук О. П. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв : монографія. Рівне : НУВГП, 2015. 322 с. **10.** Кожушко Л. Ф. Удосконалення дренажних фільтрів : монографія. Рівне : Вид-во РДТУ, 2001. 280 с. **11.** Волк П. П., Рокочинський А. М., Тимейчук О. Ю. Теоретичні аспекти системної оптимізації створення та функціонування дренажних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 3(91). С. 3–21. **12.** Турченко В. О., Рокочинський А. М. Теоретичні та практичні аспекти системної оптимізації функціонування рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2018. Вип. 1(81). С. 3–11. **13.** Герасимов Є. Г., Рокочинський А. М., Герасимов Г. Г. Підвищення енергетичної та загальної ефективності закритої зрошувальної системи відповідно до сучасних умов та вимог. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2020. Вип. 3(91). С. 40–53. **14.** Ветохин В. И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України* : зб. наук. праць. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. Вип. 13(27), Кн. 2. С. 30–38. **15.** Ветохин В. И. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт». *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Кіровоград, 2009. Вип. 22. С. 119–124. **16.** Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. акад. УААН М. І. Ромащенка. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с.

REFERENCES:

- 1.** HEVR, 2015 r. Vodni resursy i zabezpechennia prodovolchoi bezpeky i kharchuvannia. Dopovid hrupy ekspertiv vysokoho rivnia z pytan prodovolchoi bezpeky ta kharchuvannia Komitetu z vsesvitnoi prodovolchoi bezpeky Prodovolchoi ta silskohospodarskoi orhanizatsii OON. Rym, 2015.
- 2.** Polityka pidvyshchennia enerhoefektyvnosti: peredovi dosvid. Analiz isnuichykh optymalykh pidkhodiv do pidvyshchennia enerhoefektyvnosti z metoiu pomiakshennia zminy klimatu ta staloho rozvytku. Zheneva, 2015, Vydannia OON. 85 s. ISBN 978-92-1-362846-1. URL: https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/geee/pub/ECE_ENERGY_100_Rev.1_R.pdf (data zvernennia: 15.07.2020).
- 3.** Stratehiia zroshennia ta drenazhu v Ukraini na period do 2030 roku : rozporiadzhennia skhvaleno Kabinetom Ministriv Ukrainy vid 14.08.2019 r. № 688-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text> (data zvernennia: 15.05.2022).
- 4.** Vplyv zminy klimatu na vodni resursy ta silskohospodarske vyrobnytstvo / Romashchenko M., Husiev Yu., Shatkovskiy A., Saidak R., Yatsiuk M., Shevchenko A. ta Matiash T. *Melioratsiia ta upravlinnia vodnyimi resursamy*. 2020. № 1. S. 5–22. URL: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>. (data zvernennia: 15.05.2022).
- 5.** Naukovo-metodychni rekomendatsii shchodo stvorennia ta funktsionuvannia drenazhnykh system u zminnykh suchasnykh umovakh / za zah. red. V. A. Stashuka, A. M. Rokochynskoho, P. P. Volka. Rivne : NUVHP, 2021. 113 c. ISBN 978-966-327-509-3.
- 6.** Panchenko A. N. Teoriya izmelcheniya pochv pochvoobrabatyivayuschimi orudiyami. Dnepropetrovsk : DGAU, 1999. 140 s.
- 7.** Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainського Polissia : kolektyvna monohrafiia / za red. d.s-h.n., profesora, akad. NAAN Ya. M. Hadzala, d.t.n., profesora, chlenkor. NAAN V. A. Stashuka, d.t.n., profesora A. M. Rokochynskoho. Kherson : OLDI-PLIuS, 2017. T. 1. 932 s.
- 8.** Vplyv klimatychnykh zmin na volohozabezpechennia terytorii Ukrainy ta vyrobnytstvo silskohospodarskoi produktsii / Romashchenko M. I. ta in. «*Voda dlia vsikh*»: prysviacheno Vsesvitnomu dniu vodnykh resursiv : Mizhnar. nauk.-prakt. konferentsiia : tezy dop. Kyiv, 2019. S. 179–180.
- 9.** Kravets S. V., Kovanko V. V., Lukianchuk O. P. Naukovi osnovy stvorennia zemleryinoyarusnykh mashyn i pidzemnorukhomykh prystroiv : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2015. 322 s.
- 10.** Kozhushko L. F. Udoskonalennia drenazhnykh filtriv : monohrafiia. Rivne : Vyd-vo RDTU, 2001. 280 s.
- 11.** Volk P. P., Rokochynskiy A. M., Tymeichuk O. Yu. Teoretychni aspekty systemnoi optymizatsii stvorennia ta funktsionuvannia drenazhnykh system na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 3(91). S. 3–21.
- 12.** Turcheniuk V. O., Rokochynskiy A. M. Teoretychni ta praktychni

aspekty systemnoi optymizatsii funktsionuvannia rysovykh zroshuvalnykh system na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2018. Vyp. 1(81). S. 3–11. **13.** Herasimov Ye. H., Rokochynskiy A. M., Herasymov H. H. Pidvyshchennia enerhetychnoi ta zahalnoi efektyvnosti zakrytoi zroshuvalnoi systemy vidpovidno do suchasnykh umov ta vymoh. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Ser. Tekhnichni nauky*. Rivne : NUVHP, 2020. Vyp. 3(91). S. 40–53. **14.** Vetohin V. I. Sistematizatsiya svoystv pochvyi kak element teorii proektirovaniya pochvoobrabatyvayuschih orudiy i tehnologiy. *Tekhniko-tehnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tehnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy* : zb. nauk. prats. Doslidnytske : UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho, 2009. Vyp. 13(27), Kn. 2. S. 30–38. **15.** Vetokhin V. I. Fizychni aspekty proiavu zvorotnoho zviazku ta avtorehuliuвання formy znariaddia v systemi «znariaddia-grunt». *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia* : zb. nauk. prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Kirovohrad, 2009. Vyp. 22. S. 119–124. **16.** Rokochynskiy A. M. Naukovi ta praktychni aspekty optymizatsii vodorehuliuвання osushuvanykh zemel na ekoloho-ekonomichnykh zasadakh : monohrafiia / za red. akad. UAAN M. I. Romashchenka. Rivne : NUVHP, 2010. 351 s.

Lukianchuk O. P., Candidate of Engineering (Ph.D.) Associate Professor, Rokochynskiy A. M., Doctor of Engineering, Professor
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS OF DEEP LOOSENING OF DRAINED MINERAL SOILS BASED ON SYSTEM METHODOLOGY

The necessity and ways of increasing the energy and moisture-regulating efficiency of deep loosening as an effective adaptive agromelioration measure regarding the productive use of drained mineral soils in the conditions of global climate changes and social challenges are substantiated. According to the structural diagram of the interrelationships of various components of the reclamation system, as a complex natural-technical ecological-economic system, with the use of technologies and technical means of deep loosening, where the reclamation field is a determining component, a systematic analysis of influencing factors, reasons and directions for increasing their effec-

tiveness energy-saving and water-regulating principles to improve the ecological and remedial state of drained mineral soils. The technology and technical means of deep loosening are singled out as appropriate components of such a system, which are designed to change the macro aggregate state of the productive part of the drained soil massif and are an influential and effective measure of regulating its water-air regime, achieving the required level of economic and ecological efficiency. It was determined that the problem of increasing the overall resource and ecological and economic efficiency of the use of drained mineral lands in relation to changing modern conditions and requirements can be solved by improving technologies and technical means of their deep loosening according to innovative resource-saving, energy-efficient and moisture-regulating principles.

***Keywords:* soil; loosening; cutting resistance; traction power.**
