

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА АВТОМАТИКИ АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА НААН

ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОЛІССЯ НААН

КИЇВСЬКИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НААН

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

РІВНЕНСЬКА ФІЛІЯ ДП УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ІНСТИТУТ ПРОЕКТУВАННЯ МІСТ «ДІПРОМІСТО» ІМЕНІ Ю.М. БІЛОКОНЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОМЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ НА
ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ
ГРУНТІВ З РЕГУЛЬОВАНИМ ВОДНИМ РЕЖИМОМ ВІДПОВІДНО ДО
ЗМІНЮВАНИХ СУЧАСНИХ УМОВ ТА ВИМОГ**

Науково-методичні рекомендації

Загальна редакція:

В.В. Адамчук – доктор технічних наук, професор, академік НААН України;
В.А. Сташук – доктор технічних наук, професор, академік НААН України;
С.М. Рижук – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України.

РОЗРОБНИКИ:

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
(Насонов В.А. к.т.н.);

Інститут сільського господарства Полісся НААН (Ратошнюк В.І. д.с.-г.н., Савчук О.І., к.с.-г.н.);

Київський аграрний університет НААН (Никитюк О.А., д.с.-г.н.);

Національний університет водного господарства та природокористування
(Рокочинський А.М., д.т.н.; Волк П.П., д.т.н.; Турченко В.О., д.т.н.; Герасімов Є.Г., д.т.н.; Волк Л.Р., к.т.н.; Приходько Н.В., к.т.н., докторантка; Лук'янчук О.П., к.т.н., докторант; Кузьмич А.А., аспірантка; Фроленкова Н.А., к.е.н.; Тимейчук О.Ю., к.т.н.; Пінчук О.Л., к.т.н.; Зубик Я.Я., Гапонюк М.М., аспірант; Ромащенко Є.В., аспірант; Довбенко І.Е., аспірантка; Оношко О.С., аспірант).

Рекомендовано:

*вченою радою Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН,
протокол № 5 від 17.03.2025р.*

вченою радою Інституту сільського господарства Полісся НААН, протокол №7 від 12.11.2024р.

вченою радою Київського аграрного університету НААН, протокол № 6 від 19.12.2024р.

*науково-технічною радою Національного університету водного господарства та
природокористування, протокол № 1 від 05.02.2025р.*

*технічною Радою ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст
«ДІПРОМІСТО» Імені Ю.М. Білокона, протокол №3 від 21.12.2024р.*

Н-34 Підвищення ефективності агро меліоративних заходів на основі удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом відповідно до змінюваних сучасних умов та вимог: науково-методичні рекомендації / за загальною редакцією д.т.н., проф., акад. НААН України В. В. Адамчука, д.т.н., проф., акад. НААН України В. А. Сташука, д.с.-г.н., проф., акад. НААН України С. М. Рижук. – Рівне : Волинські обереги, 2025. – 80 с.

ISBN 978-617-8161-68-2

Дані рекомендації підготовлені науковцями й співробітниками Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН, Київського аграрного університету національної академії аграрних наук, Національного університету водного господарства та природокористування на підставі узагальнення існуючої практики, виробничого досвіду й досягнень сучасної меліоративної науки, в тому числі за результатами виконання проектів (науково-технічних та експериментальних розробок), які пройшли міжнародну апробацію та відображені в наукометричних базах даних Scopus, Web of Science Core Collection та ін.

Призначені для підвищення ефективності агро меліоративних заходів на основі удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом відповідно до змінюваних сучасних умов та вимог.

УДК 626.8: 631.3: 631.4

© Інститут механіки та автоматики
агропромислового виробництва НААН, 2025

© Інститут сільського господарства Полісся НААН, 2025

© Київський аграрний університет національної академії
аграрних наук, 2025

© Національний університет водного господарства та
природокористування, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОМЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ НА ОСУШУВАНИХ ТА ЗРОШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЯК НЕОБХІДНИЙ АДАПТИВНИЙ ЗАХІД З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ.....	5
1.1.Потенційний меліоративний фонд в Україні мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом	5
1.2.Зміни клімату та їх вплив на ефективність використання осушуваних і зрошуваних мінеральних ґрунтів України.....	7
1.3.Шляхи підвищення ефективності агромеліоративних заходів на мінеральних ґрунтах з регульованим водним режимом як необхідний адаптивний захід підвищення ефективності їх використання у змінних кліматичних умовах	12
2. ГЛИБОКЕ МЕЛІОРАТИВНЕ РОЗПУШЕННЯ ЯК АДАПТИВНИЙ АГРОМЕЛІОРАТИВНИЙ ЗАХІД ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ.....	14
2.1.Вихідні передумови	14
2.2.Технології та технічні засоби глибокого меліоративного розпушення ґрунту.....	15
2.3.Необхідність та шляхи удосконалення глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів	17
2.4.Принципи удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів.....	20
2.5.Удосконалені технології глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів та обґрунтування їх параметрів	25
2.6.Удосконалені технічні засоби глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів та обґрунтування їх параметрів	27
3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖУ З УРАХУВАННЯМ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ.....	34
3.1.Вихідні передумови.....	34
3.2.Удосконалення методу розрахунку дренажних систем у змінюваних сучасних умовах.....	36
3.3.Спільна дія та особливості розрахунку дренажу з урахуванням розпушення ґрунту.....	45
3.4.Розрахунок спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах.....	48
4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕЛІОРОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЇХ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО СУЦІЛЬНОГО РОЗПУШЕННЯ	51
4.1.Вплив підвищення акумуляційної здатності мінеральних ґрунтів на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і поливної води	51
4.2.Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і поливної води.....	52
4.3.Ефективність роботи дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах їх перезволоження при випадінні добових максимумів опадів	56
4.4.Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів на фоні дренажу на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і зрошувальної води	57
4.5.Загальна ефективність технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення...	61
ЛІТЕРАТУРА.....	75

ВСТУП

Серед найбільших викликів сучасності гостро постає питання продовольчої, водної та екологічної безпеки, що загострюються через зміни кліматичних та антропогенних чинників як на планетарному, так і регіональних рівнях.

Забезпечення продовольчої безпеки України у воєнний та повоєнний періоди вимагає підвищення продуктивності аграрного виробництва, яке об'єднує енергетичні та водні ресурси, зокрема, і на землях з регульованим водним режимом.

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, напрямів та шляхів підвищення загальної та еколого-економічної ефективності функціонування меліоративних систем. Для осушуваних мінеральних ґрунтів це можливо на підставі розробки комплексу адаптивних, в тому числі, агромеліоративних заходів, спрямованих на ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі у межах меліоративної системи, підвищення вологозабезпеченості ґрунтів тощо.

Одним з найбільш перспективних в цьому плані є глибоке меліоративне розпушення, яке до недавнього часу було ефективним допоміжним заходом при регулюванні водно-повітряного режиму осушуваних мінеральних ґрунтів. Але за нинішніх умов, його виконання у традиційному варіанті, що, як правило, передбачає інтенсифікацію переведення поверхневого стоку в ґрунтовий і, як наслідок, підвищення навантаження на дренаж, вже є не тільки не доцільно але й шкідливо через невідповідність змінним умовам і вимогам.

Існуючі технології і технічні засоби глибокого меліоративного розпушення вже не забезпечують необхідну ефективність розпушення та відповідні водно-фізичні властивості осушуваних мінеральних ґрунтів, а тому потребують внесення технологічних змін та конструктивного вдосконалення для ефективної реалізації змінюваних підходів до адаптивного водорегулювання, підвищення вологозабезпеченості осушуваних мінеральних ґрунтів, поліпшення їх еколого-меліоративного стану і підвищення загальної та еколого-економічної ефективності меліоративних систем щодо змінних умов та вимог.

Тематика науково-методичних рекомендацій узгоджується з пріоритетними напрямками наукових досліджень відповідно до постанови КМ України від 30.04.2024 р. № 476: «Інноваційні технології збереження та збалансованого використання природних (мінерально-сировинних, земельних, ґрунтових, водних та біотичних) ресурсів»; розпорядження КМ України від 14.08.2019 р. № 688-р «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року»; розпорядження КМ України від 20.10.2021 р. № 1363-р «Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року».

Рекомендації виконані у розвиток попередніх напрацювань та розробок, що представлені у:

1. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами / А.М. Рокочинський, А.В. Черенков, В.Г. Муранов, О.Ю. Тимейчук, П.І. Мендусь, П.П. Волк та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 34 с.

2. Науково-методичні рекомендації до застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України / В.С. Гавриш, В.Ф. Ткачук, С.В. Кравець, А.М. Рокочинський, П.І. Мендусь, П.П. Волк та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 46 с.

3. Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах : науково-методичні рекомендації / за заг. редакцією Сташука В. А., Рокочинського А. М., Волка П. П. Рівне : НУВГП, 2021. 114 с.

4. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / за заг. редакцією Сташука В.А., Вожегової Р.А., Дудченка В.В., Рокочинського А.М., Морозова В.В.). Вид. 2-ге, перероб. та доповн. [Електронне видання]. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2020. 203 с.

5. Тимчасові рекомендації з прогновної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова, О. Ю. Тимейчук, В. М. Бежук, та ін. Рівне, 2011. 54 с.

1. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОМЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ НА ОСУШУВАНИХ ТА ЗРОШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЯК НЕОБХІДНИЙ АДАПТИВНИЙ ЗАХІД З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

1.1. Потенційний меліоративний фонд в Україні мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом

1.1.1 Сучасні виклики й загрози, пов'язані з продовольчою, водною та енергетичною кризами ставлять перед світовою спільнотою, у тому числі й Україною, потребу в адаптації до наявних умов та підвищенні загальної ефективності усіх галузей економіки, насамперед аграрного виробництва, задля досягнення цілей сталого розвитку як головної сучасної концепції подальшого існування суспільства та безпеки майбутніх поколінь.

1.1.2 Меліорація земель була, є та залишається головним чинником інтенсифікації аграрного виробництва та важливою складовою забезпечення сталого виробництва сільськогосподарської продукції, особливо в роки з несприятливими погодно-кліматичними умовами, а меліоровані землі, як землі з регульованим водним режимом, є фактично страховим фондом держави, від ефективності використання та збереження яких залежить економічна й соціальна стабільність в країні.

1.1.3 В Україні нараховується близько 5,49 млн га меліорованих земель з відповідною меліоративною інфраструктурою, зокрема 2,18 млн га зрошуваних і 3,31 млн га осушуваних земель. При цьому постійного зрошення в Україні потребують майже 19 млн га орних земель, а двохстороннього водорегулювання – понад 4,8 млн га.

1.1.4 Наявний меліоративний фонд осушуваних земель України складають у своїй більшості мінеральні перезволожені ґрунти – 2,26 млн га (68,3% від загальної площі осушуваних земель) та близько 0,95 млн га торф'яно-болотних ґрунтів. Основу меліоративного фонду зрошуваних земель України також складають мінеральні ґрунти (рис. 1.1).

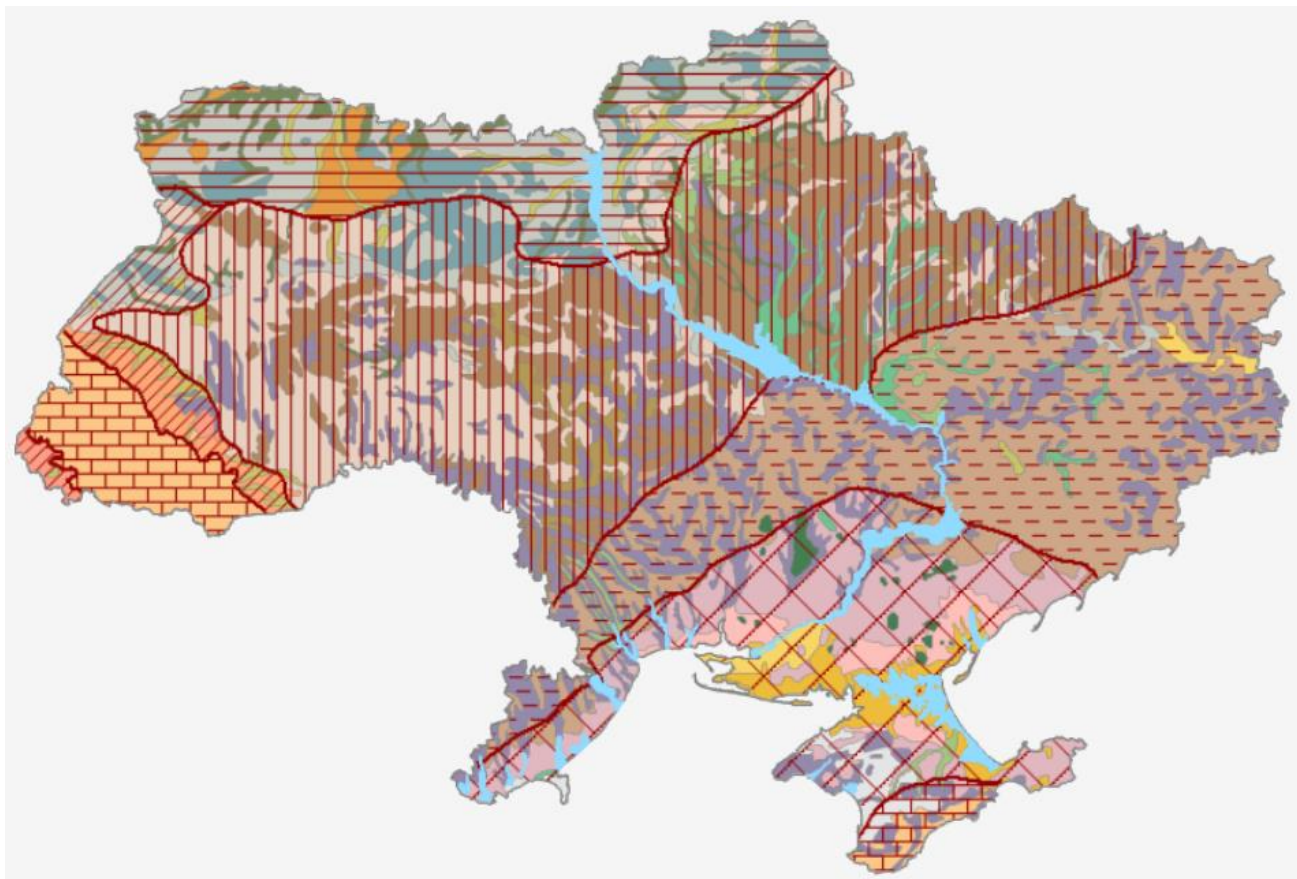


Рис. 1.1. Ґрунтово-меліоративна карта України
[\[https://superagronom.com/karty/filtratsia-gruntiv\]](https://superagronom.com/karty/filtratsia-gruntiv)

-  Дерново-слабопідзолисті піщані і глинисто-піщані на давньоалювіальних і воднольодовикових відкладах і морені
-  Дерново-середньопідзолисті супіщані на давньоалювіальних і воднольодовикових відкладах і морені
-  Дерново-середньо і сильнопідзолисті поверхнево-оглеєні
-  Світлі і темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені, переважно на лесових породах
-  Темно-сірі реградовані і чорноземи реградовані переважно на лесових породах
-  Чорноземи потужні слабогумусовані, малогумусні середньогумусні і остаточно-солонцюваті на лесових породах
-  Чорноземи звичайні малогумусні і середньогумусні на лесових породах
-  Чорноземи південні, слабогумусовані, малогумусні і остаточно-солонцюваті на лесових породах
-  Лучно-чорноземні і їх поверхнево-солонцюваті види переважно на лесових породах
-  Лучно-чорноземні глибоко-солонцюваті переважно на лесових породах
-  Темно-каштанові і каштанові солонцюваті на лесових породах
-  Темно-каштанові і каштанові солонцюваті в комплексі з солонцями
-  Лучні на делювіальних і алювіальних відкладах
-  Лучно-болотні і болотні на алювіальних, делювіальних і воднольодовикових, торфяно-болотні і низинні торфовища
-  Солонці
-  Лучно-чорноземні і дернові осолоділі глейові і солоді
-  Дернові переважно оглеєні піщані, глинисто-піщані і супіщані в комплексі зі слабогумусованими пісками
-  Дернові опідзолені суглинкові і їх оглеєні види
-  Дернові піщані та глинисто-піщані переважно неоглеєні в комплексі зі слабогумусованими пісками і чорноземними піщаними ґрунтами
-  Бурі горно-лісові, буроземно-підзолисті, дерново-буроземні і коричневі гірські на елювій-делювій щільних порід
-  Групи середньо і сильнозмитих ґрунтів
-  Межі виділених характерних районів проведення меліоративних заходів
-  Суцільне зрошення за рахунок регульованого стоку річок і використання підземних вод
-  Розріджене зрошення і масові заходи по боротьбі з водною ерозією шляхом затримання води в ґрунті і використання її для збільшення продукції рослинництва
-  Масові заходи щодо боротьби з водною ерозією та розріджене зрошення на місцевому стоці
-  Масове осушення боліт та заболочених земель з регулюванням стоку і водного режиму осушуваних ґрунтів
-  Підзона осушення і регулювання водного режиму надмірно зволжених мінеральних ґрунтів (важкого механічного складу)
-  Інтенсивний розвиток робіт по боротьбі з водною ерозією та із шкідливим впливом води

1.1.5 Однак наявний потенціал меліорованих земель України не використовується на повну. До 2022 року полив здійснювався фактично лише на площі орієнтовно 550 тис. га, а двостороннє водорегулювання здійснювалось на площі близько 250 тис. га. Після 2022 року й повномасштабної агресії на території України ці площі ще значно скоротилися.

1.1.6 Військові дії показали як саме наше аграрне виробництво впливає на продовольчу безпеку не лише Європи, а й всього світу. І за таких умов саме незадіяний потенціал меліорованих земель (осушувані – до 2,8 млн га, зрошувані – до 1,2 млн га) може стати запорукою отримання врожаїв в 2–3 рази вищих від тих, що отримують на цих територіях зараз.

1.1.7 За таких умов ефективно використання потенціалу меліорованих земель країни, основу якого складають мінеральні ґрунти з регульованим водним режимом, є ключовим у забезпеченні сталого розвитку аграрного виробництва та продовольчої безпеки у сучасних умовах і на перспективу їх змін, насамперед щодо наявних викликів і загроз, пов'язаних зі змінами клімату, зростаючим дефіцитом водних ресурсів та зниженням природної вологозабезпеченості території України.

1.2. Зміни клімату та їх вплив на ефективність використання осушуваних і зрошуваних мінеральних ґрунтів України

1.2.1 Сьогодні складно уявити сферу господарської діяльності людини, яка була б повністю незалежна від впливу погодно-кліматичних чинників. Зміна клімату як у всьому світі, так і на території України підвищує ризики для водних й земельних ресурсів, екосистем та стану здоров'я населення, а також сталого функціонування агропромислового комплексу, що може завдати та вже завдає колосальних збитків.

1.2.2 Переважна частина території України розтошована у помірному кліматичному поясі в області помірно континентального клімату. І лише на вузькій смузі Південного берега Криму сформувався клімат, подібний до субтропічного середземноморського типу.

1.2.3 Водночас помірно континентальний клімат у різних частинах України має істотні відмінності в основних показниках (температури повітря та кількості опадів). Над рівнинною частиною країни з північного заходу на південний схід зростає континентальність клімату: у цьому напрямку середні показники температури повітря літніх місяців підвищуються, а зимових – знижуються, річна кількість опадів зменшується.

1.2.4 Сонячна радіація (надходження сонячного тепла до поверхні Землі) є одним з визначальних факторів клімату. Сумарна сонячна радіація на території України за рік становить від 398–406 Дж/см² у північних і північно-східних районах до 560–561 Дж/см² на Південному березі Криму. Більша частина сонячної радіації припадає на теплий період року, насамперед на травень–вересень.

1.2.5 Температура повітря в Україні змінюється залежно від надходження сонячної радіації. Середня річна температура на території півночі країни становить +6–+7° та +12–+13° С – на півдні. Найбільш холодною є північно-східна частина України, а найбільш теплою – південно-західна частина і Південний берег Криму.

1.2.6 Найбільше опадів випадає у гірських районах Карпат (в окремих районах понад 1500 мм), найменше – на узбережжях Чорного та Азовського морів (близько 300–350 мм). Пересічна кількість опадів у зоні Полісся становить 550–700, у Лісостепу – 600–450 мм/рік.

1.2.7 Проблема глобального потепління виникла ще наприкінці минулого століття, і згодом, у зв'язку з все більш відчутним негативним впливом, її актуальність лише зростає. Факт глобальних кліматичних змін на сьогодні визнаний світовою спільнотою і не викликає сумнівів.

1.2.8 З метою оцінювання стану глобального потепління, і пов'язаних з ним ризиків, Всесвітньою метеорологічною організацією та Програмою ООН з навколишнього середовища була створена Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Прийнята та відкрита для підписання Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, яка доповнена Кіотським протоколом.

1.2.9 Результати аналізу та узагальнення даних вітчизняних і закордонних вчених й фахівців переконливо свідчать про те, що прогнозовані значення майже всіх основних метеорологічних показників (кількість опадів, відносна вологість повітря, дефіцит вологості повітря) вже знаходяться в межах їх сучасних коливань і навіть перевищують по окремих позиціях, це свідчить про стійку тенденцію до зміни кліматичних умов та зростання посушливості клімату.

1.2.10 Характеризуючи зміни клімату, що вже проявилися на території України можна виділити декілька ключових особливостей:

- за останні 30 років зростання середньорічної температури становило 1,2° С, за такої динаміки впродовж наступних 30 років середня річна температура в Україні може підвищитися ще на 1,0–1,5° С;

- швидкість підвищення температури повітря в Україні випереджає світові тенденції;

- за період 1991–2023 рр. середньорічна сума опадів в середньому не зменшилася, спостерігався невеликий приріст (близько 2%). При цьому посилюється тенденція до нерівномірного розподілу опадів упродовж року, що призводить до більшої кількості та інтенсивності надзвичайних явищ погоди (зокрема, паводків та посух);

- спостерігається тенденція до збільшення території із недостатньою кількістю опадів (менше 400 мм) у теплий період;

- клімат вже став більш посушливим на всій території України.

1.2.4 Майбутні прояви зміни клімату будуть характеризуватися:

– подальшим суттєвим підвищенням середньорічної температури на $1,37^{\circ}\text{C}$ до 2050 року та на $3,15^{\circ}\text{C}$ – до 2100 року;

– не суттєвим зростанням кількості опадів, яке не покриє величину зростання сумарного випаровування внаслідок підвищення температури;

– значним зростанням дефіциту кліматичного водного балансу для всіх регіонів України.

1.2.5 Такі зміни призводять до:

– зростання площі ріллі з недостатнім для сталого землеробства рівнем природного вологозабезпечення;

– зменшення річкового стоку та погіршення якості поверхневих вод, що проявиться через збільшення мінералізації та метаморфізації їх хімічного складу та призведе до зменшення запасів поверхневих вод, придатних для зрошення та питного водопостачання без проведення заходів щодо їх демінералізації;

– зменшення інфільтраційного живлення ґрунтових та підземних вод, і, відповідно, зменшення їх запасів, придатних для використання.

1.2.6. Згідно з інформацією Українського гідрометеорологічного центру лише за липень 2024 року на низці метеостанцій України були зафіксовані нові історичні температурні рекорди: Рівне (Рівненська область) – $34,8^{\circ}\text{C}$; Маневичі (Волинська область) – $36,7^{\circ}\text{C}$; Нижня Ушиця (Хмельницька область) – $37,1^{\circ}\text{C}$; Чернівці (Чернівецька область) – $37,9^{\circ}\text{C}$; Жмеринка (Вінницька область) – $38,0^{\circ}\text{C}$; Новодністровськ (Чернівецька область) – $38,1^{\circ}\text{C}$; Ковель (Волинська область) – $38,1^{\circ}\text{C}$; Вінниця (Вінницька область) – $39,2^{\circ}\text{C}$; Сарата (Одеська область) – $38,6^{\circ}\text{C}$; Миколаїв (Миколаївська область) – $41,6^{\circ}\text{C}$ та ін. Абсолютний максимум температури повітря в Україні складає 42°C і був зафіксований 12 серпня 2010 року.

1.2.7. Щодо зміни атмосферних опадів, то тут відмічається зростання нерівномірності їх випадання у часі та просторі, коли мають місце інтенсивні короткочасні опади зливового характеру та тривалі бездощові періоди.

1.2.8. Порівняльне оцінювання зміни вегетаційних значень основних метеофакторів у сучасних та прогнозованих умовах з їх багаторічними рестроспективними значеннями, що характерні для умов зони осушення (на прикладі Західного Полісся) та зони зрошення (на прикладі Одеської області) України, представлені у табл 1.1 та 1.2 відповідно.

Таблиця 1.1

Порівняльне оцінювання зміни вегетаційних значень основних метеофакторів у сучасних та прогнозованих умовах у порівнянні з багаторічними рестроспективними значеннями для зони осушення (Західного Полісся), %

Метеофактор, модель		Рік розрахункової забезпеченості					Середнє, %
		10%	30%	50%	70%	90%	
1		2	3	4	5	6	7
опадів, (P)	Transitional	-5,34	-17,90	-1,84	-0,47	-0,96	-5,30
	Recent	-2,80	0,33	0,06	10,88	11,87	+4,07
	CCCM	1,29	1,43	1,62	1,87	2,23	+1,69
	UKMO	7,05	7,20	7,39	7,66	8,04	+7,47
температура повітря, (T)	Transitional	1,89	2,07	2,08	0,95	1,76	+1,75
	Recent	4,89	7,27	5,42	6,14	0,49	+4,84
	CCCM	25,71	25,04	24,50	24,21	23,47	+24,59
	UKMO	36,12	35,45	34,82	34,53	33,76	+34,93
дефіцит вологості повітря, (D)	Transitional	3,44	2,55	4,12	-2,12	0,77	+1,75
	Recent	4,44	8,79	7,66	0,32	5,98	+5,44
	CCCM	24,07	24,00	22,97	21,95	21,04	+22,81
	UKMO	27,94	28,03	26,97	28,00	25,00	+27,19
відносна вологість, (H)	Transitional	1,49	1,20	-1,75	1,32	1,89	+0,83
	Recent	-4,85	-2,47	-2,37	0,61	-1,35	-2,09
	CCCM	-7,99	-6,72	-6,68	-6,41	-6,68	-6,90
	UKMO	-8,94	-7,72	-9,04	-8,74	-8,64	-8,62

1	2	3	4	5	6	7	1
сума фотосинтетично активної радіації (ФАР)	Transitional	0,50	1,11	1,64	0,90	1,29	+1,09
	Recent	2,84	4,64	3,77	3,84	0,06	+3,03
	CCCM	16,33	16,09	16,10	15,80	15,60	+15,98
	UKMO	22,82	22,65	22,72	22,40	22,23	+22,57
коефіцієнт вологозабезпеченості, (K_w)	Transitional	-8,49	-19,94	-5,73	1,69	-1,72	-6,84
	Recent	-6,94	-7,77	-7,05	10,53	5,55	-1,14
	CCCM	-18,36	-18,20	-17,36	-16,47	-15,54	-17,19
	UKMO	-16,33	-16,27	-15,42	-15,89	-13,57	-15,49

Примітка. Моделі дослідження: *Transitional* – нормовані середньобогаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподілу за період вегетації в перехідних умовах 1965–1990 рр.; *Recent* – динаміка та нормовані середньобогаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації отримані в сучасних умовах за 1991–2023 рр.; *CCCM* та *UKMO* – нормовані середньобогаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації, отриманих з урахуванням наявних та прогнозованих змін клімату за моделями Канадського кліматологічного центру (CCCM) та Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства (UKMO), що передбачають підвищення середньорічної температури повітря відповідно на 4° С та 6° С – при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері. Типові групи розрахункових років щодо умов загальної тепло- та вологозабезпеченості періодів вегетації (квітень–жовтень): *дуже вологий* – 10%; *вологий* – 30%; *середній* – 50%; *сухий* – 70%; *дуже сухий* – 90%.

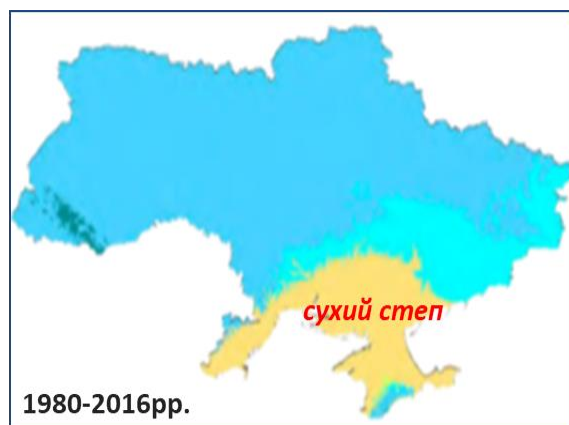
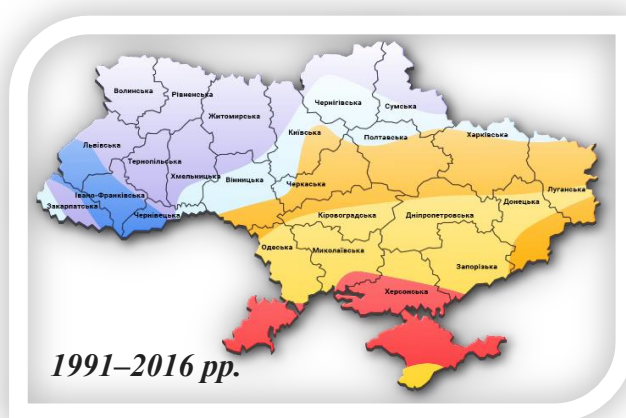
Таблиця 1.2

Порівняльне оцінювання зміни вегетаційних значень основних метеофакторів у сучасних та прогнозованих умовах у порівнянні з багаторічними рестроспективними значеннями для зони зрошення (Одеська область), %

Показник, модель		Розрахунковий рік					Середнє, %
		10%	30%	50%	70%	90%	
опадів, (Р)	Recent	-6,3	-21,4	-8,8	-21,7	-10,5	-14,7
	CCCM	-17,1	-17,1	-17,2	-18,6	-20,8	-18,3
	UKMO	-6,5	-6,5	-6,4	-8,1	-10,5	-7,8
температура повітря, (Т)	Recent	+4,3	+3,6	+0,6	+2,3	+1,7	+2,3
	CCCM	+19,8	+21,1	+22,2	+22,4	+22,7	+22,0
	UKMO	+23,5	+25,3	+26,9	+27,6	+28,7	+26,9
дефіцит вологості повітря, (D)	Recent	+6,3	-2,7	-6,4	-7,2	-5,5	-4,6
	CCCM	+25,2	+25,2	+22,0	+25,3	+25,3	+24,5
	UKMO	+27,4	+28,9	+26,3	+30,6	+31,5	+29,1
відносна вологість повітря, (H)	Recent	-1,3	+1,5	+2,9	+4,9	+4,0	+3,1
	CCCM	0,0	-0,3	+0,3	-1,4	-2,7	-0,9
	UKMO	+1,1	+0,9	+1,5	-0,3	-1,2	+0,3
сума фотосинтетично активної радіації (ФАР)	Recent	+3,0	+2,0	+0,4	+1,4	+1,5	+1,4
	CCCM	+14,1	+14,7	+15,4	+15,7	+16,5	+15,5
	UKMO	+16,3	+17,4	+18,8	+19,4	+20,8	+18,9
коефіцієнт вологозабезпеченості, (K_w)	Recent	-12,5	-19,5	-6,3	-17,4	-6,3	-12,2
	CCCM	-32,1	-31,1	-34,4	-34,8	-37,5	-34,4
	UKMO	-23,2	-24,4	-28,1	-30,4	-37,5	-29,6

Примітка. Моделі дослідження: *Recent* – динаміка та нормовані середньобогаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації отримані в сучасних умовах за 1991–2023 рр.; *CCCM* та *UKMO* – нормовані середньобогаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації, отриманих з урахуванням наявних та прогнозованих змін клімату за моделями Канадського кліматологічного центру (CCCM) та Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства (UKMO), що передбачають підвищення середньорічної температури повітря відповідно на 4° С та 6° С – при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері. Типові групи розрахункових років щодо умов загальної тепло- та вологозабезпеченості періодів вегетації (квітень–жовтень): *дуже вологий* – 10%; *вологий* – 30%; *середній* – 50%; *сухий* – 70%; *дуже сухий* – 90%.

1.2.6. Отже, наявні результати оцінювання сучасних та прогнозованих змін клімату свідчать про суттєве зростання його посушливості, що проявляється у підвищенні температурного режиму та зниженні природної вологозабезпеченості територій. Такі тенденції будуть зберігатися та посилюватися і на більш віддалену перспективу змін клімату (рис. 1.2).



*За дефіцитом річного кліматичного
водного балансу (ІВПіМ)*

*За класифікацією клімату
Кеппен-Гейгера*

Рис. 1.2. Сучасні та прогнозовані зміни вологозабезпечення території України ($> 30\text{--}35^{\circ}\text{C}$)
[<http://surl.li/jxnvyi>]

1.2.6. Як результат таких вкрай негативних за своїми наслідками процесів погіршення умов природного вологозабезпечення територій України – фактично зникли притаманні для зони Полісся території надлишкового зволоження, а на півдні країни розпочався стрімкий процес опустелювання.

1.2.7. Встановлено, що підвищення температури на 1°C призводить до зсуву меж природних зон в середньому на 100 км на північ. Наявні кліматичні зміни вже призвели до масштабного зміщення природних зон України, зокрема зона Степу збільшується рухаючись у глиб країни, суттєво зменшилася зона мішаних лісів.

1.2.8. За свідченням вчених, через кліматичні зміни Україна переходить у зону екстримальних погодно-кліматичних умов – це надвисокі температур повітря і часті погодні катаклізми, зокрема посухи. Вже у найближчі 30–40 років Україні загрожує зневоднення та опустелювання значної її частини.

1.2.9. Підтвердженням таких висновків є сучасний стан розподілу кількості опадів та температур повітря на території України (серпень 2024 року) за даними Центральної геофізичної обсерваторія імені Бориса Срезневського представлено на рис. 1.3.

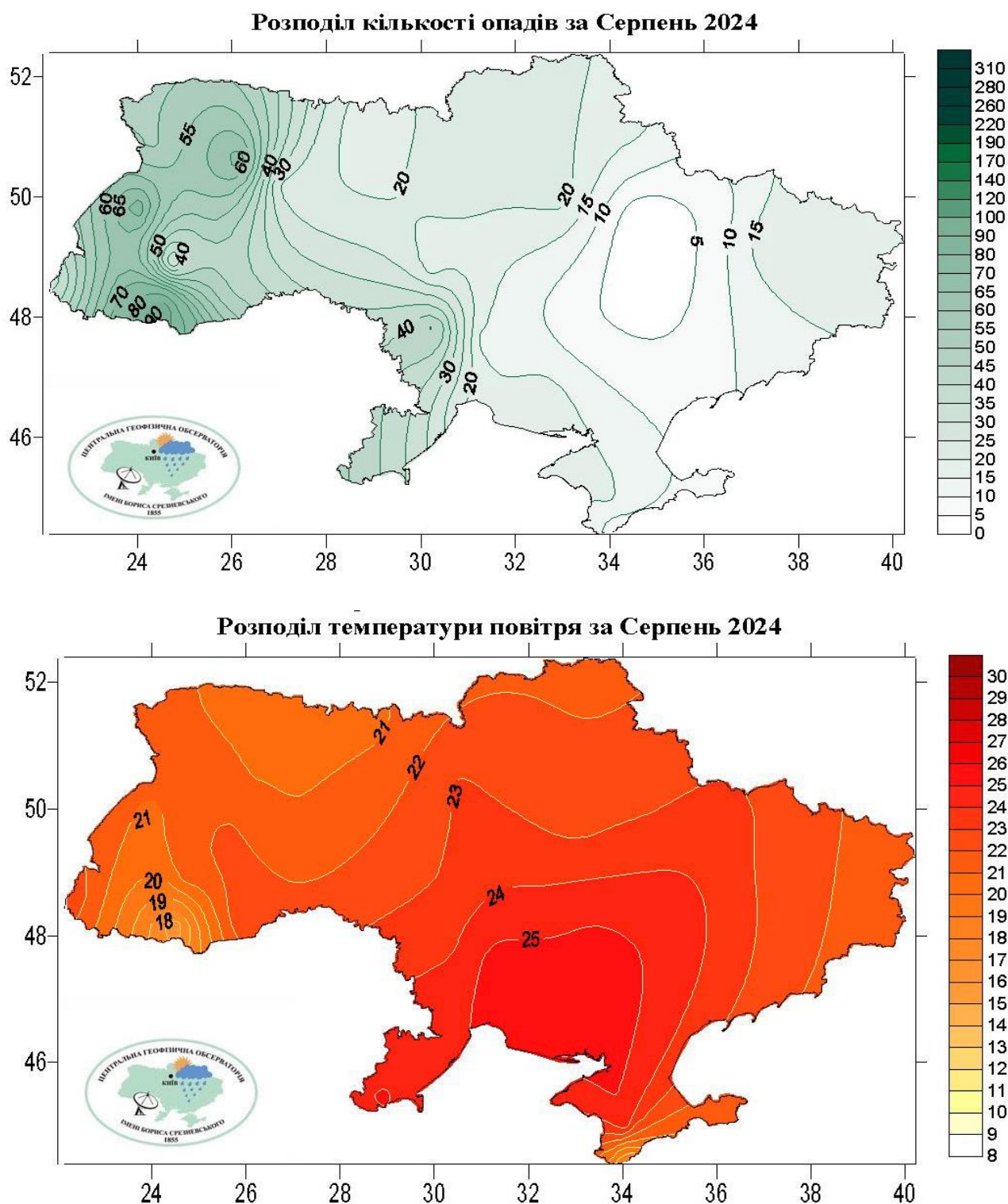


Рис. 1.3. Дані щодо розподілу кількості опадів та температури повітря на території України станом на серпень місяць 2024 року [<http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/diialnist/meteorologichna/karty-serednomisiachnoi-temperatury-povitria-ta-opadiv-po-ukraini>]

1.2.10. Встановлено, що підвищення середньомісячної температури повітря на 1°C призведе до підвищення величини потенційного сумарного випаровування на 9%. Сучасна величина потенційного сумарного випаровування вже на 40–45 км³ на рік перевищує величину потенційного сумарного випаровування, яка була характерна для території України всього лише три десятиліття тому.

1.2.11. При існуючих темпах і рівнях змін погодно-кліматичних умов слід очікувати й подальшого погіршення природно-меліоративних умов на всій території України. На сьогодні кліматичні зміни вже призвели до потреби збільшення затрат водних ресурсів на зрошення та

зволоження посівів сільськогосподарських культур на землях з регульованим водним режимом, що відбувається на фоні загострення водної кризи й стрімкого зростання дефіциту водних ресурсів.

1.2.12. За умови збереження такої інтенсивності кліматичних змін та відповідного зростання потенційного сумарного випаровування прогнозується, що станом на 2050 рік його величина переважатиме значення 1990 року на 80 км³, а станом на 2100 рік – майже на 150 км³, це спричинить суттєве зменшення доступних до використання запасів поверхневих та підземних вод й катастрофічне зневоднення території України.

1.2.13. Такі зміни неминуче вплинуть на ефективність аграрного виробництва та продуктивність як зрошуваних, так і осушуваних земель, які є основою аграрного виробництва та відіграють ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки країни. На основі оцінювання змін клімату визначено їх вплив на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур, родючість і вологозабезпеченість ґрунтів, умови функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів та природно-меліоративний стан меліорованих земель.

1.2.14. Наявні зміни вологозабезпеченості території України здатні призвести до зниження врожайності вирощуваних традиційних районованих сортів і видів сільськогосподарських культур на меліорованих землях в середньому від 15 до 60%. При цьому слід зазначити, що такий рівень зниження врожайності вже має місце в останні роки і спостерігається при прояві аномальних, порівняно з ретроспективним періодом, погодних явищ.

1.2.15. Останнім часом в Україні все частіше трапляються роки з бездощовим періодом до 90 днів. Кількість днів з температурою повітря вище норми (+35° С) складає приблизно 70 днів на рік. Встановлено, що під впливом посух можливий недобір врожаю вирощуваних культур від 30 до 50%. Цей стрес може проявлятися протягом всієї вегетації.

1.2.16. Лише за період 2000–2010 роки в Україні сталося п'ять випадків посух (2003, 2007, 2008, 2009 та 2010 років), від кожної з яких постраждали до 80% площ зернових культур. Посухи 2003 та 2007 років спричинили втрати у виробництві зерна, що оцінюються приблизно в 3 млрд євро.

1.2.17. У 2024 році була рекордна за останні 10 років кількість днів з надзвичайно високими температурами повітря. Наприклад, в Миколаївській області за літо температура повітря підвищувалась до +38–42° С майже 40 днів. Такої інтенсивної та тривалої хвилі тепла в Україні ще не спостерігалось. Дефіцит опадів у середньому становив від 40 до 60% норми, Київська область отримала менше 50% норми опадів, а Херсонщина, Миколаївщина, Дніпропетровщина, Харківщина – менше 16–20% норми за 100 днів. Лише західні області за три літні місяці отримали від 70 до 120% кліматичної норми опадів.

1.2.18. Одеська область, потерпаючи від посухи 2024 року, зіткнулася з катастрофічними втратами врожаю вирощуваних культур, де через брак вологи аграрії не змогли зібрати значний обсяг зерна. Наприклад, у середньому врожайність зернових цього року склала до 40 центнерів з гектара, тоді як з крапельним поливом можна отримати до 70 центнерів, також регіон втратив близько 60% врожаю соняшника та кукурудзи.

1.2.19. Таким чином, основним лімітуючим чинником, який вже критично впливає на ефективність аграрного виробництва є проблема зниження природної вологозабезпеченості території України. Ще загрозливішою ця ситуація виглядає у довгостроковій перспективі, яка означає фактичне обезводнення та опустелювання сільськогосподарських угідь.

1.2.20. Тому розвиток та подальша можливість ведення аграрного виробництва у змінних кліматичних умовах потребують обґрунтування та реалізації ефективних адаптивних заходів, направлених на підвищення ефективності використання сільськогосподарських угідь, представлених насамперед мінеральними ґрунтами з регульованим водним режимом, які є основою меліоративного фонду земель України.

1.3. Шляхи підвищення ефективності агро-меліоративних заходів на мінеральних ґрунтах з регульованим водним режимом як необхідний адаптивний захід підвищення ефективності їх використання у змінних кліматичних умовах

1.3.1 На підставі аналізу та узагальнення змісту програмних міжнародних і національних документів (МГЕЗК та Робоча група II) щодо необхідності та загальних рекомендацій з розробки адаптивних заходів, пов'язаних зі змінами клімату, результатів досліджень і загальної оцінки

вітчизняних і зарубіжних вчених й фахівців, розглянуто загальні рекомендації з розробки адаптивних заходів, що мають власні чіткі цілі та тісно взаємопов'язані між собою.

1.3.2 Відповідно до програмних міжнародних документів, присвячених цій проблематиці у сфері кліматичної дипломатії в Україні та ЄС в цілому, а також стратегії на основі реальних досліджень за критеріями IPPC (англ. International Plant Protection Convention) про зміни клімату в Україні до 2100 року і на виконання Указу Президента України «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України» від 14 вересня 2020 року, як і решта держав-учасників, взяла на себе зобов'язання виділяти кошти на адаптацію до змін клімату та підготовку до її реалізації.

1.3.3 У жовтні 2021 року Кабінет Міністрів України ухвалив Стратегію з екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року, що є першим національним документом, який створює законодавче підґрунтя для адаптивних заходів в Україні.

1.3.4 Для ефективного протистояння найбільш актуальним сучасним викликам, а саме енергетичній, продовольчій та водній кризам, які посилюються внаслідок наявних змін клімату, виникає об'єктивна необхідність у розробці та реалізації адаптивних заходів для аграрного виробництва на меліорованих землях у змінних кліматичних умовах.

1.3.5 Розробка адаптивних заходів для меліорованих земель потребує виконання значно більших, порівняно з мінімально необхідними, комплексних досліджень. У тому числі ці дослідження повинні бути спрямовані на розробку нових енерго-, водо- та ресурсозберігаючих способів комплексної меліорації земель, новітніх технічних засобів поливу, водорегулювання, внесення добрив і хіммеліорантів, режимів зрошення і удобрення сільськогосподарських культур відповідно до прогнозованих змін тощо.

1.3.6 Актуальним стає питання щодо зміни підходів і розробки низки відповідних заходів з адаптації до змін клімату при проектуванні та реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів. У загальному випадку це можливо на підставі розробки комплексу адаптивних організаційних, агротехнічних, агро-меліоративних та гідротехнічних заходів, спрямованих на поступовий перехід до вирощування нових сортів й видів сільськогосподарських культур, 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 водорегулювання, режимів зрошення, типів й конструкцій меліоративних систем і їх технічних елементів, методів їх проектування та розрахунку тощо.

1.3.7 Відповідно до загальних рекомендацій щодо основних видів адаптивних заходів на меліорованих землях у змінних кліматичних умовах, важливу роль відіграють агро-меліоративні заходи, підвищення ефективності яких дасть змогу забезпечити ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі у межах меліоративної системи, підвищення вологозабезпеченості ґрунтів тощо.

1.3.8 Підвищення ефективності агро-меліоративних заходів передбачають необхідність удосконалення технологій та засобів обробітку ґрунтів, спрямованих на поліпшення їх водно-фізичних властивостей і акумулюючої здатності на підставі подальшого удосконалення технологій і засобів глибокого розпушення ґрунтів.

1.3.9 Існуючі технології і технічні засоби глибокого розпушення вже не забезпечують необхідну його ефективність та відповідні водно-фізичні властивості осушуваних мінеральних ґрунтів, а тому потребують внесення технологічних змін та конструктивного вдосконалення за енергоефективними та вологорегулюючими принципах для ефективної реалізації змінюваних підходів до адаптивного водорегулювання, підвищення вологозабезпеченості осушуваних мінеральних ґрунтів, поліпшення їх еколого-меліоративного стану і підвищення загальної та еколого-економічної ефективності меліоративних систем щодо змінних умов та вимог.

1.3.10 Таким чином, змістом даних рекомендацій є розгляд науково-методичних підходів щодо підвищення ефективності агро-меліоративних заходів на основі удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом відповідно до змінюваних сучасних умов та вимог на енергоефективних та вологорегулюючих принципах.

2. ГЛИБОКЕ МЕЛІОРАТИВНЕ РОЗПУШЕННЯ ЯК АДАПТИВНИЙ АГРОМЕЛІОРАТИВНИЙ ЗАХІД ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

2.1. Вихідні передумови

2.1.1 *Глибоке меліоративне розпушення* (далі ГМР) – згідно статті 7 Закону України «Про меліорацію земель» – це один із заходів агротехнічної меліорації земель, який спрямований на збільшення потужності та поліпшення агрофізичних властивостей кореневмісного шару ґрунтів.

2.1.2 ГМР ґрунту є традиційним агрономеліоративним заходом освоєння перезволожених осушуваних мінеральних ґрунтів. Воно значно поліпшує водно-фізичні властивості розроблюваного ґрунту: щільність зменшується, відповідно шпаруватість, водопроникність та водовіддача збільшуються. Це дає змогу значно покращити еколого-меліоративний стан осушуваних земель.

2.1.3 ГМР відіграє важливу роль при регулюванні водного-повітряного режиму осушуваних ґрунтів: у періоди перезволоження воно сприяє прискореному звільненню орного шару від надлишку вологи, прискорюючи її переміщення у нижче розташовані шари, а в посушливі періоди – накопиченню вологи в розпушеному шарі ґрунту з наступним більш ефективним використанням її рослинами. При цьому воно значно покращує умови роботи закритого систематичного дренажу.

2.1.4 ГМР перезволожених ґрунтів рекомендується проводити тільки у поєднанні з дренажем при дотриманні відповідної технології робіт.

2.1.5 Залежно від гідрологічних, ґрунтових та інших умов застосовують *суцільне розпушення, суцільне розпушення-кротування, смугове розпушення, смугове розпушення-кротування, щілине розпушення*.

2.1.6 *Суцільне розпушення* – основний вид, направлено на розпушування всієї товщі ґрунту в оброблюваному шарі.

2.1.7 *Суцільне розпушення-кротування* забезпечує, крім того, утворення кротовин нижче зони розпушування на стійких до кротування ґрунтах.

2.1.8 *Суцільне розпушення* важких заболочених підзолистих ґрунтів з потужними елювіальними горизонтами (>10 см) слід проводити при обов'язковому внесенні великих доз вапна (18-20 т/га), органічних (не менше 40–50 т/га) і мінеральних добрив.

2.1.9 *Суцільне розпушення* кам'янистих ґрунтів не проводять при наявності каменів в шарі розпушування потужністю 0-80 см і максимальним діаметром відповідно більше 30–40 см.

2.1.10 Якщо з організаційних причин неможливо виконати ці заходи, доцільно застосовувати смугове розпушування (через 4–8 м) з подальшим переходом в міру окультурення ґрунтів на суцільне глибоке меліоративне розпушування.

2.1.11 *Смугове розпушення*, здійснюване переважно однокорпусними розпушувачами, створює вузькі роздільні смуги розпушування (зазвичай через 4 м). Нерозпушені ділянки служать своєрідною опорою для рушіїв тракторів під час наступних проходів. Це підвищує тривалість ефективності розпушених смуг.

2.1.12 *Смугове розпушення-кротування* створює вузькі смуги розпушування, доповнені на глибині 0,7–0,75 м кротовинами. Застосовується на ділянках з великою кількістю "блюдець". Відстань між смугами приймають рівним 2–2,5 м для глинистих і 3–4 м для суглинних ґрунтів.

2.1.13 *Щілювання* – агрономеліоративний захід, спрямований на руйнування ущільнених водотривких шарів підорного горизонтів до глибини 0,40–0,45 м, збільшення водопроникності та внутрішньогрунтового стоку за рахунок механічного утворення вертикальних щілин і тріщин шириною 0,25–0,4 м.

2.1.14 ГМР при вологості нижче за оптимальну призводить до погіршення якості розпушення та збільшення тягових зусиль, що збільшує енергозатратність розпушення ґрунту.

2.1.15 Таким чином, ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів є ефективним адаптивним заходом у змінних кліматичних умовах, що спрямований на поліпшення їх водно-фізичних властивостей, прискорення відведення зайвої вологи у періоди перезволоження, підвищення

акумулюючої здатності ґрунту з подальшим ефективним використанням ґрунтової вологи у посушливі періоди у ґрунтовому профілі та на масиві в цілому.

2.1.16 Це сприятиме переходу від традиційного періодичного на реалізацію і забезпечення регулярного зволоження осушуваних земель, удосконаленню технологій водорегулювання, типів і конструкцій ДС та їх технічних елементів, методів їх проектування і розрахунку, які відповідають сучасним економічним та екологічним вимогам.

2.2. Технології та технічні засоби глибокого меліоративного розпушення ґрунту

2.2.1 До складу технології ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів відносяться підготовчі роботи, безпосередньо ГМР або ГМР з внесенням хімічних меліорантів, а також контроль за якістю проведених робіт.

2.2.2 ГМР проводять тоді, коли в розпушуваному шарі ґрунту відсутня верховодка, а орний і підорний горизонти мають оптимальну вологість. Вологість ґрунту визначають перед проведенням розпушення традиційними методами.

2.2.3 Перед глибоким розпушенням як на староорних, так і на необроблюваних ґрунтах повинно бути виконане розділення пласта. При цьому дернину перед оранкою дискують у два сліди навхрест важкою дисковою бороною для кращого обертуту пласта. Внесення добрив і вапна призначають за необхідності згідно агрохімічних даних.

2.2.4 Напрямок розпушення повинен бути вибраний перпендикулярно до напрямку укладання дренажних ліній на осушуваній ділянці. На меліорованих полях з похилими поверхнями рекомендується проводити розпушення так, щоб воно пересікалось з напрямком дрен.

2.2.5 Для раціонального використання розпушувача при виконанні ГМР слід правильно визначати напрямок виконання розпушення, довжину і ширину загонів.

2.2.6 Залежно від конкретних умов та типу розпушувача ГМР проводять за такими відомими трьома основними схемами руху агрегату: човниковою, загінною і перехресною, рис. 2.1.

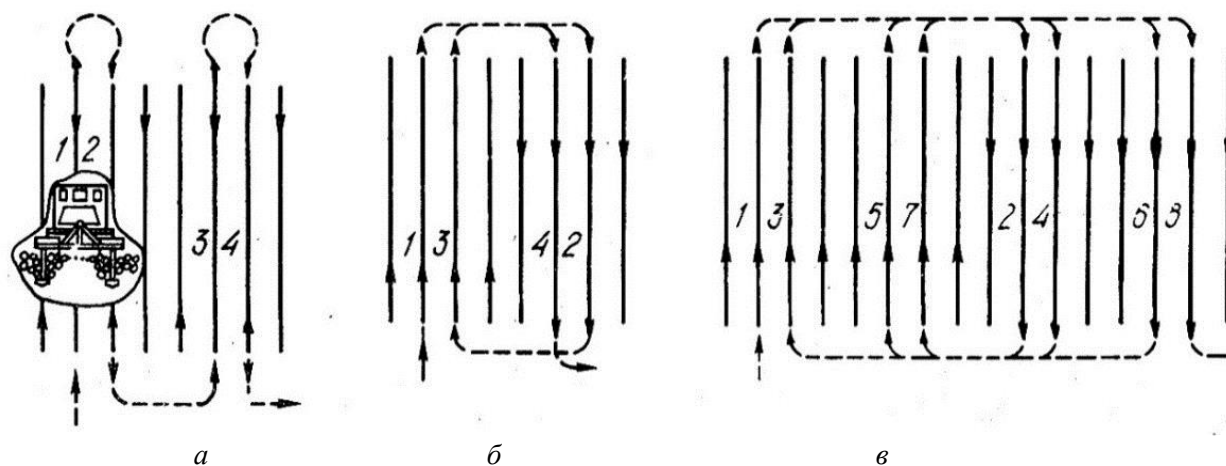


Рис. 2.1. Технологічні схеми руху розпушувача: а – човникова; б – загінна; в – перехресна

2.2.7 У нинішніх умовах поперемінних періодів посухи і надмірної вологості такі технології можуть викликати суттєві негативні екологічні наслідки через посилення промивного режиму земель. При надлишку вологи ДС, яка спочатку розрахована на більш ощадний режим, буде сильно перевантажена. При посушливому періоді - ґрунт буде непродуктивним.

2.2.8 Для реалізації ГМР ґрунту в залежності від умов та типу ґрунту використовуються глибокорозпушувачі різного типу:

- **за принципом дії:**

активні: ударні, фрезерні, дискові;

пасивні: дискові, ножові (зубові), полицеві, ярусно-диференційовані;

інтенсифіковані: з використанням фізичних ефектів; з використанням хімічних ефектів; з використанням електро-хімічних ефектів;

комбіновані;

- за агрегуванням: навісні, напівнавісні, причіпні;

- за компонованням: рядні, ярусні, стоякові, периметрові, комбіновані;

- за кількістю робочих елементів: 1-, 2-, багатоеlementні;

- за видом робочого елемента: полицеві, стрільчасті, жолобовидні, доловидні, скобовидні.

2.2.9 Активні та пасивно-активні глибокорозпушувачі значно складніші від пасивних за конструкцією робочих органів і в експлуатації через наявність додаткових джерел енергії і рухомих частин та мають обмежену сферу застосування. Вони ефективні тільки при розпушенні на невелику глибину на твердих (скальних) і щільних ґрунтах, а на відносно м'яких, не мерзлих важких ґрунтах, які є характерними для зони осушення, переваг перед пасивними не мають. Застосування активних та пасивно-активних розпушувачів призводить до обмеження швидкості руху через ускладнену динаміку робочого процесу розпушення ґрунту. Зі зростанням швидкості руху та збільшенні глибини розпушення ефект від активних і вібраційних робочих органів значно зменшується, а енерговитрати значно підвищуються в порівнянні з пасивними робочими органами.

2.2.10 Тому, для розпушення ґрунту на значну глибину, найбільшого розповсюдження набули пасивні глибокорозпушувачі, які прості за конструкцією і надійні в експлуатації (рис. 2.2).

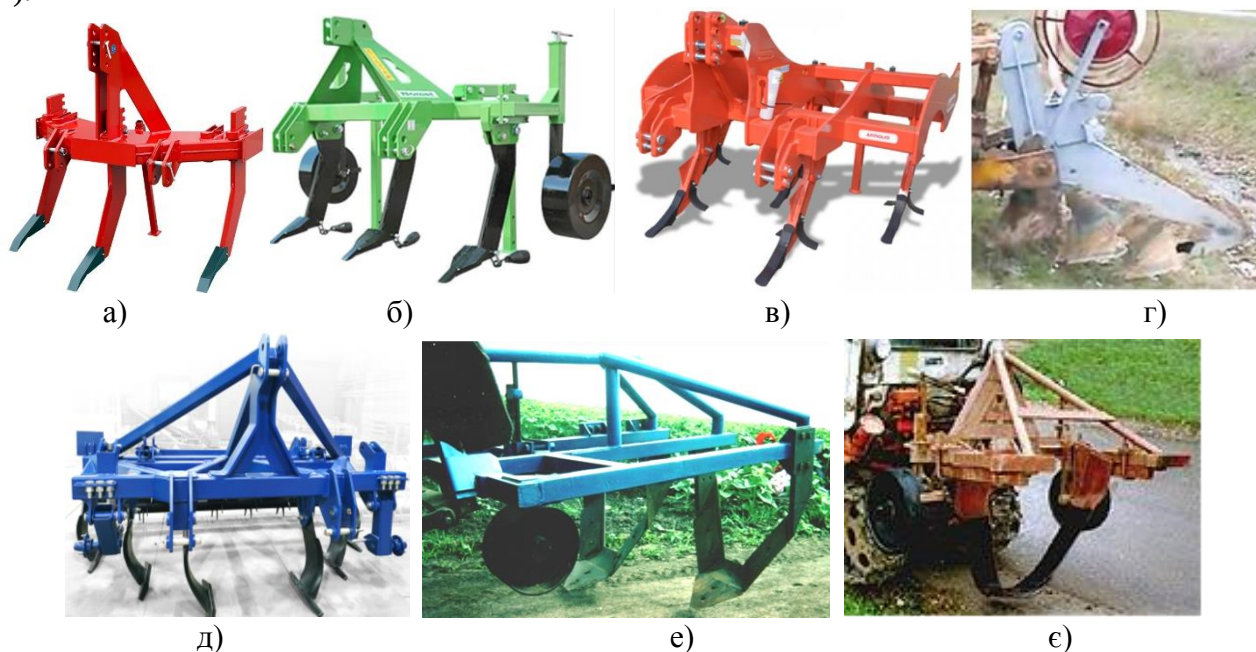


Рис. 2.2. Типові конструкції пасивних глибокорозпушувачів:
стоякові: а) – з долотом; б) – з дренажами; в) – з поширювачами; г) – ярусні відвальні;
д) – з вигнутими стійками; периметрові: е) – клинові; є) – дугові.

2.2.11 Технічна характеристика пасивних глибокорозпушувачів традиційної конструкції подана в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Технічна характеристика пасивних глибокорозпушувачів традиційної конструкції

Показники	РУ.65.2,5	РУ-45	РГ-0,8А
тип обладнання	навісне	навісне	навісне
агрегується з трактором класу, кН	50;60	50;60	Т-130Б; Т-100МБ
кількість розпушувальних стояків, шт	2–3	2	2–3
ширина розпушення, м	2,4–2,5	0,5–1,5	до 3,5
максимальна глибина розпушення, м	0,65	0,65	0,5–0,8
продуктивність, га/год	0,6	0,6	0,55
маса, кг	1250	250	2300

2.2.12 Технічна характеристика сучасних пасивних глибокорозпушувачів вітчизняних виробників подана в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Технічна характеристика пасивних глибокорозпушувачів вітчизняних виробників

Параметр	Марка агрегату						
	ГР-1,8	ГР-2,5	ГР-3,4	ГР-4,3	ГР-6,0	АГР-2,3	АГР-3,2
виробник	ТОВ НВП «Білоцерків МАЗ»					Міжнародна ТПК «Панда»	
тип обладнання	Навісне						
ширина захвату, м	1,8	2,5	3,4	4,3	6,0	2,3	3,2
робоча швидкість, км/год	8-12						
продуктивність, га/год	1,3–2,0	2,0–2,7	2,7–3,5	3,5–4,5	5,0–6,0	1,5–2,5	2,5–3,6
глибина обробітку, см	25–45	25–50	25–50	25–50	25–50	до 50	до 50
маса, кг	480	720	950	1290	5500	1180	2650
потужність тягача, к.с.	90–120	130–180	160–220	260–340	380–450	150–200	250–300

2.2.13 Технічна характеристика сучасних пасивних глибокорозпушувачів закордонних виробників подана в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Технічна характеристика пасивних глибокорозпушувачів закордонних виробників

Параметр	Марка агрегату				
	John Deere-915	Дельта	Artiglio	Helios	Wil-Rich 357
виробник	John Deere (США)	Hatzenbichler (Австрія)	Maschio (Італія)	GregoireBesson (Франція)	Wil-Rich (США)
тип обладнання	навісне	навісне, причіпне	навісне	навісне	навісне, причіпне
ширина захвату, м	2,5–4,5	4,0–6,0	2,5–5,0	2,0–5,0	2,3–9,1
кількість стійок, шт.	5–9	13–17	5–11	4–10	3–11
глибина обробітку, см	до 59	до 65	до 65	до 55	до 51
маса, кг	629–1271	3240–4500	1140–2400	1100–2680	354–3064
потужність тягача, к.с.	230–355	280–450	150–450	120–340	-

2.2.14 При виконанні ГМР важливим є питання щодо вибору типу розпушувача і тягача до нього. Вибір типу розпушувача залежить головним чином від особливостей осушуваного об'єкта: типу ґрунту, типу та інтенсивності водного живлення, рельєфу, ступеня кислотності ґрунтів та кількості кам'яних включень.

2.3. Необхідність та шляхи удосконалення глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів

2.3.1 Питання раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель визначає наступні задачі:

- необхідність диференціації ступеня дренаваності ґрунту для покращення поверхневого і внутрішньогрунтового стоку, з чим пов'язана направленість і інтенсивність ґрунтових процесів,
- проведення агро меліоративних заходів, одночасно із застосуванням дренажу, спрямованих на збільшення акумулюючої здатності активного шару ґрунту та збагачення його поживними елементами.

2.3.2 ГМР у традиційному варіанті, на теперішній час, має сукупність різнотипних недоліків (рис. 2.3), зокрема, конструкції технічних засобів не гарантують необхідну якість

розпушення ґрунтів, їх оструктурування, захист ґрунтового середовища від техногенного впливу, ущільнюють ґрунт стінок прорізуваних щілин, потребують при розпушенні значних енерговитрат, мають недостатню повноту розпушення та тривалість його післядії, а тому потребують подальшого удосконалення відповідно до таких вимог: 1) забезпечувати тривалу післядію; 2) поліпшувати водно-фізичні властивості та структуру ґрунту, підвищувати його родючість; 3) забезпечувати високу акумулюючу та сорбційну здатності ґрунту, підвищувати ефективність його водорегулювання; 4) забезпечувати ресурсозбереження, високу економічну та енергетичну ефективність; 5) відповідати сучасним принципам адаптивного природокористування.



Рис. 2.3. Основні недоліки традиційного ГМР

2.3.3 При використанні традиційного ГМР ґрунту як додаткового заходу для підвищення ефективності роботи дренажу за щілинною чи смуговою технологіями 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, рис. 2.4.

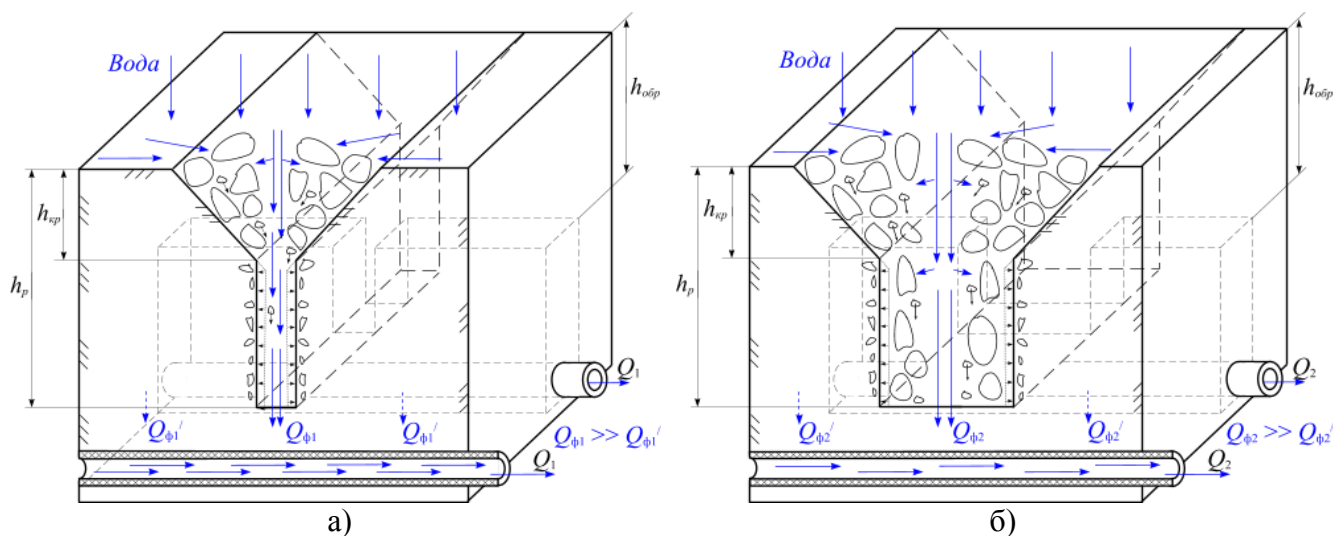


Рис. 2.4. Принципові схеми традиційного ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів:
 а) – щілинне; б) – смугове; $Q_{1,2}$ – об'єм дренажного стоку; $Q_{\phi 1, \phi 2}$ – фактичний об'єм ґрунтового стоку; h_p – глибина розпушення; $h_{обр}$ – глибина культурного обробітку;
 $h_{кр}$ – критична глибина сколу ґрунту

2.3.4 За аналізом профілів традиційного розпушення (див. рис. 2.4) можна виділити такі характерні ознаки:

- грубе неконтрольоване розпушення верхніх шарів;
- високоенергоємна розробка на закритичних глибинах;
- часткове перемішування гумусних шарів з нижніми;
- локальне ущільнення нижніх шарів;
- опосередкований вплив на ґрунтовий масив;
- нерівномірне посилення вертикальної фільтрації;
- збільшення промивного режиму;
- збільшення навантаження на дренаж;
- нерівномірність навантаження по довжині дрени.

2.3.5 Глибюкорозпушувачі пасивного типу потребують потужних тягачів внаслідок часткової роботи на закритичних глибинах з в'язко-пружно-пластичними деформаціями ґрунту, що є дуже енергозатратним процесом, призводить до погіршення якості розпушення і значного збільшення опору переміщенню.

2.3.6 *Критична глибина* – глибина при якій відбувається різка зміна фізичних, просторових та питомих енергетичних характеристик робочого процесу розробки ґрунту, зокрема, зміна виду руйнування цілісності ґрунтового масиву і мінімізація питомої енергоємності робочого процесу.

2.3.7 Для докритичних глибин характерним є переважання пружно-пластично-крихкої розробки ґрунту з почерговим сколом і виносом його розпушеного об'єму на денну поверхню з поступовим зменшенням питомої енергоємності робочого процесу при збільшенні глибини розробки, інтенсивність зростання опору різанню менша ніж зростання об'єму ґрунту, що розробляється.

2.3.8 Для закритичних глибин характерним є переважання в'язко-пружно-пластичної розробки ґрунту з переущільненням і запресовкою його в бічні стінки щілини, що розробляється, зі значним зростанням енергоємності робочого процесу при збільшенні глибини розробки, інтенсивність зростання опору різанню є значно більшою ніж зростання об'єму ґрунту, що розробляється.

2.3.9 Зважаючи на переваги пасивних глибюкорозпушувачів та недоліки активних і пасивно-активних, глибюкорозпушувачі пасивного типу є найбільш перспективними для проведення ГМР і можуть бути основою для удосконалення технічних засобів ГМР при умові ліквідації їх існуючих недоліків.

2.3.10 Через наявні зміни до умов та вимог сучасного використання осушуваних земель методологія розгляду технологій і технічних засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів потребує змін та переходу до системного підходу із визначення енергоефективності складних явищ та процесів перетворення ґрунту з прив'язкою до загальної ефективності меліоративної системи в цілому.

2.3.11 Загальні підходи до обґрунтування технологічних і технічних рішень удосконалення ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів для підвищення загальної 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 різнорідними елементами;
- розробки принципів побудови й реалізації комплексних моделей обґрунтування технологічних та конструктивних рішень щодо здійснення ГМР удосконаленими технічними засобами пасивного типу.

2.3.12 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.

2.3.13 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 ГМР на еколого-економічних засадах.

2.3.14 Визначальними різнорідними параметрами для такої системи є ґрунт, вода та енергія, які можна об'єднати через застосування системної методології.

2.3.15 Такий підхід дає змогу удосконалити технології та технічні засоби ГМР як адаптивний агро меліоративний захід для підвищення вологозабезпеченості осушуваних мінеральних ґрунтів та поліпшення їх еколого-меліорованого стану щодо змінюваних умов та вимог.

2.4 Принципи удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів

2.4.1 При вирішенні проблеми системних та фізико-механічних основ проектування розпушувачів ґрунту, з використанням положень загальної теорії систем, узагальнююча картина процесів на основі розгляду взаємозв'язку їх різнорідних елементів виду представляється як:

джерело енергії ↔ розпушувач ↔ ґрунт

з виходом на врожайність вирощуваних культур і оцінку загальної енергоефективності системи в цілому та на цій основі обґрунтування основ проектування і розрахунку робочих органів ґрунторозпушувачів за розглядом відповідної сукупності різнорідних елементів: джерело енергії – силовий агрегат (потужність тягача), розпушувач – параметри знаряддя, ґрунт – фізико-механічні властивості і структурний стан ґрунту.

2.4.2 На підставі та в розвиток існуючих положень, згідно з загальними принципами системної методології оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах, в сукупності з вже існуючими системними підходами для меліоративних систем різного типу та технічних засобів глибокого розпушення, системна методологія стосовно осушувальної меліоративної системи із застосуванням удосконалених технологій і технічних засобів ГМР розглядається у структурно-ієрархічному взаємозв'язку технічних засобів і технологій ГМР з природно-меліоративним режимом та еколого-економічним ефектом, у вигляді такої послідовності:

конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект

та відповідної структурно-ієрархічної схеми, рис. 2.5.

2.4.3 Сукупність різнорідних елементів, в такому випадку, 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. Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємо-пов'язані між собою як різнорідні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем.

2.4.4 Принципами удосконалення технологій та технічних засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів, на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різнорідних елементів меліоративних систем як природно-технічних еколого-економічних систем для підвищення їх ресурсної та еколого-економічної ефективності щодо змінюваних сучасних умов та вимог, є енергоефективність та водорегулювання, рис. 2.6.

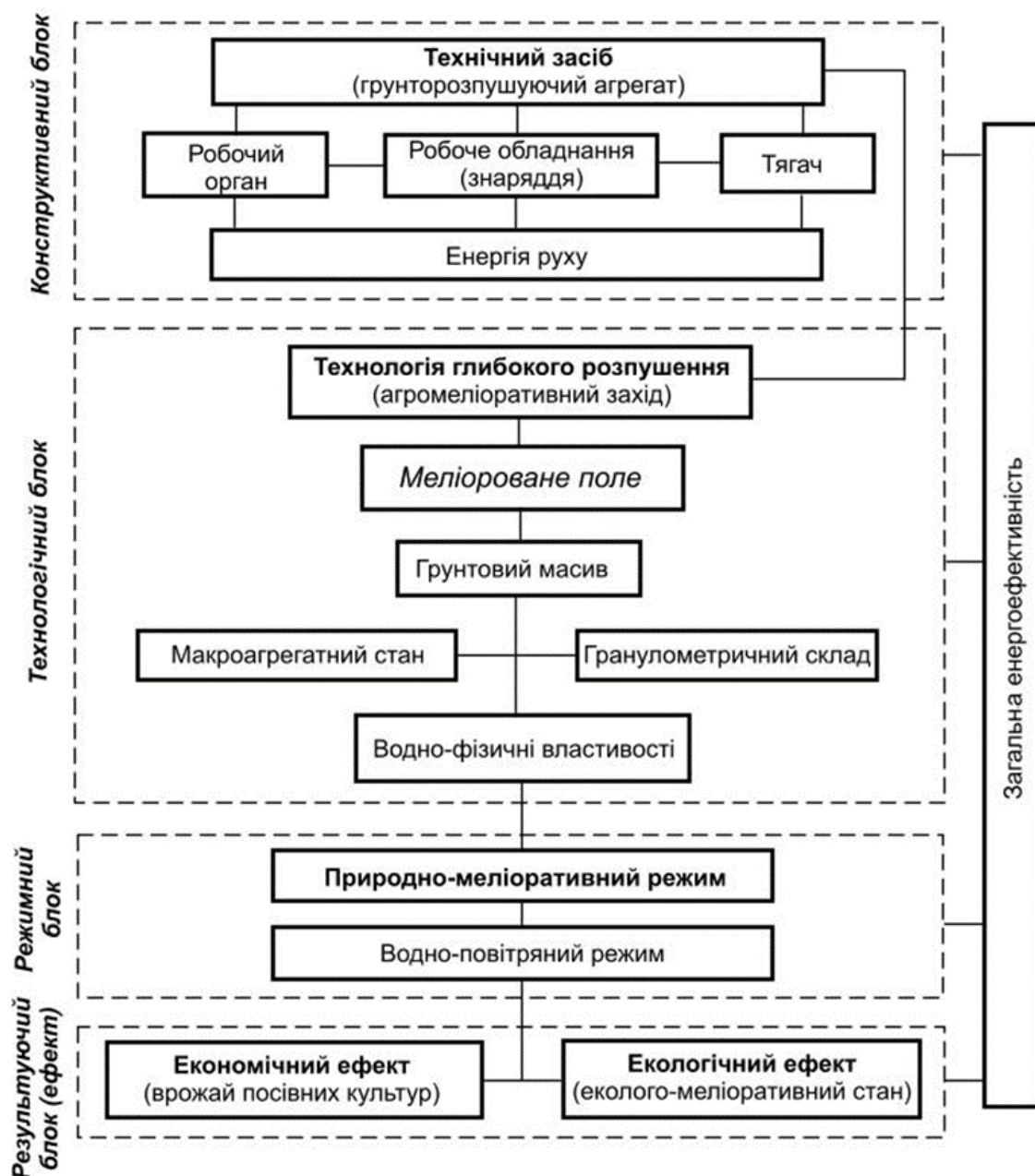


Рис. 2.5. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку різномірних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів ГМР меліорованого поля



Рис. 2.6. Причинно-наслідковий зв'язок глибокого розпушення, удосконаленого за принципами енергоефективності та вологорегулювання як складової меліоративної системи

2.4.5 Розгляд причинно-наслідкових зв'язків різнорідних параметрів ГМР у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи відбувається на енергетичній основі.

2.4.6 Таким чином, кінцевий енергетичний ефект у вигляді приросту врожайності аграрних культур визначається системними енергетичними перетвореннями сукупності різних видів техногенної і природної енергій (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Формалізація перетворення енергії в меліоративній системі при застосуванні глибокого розпушення

Конструкція	Технологія	Режим	Ефект
техногенна енергія	→ природні енергії ґрунту та води	→ регулювання потоків енергії	→ енергія агрокультур
робота ґрунторозпушувального агрегату	робота по формозміні шару і структури ґрунту для акумуляції вологи (опадів, полив)	робота техногенних і природних факторів	приріст врожайності
$A_{azp}[L^2M^1T^{-2}] = P_m[L^1M^1T^{-2}] \cdot v[L^1T^{-1}] \cdot t[T^1]$	$A_p[L^2M^1T^{-2}] + E_6[L^2M^1T^{-2}] = \sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}] \cdot \Delta V_{zp}[L^3] + E_6[L^2M^1T^{-2}]$	$A_m[L^2M^1T^{-2}] + A_n[L^2M^1T^{-2}]$	$\Delta W[L^2M^1T^{-2}]$

Сукупна залежність перетворення техногенної та природної енергії (роботи) при ГМР ґрунту в складі меліоративної системи має вигляд:

$$P_m[L^1M^1T^{-2}] \cdot v[L^1T^{-1}] \cdot t[T^1] \rightarrow \sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}] \cdot \Delta V_{zp}[L^3] + E_6[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow A_m[L^2M^1T^{-2}] + A_n[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow \Delta W[L^2M^1T^{-2}] \quad (2.1)$$

де $E_6[L^2M^1T^{-2}]$ – хімічна енергія води акумульованої в розпушеному ґрунті; $A_m[L^2M^1T^{-2}]$ – робота техногенних режимних факторів; $A_n[L^2M^1T^{-2}]$ – робота природних режимних факторів; $\Delta W[L^2M^1T^{-2}]$ – приріст енергії врожаю агрокультур. $P_m[L^1M^1T^{-2}]$ – тягове зусилля для подолання загального опору руху; $v[L^1T^{-1}]$ – швидкість руху ґрунторозпушувального агрегату; $t[T^1]$ – тривалість руху ґрунторозпушувального агрегату. $\sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}]$ – межа міцності ґрунту; $\Delta V_{zp}[L^3] = F_{zp}[L^2] \cdot L[L^1]$ – зміна об'єму шару ґрунту при зростанні площі вільної поверхні часток ґрунту; $F_{zp}[L^2]$ – зміна площі поперечного перерізу шару ґрунту; $L[L^1]$ – довжина шляху руху.

2.4.7 Практична реалізація змінених підходів із дотриманням вологорегулюючих принципів полягає в наступному (рис. 2.7, а):

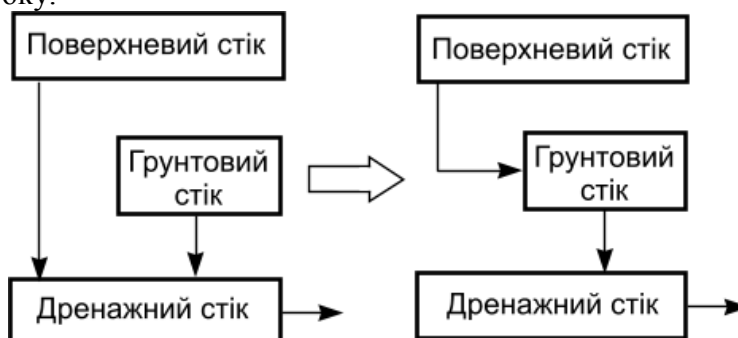
- зміна диспозиції складових елементів вологорегулювання через безпосереднє включення всього ґрунтового масиву в схему інтенсифікації переведення поверхневого стоку в дренажний:

- зміна напрямку потоків через перехід від максимально швидкого вертикального переведення поверхневого стоку в дренажний до горизонтально-вертикального переведення поверхневого стоку спочатку в ґрунтовий, з акумулюванням його в ґрунті, і відведення через дренаж лише його залишків;

2.4.8 Практична реалізація змінених підходів із дотриманням енергоефективних принципів полягає в наступному (рис. 2.7, б):

- зміна локалізації прикладання енергії робочих органів до всього масиву відразу з нижнього положення на окремо до кожного шару;

- зміна напрямку потоків енергії робочих органів від вертикальної розробки на почергову горизонтальну розробку.



а)

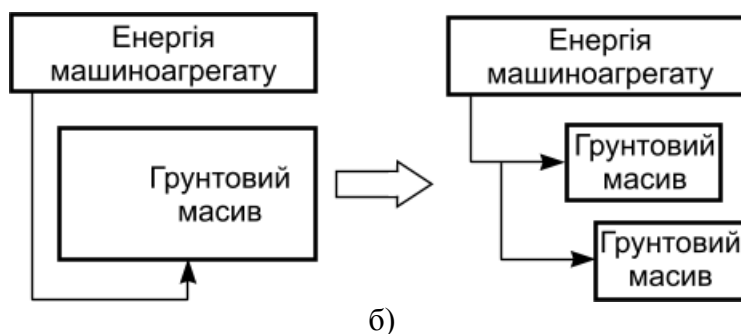


Рис. 2.7. Зміна підходів до принципів вологорегулювання та енергоефективності:
а) – вологорегулювання; б) – енергоефективності.

2.4.9 Для дотримання змінених підходів до принципів вологорегулювання та енергоефективності в конструкції глибокорозпушувача пасивного типу необхідно здійснювати пошарове рознесення робочого процесу розпушення ґрунту в просторі агрегату та тільки на докритичних глибинах, використовуючи для цього декілька робочих органів рознесених певним чином у профільній та горизонтальній площинах, уникаючи тим самим найбільш енергоємних зон ущільнення в агрегаті в цілому, а також необхідно звести до мінімуму в'язко-пружно-пластичні деформації ґрунту в робочих органах глибокорозпушувача, замінивши їх менш енергоємними деформаціями згину, зсуву, сколу.

2.4.10 Реалізація таких змінених підходів дасть змогу виконувати ГМР з наступними характерними ознаками (рис. 2.8): диференційоване контрольоване розпушення активних шарів; малоенергоємна розробка на докритичних глибинах; часткове перемішування гумусних шарів з нижніми; відсутність ущільнення нижніх шарів; безпосередній глобальний вплив на ґрунтовий масив; рівномірне посилення горизонтальної фільтрації з акумулюванням; зменшення промивного режиму; зменшення навантаження на дренаж; вирівнювання навантаження по довжині дрени; $Q_{\phi 1} > Q_{\phi 2} > Q_{\phi 3}$; $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

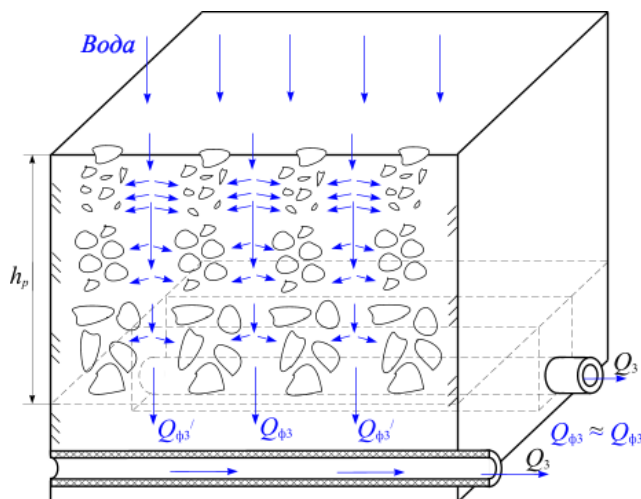


Рис. 2.8. Принципова схема удосконаленого ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів з врахуванням зміни підходів: Q_3 – об'єм дренажного стоку дрени; $Q_{\phi 3}$ – фактичний об'єм ґрунтового стоку; h_p – глибина розпушення

2.4.11 Для забезпечення необхідної фільтрації та одночасної акумуляції надлишкової ґрунтової вологи пропонується перехід від традиційних широковживаних технологій щільного та смугового розпушення до суцільного, диференційованого за глибиною, пошарового розпушення ґрунту.

2.4.12 При глибокому суцільному та диференційованому за глибиною розпушенні ґрунту розпушення проводять суцільним як по висоті профілю кожного шару, так і по площі поля, верхній шар до плугової підшви розпушують до утворення середньо- та дрібногрудчоватої структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох

чвертях, а плугову підшову разом з нижнім шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудчоватої структури на глибину меншу від глибини залягання дренажу.

2.4.13 За результатами аналітичного моделювання та фізичних досліджень отримано закономірності регулюючого впливу параметрів макроструктури ґрунтового середовища на параметри його водно-фізичних властивостей, згідно яких встановлено, що найбільш енергетично доцільною для підвищення вологоакумулюючих властивостей є орієнтація на утворення макроагрегатів дрібногрудчоватої структури ґрунту розміром 4–5 мм і середньогрудчоватої структури >6 мм для забезпечення фільтраційних показників ґрунту, найвищі значення коефіцієнта розпушення спостерігаються при відносній вологості ґрунту 10–40%.

2.4.14 Утворення зернистої та дрібногрудчоватої структури дає можливість максимально ефективно використати вологоакумулюючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні над плужною підшовою де потенційно розміщуються кореневі системи більшості с.-г. культур.

2.4.15 Утворення крупно- та середньогрудчоватої структури до глибини залягання дренажу дає можливість достатньо швидко виводити надлишок рідини за рахунок збільшених проміжків між частинками ґрунту одночасно з деяким акумулюванням її в ґрунті через утворення достатньої площі поверхні частинок ґрунту. Утворення середньогрудчоватої структури у верхній чверті верхнього шару захищає накопичену дещо нижче вологу від надлишкового випаровування з поверхні і вивітрювання.

2.4.16 В результаті в кожному з шарів ґрунту отримується вологоакумулююча структура, яка є відповідною до призначення кожного з них: з максимальним потенціалом вологоакумулювання у верхній частині та достатньою водопрпускнуною спроможністю з одночасним акумулюванням деякої частини вологи у нижній частині ґрунтового профілю.

2.4.17 Застосування способу суцільного диференційованого за глибиною розпушення ґрунту дає можливість значно зменшити затрати для підтримання сприятливого водно-фізичного стану меліорованих ґрунтів на протязі всього вегетаційного періоду при змінних кліматичних умовах.

2.4.18 Таким чином, за аналогією та в розвиток сучасних наявних підходів до розробки меліоративних розпушувачів, удосконалення технологій і технічних засобів суцільного ГМР мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом за енергоефективними й вологорегулюючими принципами повинно здійснюватися за їх споживчими властивостями з урахуванням різнонаправлених факторів впливу (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Фактори впливу на споживчі властивості технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

2.5. Удосконалені технології глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів та обґрунтування їх параметрів

2.5.1 Удосконалення технологій ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів здійснюється на основі просторової диференціації за глибиною та за площею рівня розуцільнення макроагрегатної структури активних шарів ґрунту для поліпшення його еколого-меліорованого стану та регулювання водного режиму.

2.5.2 На основі реалізації вологореґуючих принципів удосконалення технологій ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів обґрунтовано перехід від традиційних широковживаних технологій щільного та смугового розпушення до суцільного за профілем та площею, диференційованого за глибиною пошарового ГМР ґрунту удосконаленими технічними засобами з формуванням різного профілю розпушеної смуги ґрунту, прямокутного – для легких ґрунтів, трапецевидного – для середніх ґрунтів та трикутного – для важких ґрунтів, розпушуючи верхній шар до утворення середньо- та дрібногрудочкової структури у верхній його частині і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижній, а нижні шари розпушувати до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину (до 0,6 м) дещо меншу від глибини залягання дренажу.

2.5.3 Розроблено узагальнену технологічну схему удосконаленого суцільного ГМР (див. рис. 2.10), щодо наступних задач:

- забезпечення в межах меліорованої ділянки максимальної акумуляції і перерозподіл в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків з виводом через дренаж лише їх залишків;
- забезпечення максимальної акумуляції ґрунтової вологи з перерозподілом в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків і направленим виводом за межі ділянки їх надлишків без додаткових матеріальних затрат;
- забезпечення швидкого переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, мінімізації випаровування вологи на поверхні з максимальною акумуляцією її в ґрунті;
- зменшення випаровування та ерозії в орному шарі з максимальною акумуляцією вологи поверхневого стоку в ґрунті.

2.5.4 Для забезпечення в межах меліорованої ділянки максимальної акумуляції і перерозподіл в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків з виводом через дренаж лише їх залишків, розпушення кожного шару проводять суцільним як по висоті профілю кожного шару, так і по площі поля, верхній шар до плугової підшви розпушують до утворення середньо- та дрібногрудочкової структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а плугову підшву разом з нижнім шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини залягання дренажу. В результаті в кожному з шарів ґрунту отримується вологоакумулююча структура, яка є відповідною до призначення кожного з них: з максимальним потенціалом вологоакумулювання у верхній частині та достатньою водопропускною спроможністю з одночасним акумулюванням деякої частини вологи у нижній частині ґрунтового профілю.

2.5.5 Для забезпечення максимальної акумуляції ґрунтової вологи з перерозподілом в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків і направленим виводом за межі ділянки їх надлишків без додаткових матеріальних затрат, розпушення плугової підшви і нижніх шарів ґрунту здійснюють з утворенням суміжних смуг симетричного трапецевидного профілю розпушеного ґрунту зі звуженням в напрямку нижніх шарів. Утворення таких смуг дає можливість за рахунок суміжності верхніх частин профілів сусідніх смуг зберегти переваги суцільності обробітку у верхньому шарі, а в нижніх шарах, за рахунок меншого об'єму розпушення в кожній смузі трапецевидного профілю відносно прямокутного мати менші приведені питомі енергозатрати розпушення ґрунту в порівнянні з суцільним, а чергування розпушених ґрунтових смуг з відносно вузькими водороздільними нерозпушеними частинами чітко визначатиме перерозподіл та направленість потоків надлишків поверхневого і ґрунтового стоків в напрямку утворених смуг розпушеного ґрунту.

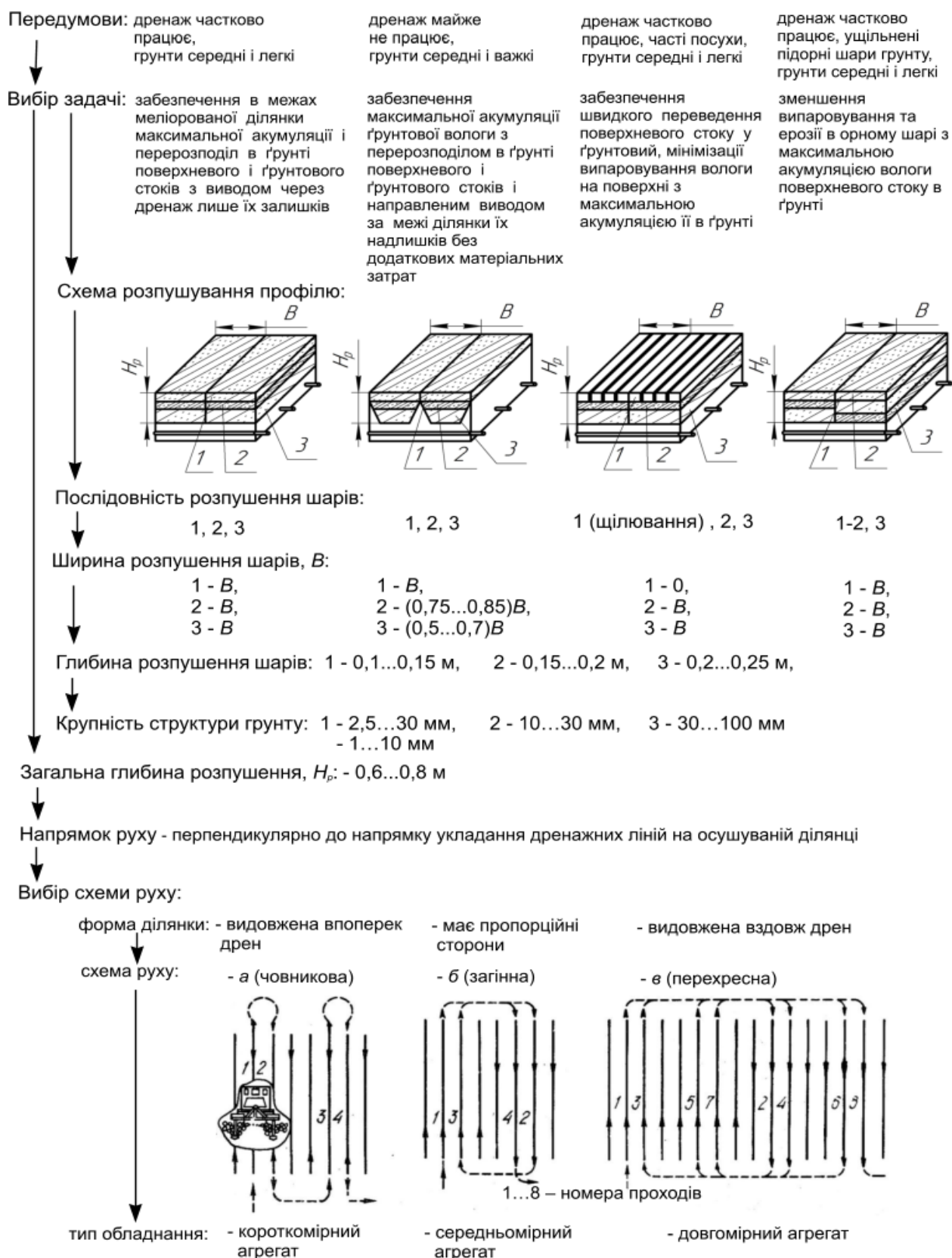


Рис. 2.10. Узагальнена технологічна схема удосконаленого суцільного ГМР

2.5.6 Для забезпечення швидкого переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, мінімізації випаровування вологи на поверхні з максимальною акумуляцією її в ґрунті, при якому суцільному розпушенні орного шару у його верхній чверті здійснюють вертикальне щільювання. Утворення вертикальних щілин дозволить без випаровування вологи на поверхні поля швидко сконцентрувати поверхневий стік в щілинах та через їх достатньо велику пропускну здатність максимально швидко перевести його в ґрунтовий, що унеможливить від непродуктивного випаровування і вивітрювання з поверхні поля отриманої вологи. Утворення

зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях орного шару до плугової підшви дає можливість максимально ефективно використати вологоакумулюючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні де потенційно розміщуються кореневі системи більшості сільськогосподарських культур.

2.5.7 Для зменшення випаровування та ерозії в орному шарі з максимальною акумуляцією вологи поверхневого стоку в ґрунті, розпушення орного шару здійснюють безпліцевим обробіткою удосконаленими ґрунторозробними органами, а розпушення плугової підшви і суміжних нижніх шарів здійснюють із взаємним обміном їх по горизонтах залягання, переміщаючи нижні шари на місце верхніх, а верхні на місце нижніх.

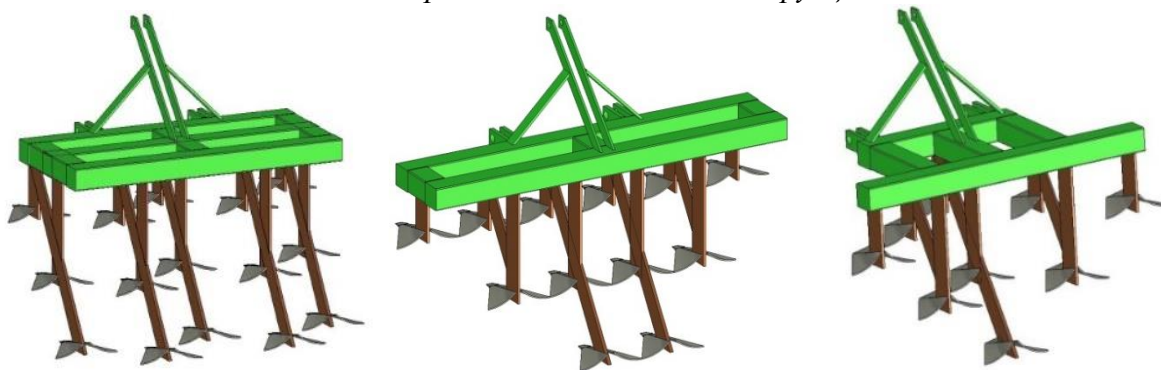
2.5.8 Для регулювання водного режиму осушуваних мінеральних ґрунтів попереджувальним шлюзуванням на спаді весняної повені акумуляція частини води шляхом закриття шлюзів на осушувальних каналах провідної мережі гідромеліоративної системи виконується із застосуванням удосконалених технологій глибокого меліоративного розпушення. На початку вегетації вирощуваних сільськогосподарських культур здійснюють глибоке суцільне меліоративне розпушення, зарегулювання і акумуляцію у верхньому кореневмісному шарі ґрунту більшої частини атмосферних опадів, а саме: від 30 у вологі і до 90 % у посушливі періоди. Закриття шлюзів проводять у періоди випадання інтенсивних атмосферних опадів для підтримання тривалого підпору рівня ґрунтових вод впродовж періоду вегетації в інтервалі 0,8–1,2 м відповідно до норм осушення вирощуваних культур.

2.6. Удосконалені технічні засоби глибокого меліоративного розпушення меліорованих мінеральних ґрунтів та обґрунтування їх параметрів

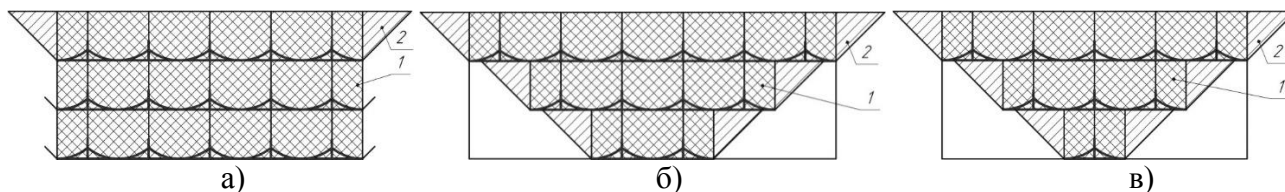
2.6.1 Удосконалення технічних засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів здійснюється на основі врахування епюри зміни лобового тиску та швидкості руху агрегату при пошаровій докритичноглибинній розробці ґрунту та реалізації контрольованого розуцільнення макроагрегатної структури ґрунту через малоенергоємку деформацію згину.

2.6.2 Для усунення недоліків традиційних глибокорозпушувачів пасивного типу розроблені і пропонуються до виробничого застосування нові за принципом формування та дії, енергозберігаючі робочі органи для ГМР ґрунтів – *ярусні робочі органи* (рис. 2.11, табл. 2.5).

Варіанти компоновки конструкції



Повнота розпушення поперечного профілю



Принцип дії на ґрунт

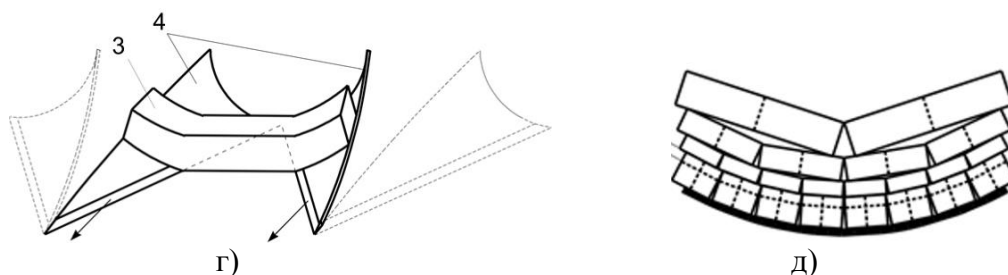


Рис. 2.11. Ярусні глибокорозпушувачі: а) – для легких ґрунтів (супіски та легкі суглинки); б) – для середніх ґрунтів (середні суглинки); в) – для важких ґрунтів (важкі суглинки, глини); г) – фізична дія на елемент ґрунтової скиби; д) – принцип подрібнення ґрунту; 1 – повне структурне розпушення, 2 – часткове розпушення сколом; 3 – ґрунтова скиба; 4 – робочі органи

Таблиця 2.5

Технічна характеристика удосконалених ярусних глибокорозпушувачів

Показники	Значення	Показники	Значення
тип обладнання	навісне	ширина захвату, м	2,0–2,5
робочий орган	стріловидний	глибина розпушення, м	0,6–0,8
кількість ярусів	3, 4	продуктивність, га/год	2,4–3,0
кількість стояків	3–5	маса, кг	640–670
робоча швидкість, км/год	8–12	клас тягача, кН	50; 100

2.6.3 У загальному випадку, конструкція удосконаленого глибокорозпушувача представляє собою раму з несучими стояками, на яких, для роботи на докритичних глибинах, закріплені робочі органи у вигляді спряження долота-леміша з увігнутими стріловидними ґрунторозпушувальними елементами змінної кривизни (рис. 2.11, а, б, в). Через форму і параметри цієї поверхні задається необхідна малоенергоємна деформація згину з почерговою послідовністю утворення вертикальних і горизонтальних тріщин, величина напруження сколотої ґрунтової скиби і ступінь подрібнення розроблюваного шару ґрунту (рис. 2.11, г, д). Загальна компоновка глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням робочих органів в трьох взаємно перпендикулярних напрямках залежно від необхідної форми поперечного профілю (рис. 2.11, а, б, в).

2.6.4 Врахування послідовності тріцоноутворення та співвідношення макроагрегатів при деформації ґрунту згином для теоретичного прогнозування коефіцієнта розпушення ґрунту, дає змогу аналітично пов'язати характеристики розуцільнення макроагрегатної структури осушуваних мінеральних ґрунтів та параметри технологій та технічних засобів ГМР щодо їх досягнення.

2.6.5 Завдяки новому принципу розпушення, вперше з'явилась можливість керувати процесом розпушення ґрунту, а саме отримувати бажану ступінь його розпушення у кожному горизонті вертикального профілю ґрунту, тобто диференціювати структуру розпушення за глибиною. Крім того, даним робочим органом за потребою можна здійснювати як смугове, так і суцільне розпушення.

2.6.6 Реалізація енергоощадних принципів удосконалення технічних засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів здійснюється шляхом зменшення опору розуцільнення макроструктури ґрунту через застосування докритичноглибинної неблокованої розробки ґрунту в ґрунторозпушувальному агрегаті в цілому та енергоощадної деформації ґрунту згином в його робочих органах зокрема.

2.6.7 Основні переваги класичного глибокого суцільного розпушення залишаються характерними і для диференційованого за глибиною удосконаленого розпушення: зниження енергоємності основного обробітку; забезпечення умов життєдіяльності корисної мікробіоти; зменшення ризику утворення ущільнень у ґрунті, підвищення водного та повітряного обміну між різними шарами ґрунту.

2.6.8 Конструкцію і параметри технічних засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтівсга рис. 2.11 визначають сукупність різнорідних факторів серед яких вихідні і затребувані характеристики ґрунту меліорованого поля, як середовища здійснення робочого процесу розпушення, технологічні й енергетичні чинники.

2.6.9 До основних характеристик ярусних робочих органів можна віднести наступне:

конструкція рами з системою навіски, конструкція стояків, конструкція робочих органів, параметри просторового компонування.

2.6.10 Основні параметри ярусних робочих органів для ГМР ґрунту представлено на рис. 2.12.

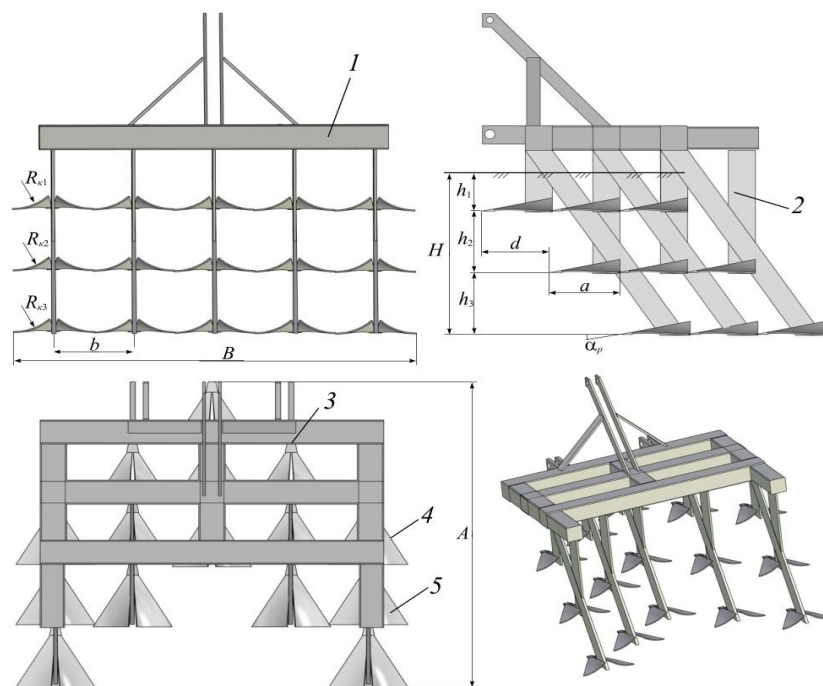


Рис. 2.12. Параметри просторової конфігурації робочих органів глибокорозпушувача

2.6.11 Щодо інженерних розрахунків прийнято наступні позначення: ω – природна вологість ґрунту, %; $\omega_{п}$ – число пластичності; $\omega_{т}$ – межа текучості ґрунту; $\omega_{р}$ – границя розкочування ґрунту; B_k – показник консистенції ґрунту; C – зчеплення ґрунту, кПа; φ, φ_0 – відповідно, кут зовнішнього та внутрішнього тертя ґрунту, град.; f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = \tan \varphi$); $\gamma_{гр}$ – питома вага ґрунту, кН/м³; k_h – відношення висоти зони розтягу до висоти зони стиску при згині; ε_p – відносна деформація розриву, %; l_k – величина поперечника структурного ґрунтового агрегату, м; R_k – радіус кінцевого поперечного перерізу робочих органів, м; b – ширина захвату робочих органів, м; l – довжина дуги робочих органів в перерізі, м; $V_{азр}$ – робоча швидкість розпушувального агрегату, м/с; a – довжина робочих органів, м; α_p – кут різання долота робочих органів, $\alpha_p = 15-30^\circ$; θ – кут бокового сколу ґрунту, $\theta = 40-50^\circ$. k – питомий опір різанню в ярусі, кПа; e_n – пористість ґрунту; σ_p, σ_c – граничні напруження відповідно, розриву та стиску ґрунту, кПа; h – глибина обробітку на один ярус, м; h_2 – глибина обробітку на нижній ярус, м; H – загальна глибина розробки, м; δ – величина просторового рознесення робочих органів по ширині агрегату, м; d – величина просторового рознесення робочих органів по довжині агрегату, м; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²; ψ_2 – кут сколу ґрунту у нижньому ярусі, рад; q – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, $q = 120000-150000$ кН/м³; C_q – коефіцієнт, який враховує зміну опору об'ємного зминання ґрунту при зміні швидкості, $C_q = 5,3$ кН·с/м⁴; B – загальна ширина захвату ґрунторозпушувального агрегату, м; A – загальна довжина ґрунторозпушувального агрегату, м; j – кількість ярусів, шт.; m – кількість стояків з робочими органами, шт.; ψ – кут нахилу стояків, град.; P_T – повний тяговий опір розпушувального агрегату, кН; $G_{азр}$ – сила тяжіння знаряддя разом з ґрунтом, що розробляється, Н.

2.6.12 Алгоритм визначення конструктивних параметрів робочих органів для ГМР ґрунту буде наступним.

Залежно від технологічних потреб або фізико-механічних властивостей і функціонального призначення ґрунтових горизонтів вибирається просторова конфігурація робочих органів і максимальна глибина розробки. В разі однорідності ґрунту, коли немає явно виражених ілювіальних горизонтів, глибина розробки приймається 0,4–0,6 м. На меліорованих землях, при наявності дренажних систем, з метою покращення функціонування останніх, глибина розпушення приймається меншою на 0,15–0,20 м за глибину закладання дрен, відраховуючи від

верху дренажних трубок:

$$H = H_{op} - d_{op} - (0,15-0,2), \quad (2.2)$$

де H_{op} – глибина закладання дренажу;

d_{op} – діаметр дренажної трубки,

За стандартною методикою визначають природну вологість ґрунту з метою вибору числових значень фізико-механічних показників ґрунтів, які впливають на важкість їх розробки. Надалі у лабораторних умовах або за кореляційними залежностями визначають число пластичності, границі текучості та розкочування і показник консистенції.

$$\omega_n = \omega - 8; \quad \omega_T = 14,8 + 1,2 \omega_n; \quad \omega_p = \omega_T - \omega_n; \quad B_k = (\omega - \omega_p) / \omega_n. \quad (2.3)$$

За числом пластичності визначають тип ґрунту, а за величиною B_k – його консистенцію. Знаючи дані показники, вибирають для кожного типу числові значення коефіцієнта зчеплення, кутів внутрішнього та зовнішнього тертя і питому вагу ґрунту.

Користуючись існуючими даними, а при їх відсутності, за вказаними регресійними залежностями, визначають коефіцієнт k_h та відносну деформацію розриву ε_p :

- для легкого суглинку ($W=6,8-17,3\%$; $\gamma=1,40-1,66$ г/см³):

$$k_h = 5,246 - 0,119 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,788; \quad (2.4)$$

- для напівтвердого супіску ($W=6,9-16,0\%$; $\gamma=1,46-1,71$ г/см³):

$$k_h = 0,433 + 0,131 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,633; \quad (2.5)$$

- для легкого суглинку з гумусом ($W=26,0-38,4\%$; $\gamma=1,27-1,71$ г/см³):

$$k_h = 7,925 - 0,178 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = -4,306 + 5,269 \cdot \gamma_{г/см^3}^3; \quad (2.6)$$

Відповідно з вимогами, які висуваються до структури розпушеного ґрунту, за меншими значеннями рекомендованого діапазону задається величина поперечника структурного макроагрегату l_k .

За заданою величиною поперечника структурного ґрунтового агрегату l_k та відносною деформацією розриву ε_p , для відповідних ґрунтових умов, визначається радіус кінцевого поперечного перерізу поверхні R_k , величина якого суттєво впливає на якісні показники розпушення

$$R_k = l_k \left(\frac{1}{2\varepsilon_p} + 1 \right), \quad (2.7)$$

Враховуючи R_k за пропорційною залежністю визначається рекомендована ширина ріжучої кромки поверхні L , від якої залежать кількісні показники розпушення:

$$b = \frac{\pi}{2} R_k, \quad (2.8)$$

Залежно від робочої швидкості розпушувального агрегату визначається довжина поверхні a , яка відповідає за інтенсивність процесу розпушення ґрунтового шару

$$a = \sqrt{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp} \cdot t_{1c}}, \quad (2.9)$$

За отриманими параметрами (l_k , R_k , a) визначається форма ґрунторозпушувальної поверхні робочого органу для виготовлення

$$z(x, y) = \frac{a}{x} R_k - \sqrt{\left(\frac{a}{x} R_k \right)^2 - \left(y \pm \frac{b}{2} \right)^2}. \quad (2.10)$$

Розраховується рознесення робочих органів за довжиною агрегату базується на принципі вільного проходження ґрунту між ярусами без підпирання верхнього ярусу нижнім (d_{min}) та уникнення контакту ґрунту в зоні активного подрібнення (d_{max}), $d \in [d_{min}; d_{max}]$:

$$d_{max} = \frac{V_{azp} \cos \alpha_p}{2g} \left(V_{azp} \sin \alpha_p + \sqrt{2ga \sin \alpha_p + (V_{azp} \sin \alpha_p)^2} \right)$$

$$d_{\min} = \frac{h_2}{\operatorname{tg} \psi_2} - \sqrt{\frac{2R_{3M} \cos \phi (\operatorname{tg} \alpha_p + \operatorname{tg} \psi_2)}{b(q + C_q V_{azp}) \operatorname{tg} \alpha_p \operatorname{tg} \psi_2}}, \quad (2.11)$$

$$\text{де } R_{3M} = \frac{\cos^2 \phi_0 e^{(\pi+2\phi_0) \operatorname{tg} \phi_0} \left(\frac{\gamma h_2}{2} + C \operatorname{ctg} \phi_0 \right)}{(1 - \sin \phi_0) \cos \phi_0} \cdot \frac{h_2}{\sin \psi_2} \left(\frac{\pi h_2}{\sin \psi_2} + b \right).$$

Вертикальне рознесення визначається висотою ґрунтового шару, який можна якісно розробити однією поверхнею, та кутом нахилу стояків.

Висота ґрунтового шару на один ярус:

$$h = \frac{k_h + 1}{k_h} \frac{R_k}{36,23 \cdot e_n - 1,22} \leq \frac{9kl_k(1 + k_h) \sin \alpha_p}{2\pi \sigma_p k_h}. \quad (2.12)$$

Кут нахилу стояків:

$$\psi = \arctg \frac{h}{d}. \quad (2.13)$$

Загальна ширина захвату агрегату вибирається відповідно до агротехнічних вимог щодо того, що максимальна питома потужність на ширину захвату повинна становити 35 кВт/м.

$$B = \frac{P_T \cdot V_{azp}}{35}. \quad (2.14)$$

Тяговий опір глибокорозпушувача складається з опору переміщення робочого органа, розробки, транспортування ґрунту робочими органами та опору стояків:

$$P_T = G_{azp} \cdot f + j \cdot m [k h b + P_T^{nog}], \text{ кН}, \quad (2.15)$$

де P_T^{nog} – зусилля розробки та транспортування ґрунту робочими органами.

$$P_T^{nog} = P_p + \frac{a^2 \cdot f \cdot \gamma \cdot h}{\cos \alpha_p} (R_k^2 (0,542 - 0,038 \ln(1,571 R_k)) + 0,008 V_{azp}^2). \quad (2.16)$$

Визначається необхідна кількість стояків з робочими органами з округленням до цілого:

$$m = B / (b + \delta). \quad (2.17)$$

Кількість ярусів розраховується залежно від загальної глибини розробки агрегату:

$$j = H / h. \quad (2.18)$$

2.6.13 Орієнтовні значення основних параметрів робочих органів приведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Орієнтовні значення основних параметрів робочих органів

Ґрунтовий шар	Орний горизонт (<0,24 м)	Підорний горизонт (>0,24 м)
кінцевий радіус, R_k , м	0,13–0,21	0,21–0,35
ширина захвату, b , м	0,20–0,33	0,33–0,50
довжина, a , м	при $V_{azp} < 2,5$ м/с при $V_{azp} > 2,5$ м/с	0,08–0,12 0,10–0,16
кут різання долота, α_p , град.	25–30°	25–30°
висота ярусу, h , м	0,15–0,18	0,07–0,15
вільна зона між робочими органами, δ , м	0,12–0,15	0,06–0,10
зміщення в нижніх ярусах, d , м	при $V_{azp} < 2,5$ м/с при $V_{azp} > 2,5$ м/с	– 0,11–0,14 0,12–0,33

2.6.14 Вибір ефективної конструктивної схеми просторового розміщення робочих органів глибокорозпушувачів оцінюється коефіцієнтом повноти розпушення (загального та структурного) – відношенням площі розпушеного ґрунту у фронтальній площині до площі

умовного прямокутника розпушення у фронтальній площині (визначається загальною шириною та глибиною розпушення робочого органа) та відносним зусиллям процесу розпушення. Коефіцієнт загального розпушення характеризує збільшення об'єму розпушеного ґрунту відносно початкового об'єму, а структурного вологоакумулюючого – об'єм утворення необхідних структурних агрегатів в розпушеному об'ємі ґрунту відносно початкового об'єму.

2.6.15 Порівняльна характеристика удосконалених триярусних робочих органів глибокорозпушувачів з умовною шириною захвату на 6 ґрунторозпушувальних елементів однакового розміру представлена в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Порівняльна характеристика удосконалених глибокорозпушувачів з різними профілями розпушення

№ з/п	Тип та схема профілю	Розміщення робочих елементів в ярусі	Відносне зусилля розробки ґрунту, у.о.*	Повнота розпушення повного профілю		Відносне зусилля повноти розпушення, ум.*	
				загальна	структурна	загальне	структурне
1	I – прямокутний, рис. 2.4, а	рядне	18	1,04	1,00	17,3	18,0
2		шахове	15			14,4	15,0
3		клинове	15			14,4	15,0
4	II – трапецієвидний, рис. 2.4, б	рядне	12	0,8	0,67	15,0	17,9
5		клинове	10,5			13,1	15,7
6	III – трикутний, рис. 2.4, в	рядне	9	0,63	0,50	14,3	18,0
7		клинове	7,5			11,9	15,0

Примітка. *ум. – зусилля розробки ґрунту одним ґрунторозпушувальним елементом

2.6.16 Найкращим з точки зору питомих витрат на структурне вологоакумулююче розпушення ґрунту є варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в ярусі незалежно від форми утворених профілів розпушеного ґрунту. Якщо брати загальне розпушення ґрунту, то найкращим варіантом буде утворення трикутного профілю. Це можна використати при розпушенні важких суглинистих ґрунтів.

2.6.17 В таких робочих органах коефіцієнт загальної повноти розпушення поперечного профілю лежить в межах 0,63–1,04, а коефіцієнт повноти структурного вологоакумулюючого розпушення лежить в межах 0,5–1,0. Значення коефіцієнтів зменшуються при зміні прямокутного профілю розпушення і наближенні його до трикутного.

2.6.18 При виконанні ГМР вибір типу розпушувача і тягача до нього залежить головним чином від особливостей об'єкта: типу ґрунту, типу та інтенсивності водного живлення, рельєфу, ступеня кислотності ґрунтів та кількості кам'яних включень.

2.6.19 При виборі типу розпушувача можна керуватися рекомендаціями табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Умови використання основних типів розпушувачів

№ з/п	Вид розпушення	Категорія ґрунту	Кам'янистість ґрунту, що розпушується, м³/га	Тип розпушувача
1.	щілинне	II–III	до 25–30	РУ 65.2,5, John Deere-915
2.			до 10–15	ГР-1,8
3.	до 10–20		РГ-0,8А	
4.	смугове		до 10–15	ярусний глибокорозпушувач-укладач
5.	суцільне		до 10–15	АГР-2,3
6.			до 10–15	удосконалений ярусний глибокорозпушувач

2.6.20 Вибір тягача можна проводити за графічними залежностями тягового опору від глибини розпушення при різних формах профілю розпушення, рис. 2.13.

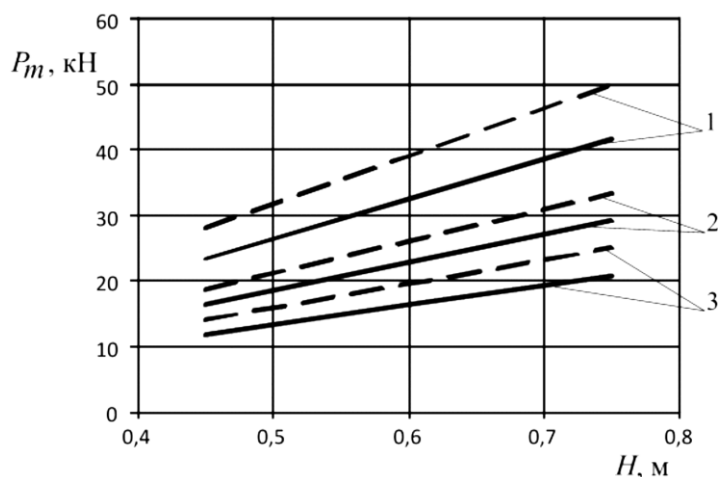


Рис. 2.13. Тяговий опір розробки ґрунту робочим органом триярусного глибокорозпушувача з шириною захвату 2 м: 1 – прямокутний профіль; 2 – трапецієвидний профіль; 3 – трикутний профіль; штрихова лінія – рядне розміщення робочих елементів в ярусі; суцільна лінія – клинове розміщення робочих елементів в ярусі

2.6.21 Тяговий опір лежить в межах 11–50 кН. Для агрегування підходять тракторні тягачі з тяговою потужністю від 70 до 300 кВт. Найбільш вигідним за питомими показниками є варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в плані кожного ярусу. Його ефективність відносно інших варіантів за тягою складає 12–17% вигашу.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖУ З УРАХУВАННЯМ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ

3.1. Вихідні передумови

3.1.1 Основним способом осушення мінеральних перезволожених ґрунтів є закритий матеріальний дренаж, який у сучасних умовах не завжди забезпечує виконання проектних показників водного режиму, не враховує множинні змінні природно-агро-меліоративні умов осушуваного масиву загальної еколого-економічної ефективності його влаштування.

3.1.2 У зоні осушувальних меліорацій урахування цих аспектів 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 й в межах системи, зокрема, що дасть змогу ефективно акумулювати вологу в ґрунтовому профілі і на осушуваному масиві в цілому, підвищити його вологозабезпеченість, загальну ефективність тощо.

3.1.3 У зв'язку з несприятливими водно-фізичними властивостями, насамперед підорних горизонтів осушуваних дерново-підзолистих ґрунтів Західного Полісся, що негативно впливає на їх вологозабезпеченість й, відповідно, родючість, а також неоднозначним впливом осушення на ґрунтові процеси в них, при їх освоєнні та використанні рекомендується одночасно з улаштуванням дренажу проводити низку агро-меліоративних заходів, спрямованих на збільшення акумуляційної здатності активного шару ґрунту, покращення поверхневого і внутрішньогрунтового стоку, збагачення ґрунту поживними елементами, підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану осушуваних ґрунтів. Найбільш ефективним з таких заходів для переважаючих в даному регіоні дерново-підзолистих ґрунтів є їх глибоке розпушення у поєднанні з дренажем.

3.1.4 Вплив глибокого розпушення на ефективність роботи систематичного матеріального дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах призводить насамперед до прискорення відведення зайвої вологи та посилення дренажності осушуваної території у періоди перезволоження. Під періодами перезволоження слід сьогодні розуміти не тільки традиційний для обґрунтування параметрів дренажу весняний розрахунковий період, але й критичні періоди, що виникають впродовж періоду вегетації внаслідок часто локального випадіння інтенсивних атмосферних опадів (зливового характеру), пов'язаних зі змінами клімату, і призводить до значного підвищення навантаження на роботу дренажу. При цьому залежно від виду та технологій глибокого розпушення можлива часткова акумуляція вологи в підорному шарі розпушеного ґрунту, що може частково знижувати навантаження на дренаж.

3.1.5 Проведення глибокого розпушення на мінеральних осушуваних ґрунтах призводить до змін водно-фізичних властивостей ґрунту і, відповідно, його водопроникності та акумулятивної здатності, що визначає необхідність внесення змін в розрахунок дренажу з урахуванням застосування різних технологій розпушення.

3.1.6 На різних етапах розвитку меліоративної науки визначилися декілька основних методів розрахунку параметрів сільськогосподарського дренажу як основного регулюючого елемента ДС, а також дренажних колекторів, каналів бокової та огорожувальної мережі, магістрального каналу, гідротехнічних споруд тощо. До них відносяться: *водобалансовий метод*, як найбільш об'єктивний та поширений в меліоративній практиці; *гідромеханічний метод*, заснований на теоретичних принципах руху води в природних й технічних системах; *емпіричний метод*, заснований на переважно статистичній обробці даних численних натурних досліджень. При цьому кожен з них має свої переваги та недоліки.

3.1.7 Основним способом осушення мінеральних перезволожених ґрунтів є закритий матеріальний дренаж, який у сучасних умовах не завжди забезпечує виконання проектних показників водного режиму.

3.1.8 Глибоке розпушення, виконане в оптимальні строки з дотриманням усіх нормативних вимог, поліпшує водно-повітряний режим, умови живлення і розвитку рослин й, відповідно, підвищує продуктивність меліорованих земель. При цьому підвищується ефективність роботи закритого систематичного дренажу і з'являється можливість для

збільшення відстані між дренами, що, в свою чергу, дає змогу зменшити питомі капіталовкладення у проектах будівництва й реконструкції ДС.

3.1.9 Результати розрахунків можливої зміни дренаваності ґрунту через відношення їх відстаней до та після розпушення ґрунту щодо наявних параметрів дренажу за різними варіантами розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів Західного Полісся за наявної фактичної відстані між дренами 20 м, представлено в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Розрахунки параметрів дренажу за різними варіантами розпушення

Варіанти розпушення	Без розпушення	Щілине розпушення	Розпушення смугами	Суцільне розпушення
Відстані між дренами, м	22 (20)	16 (20)	14 (20)	10 (20)
Ступінь збільшення дренаваності	–	1,38	1,57	2,20

3.1.10 Іншими словами, застосування глибокого розпушення на фоні існуючих параметрів дренажу (20 м) за інтенсивністю дренажу буде відповідати: при щілинному розпушенні – параметрам дренажу 16 м, при розпушенні смугами – 14 м, суцільному розпушенні – 10 м.

3.1.11 Покращення водно-фізичних властивостей мінеральних оглеєних ґрунтів при глибокому їх розпушенні тим самим інтенсифікує роботу закритого дренажу. Об'єм дренажного стоку при глибокому розпушенні збільшується головним чином через збільшення максимальних модулів стоку.

3.1.12 Чітка тенденція зміни розрахункових значень модулів дренажного стоку залежно від дренажних відстаней з урахуванням різних технологій за варіантами глибокого розпушення мінерального ґрунту в досліджуваних умовах, простежується за даними, поданими в табл.3.2. та рис.3.1.

Таблиця 3.2.

Зміна розрахункових значень модулів дренажного стоку щодо параметрів дренажу при різних варіантах розпушення

Варіанти розпушення	Відстані між дренами, м									
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	Модуль дренажного стоку, л/с·га									
Без розпушення	0,50	0,36	0,32	0,28	0,22	0,18	0,13	0,10	0,06	0,01
Щілине розпушення	0,60	0,54	0,50	0,45	0,35	0,32	0,28	0,25	0,20	0,14
Смугове розпушення	0,75	0,7	0,65	0,55	0,50	0,4	0,35	0,30	0,25	0,18
Суцільне розпушення	1,24	1,18	1,10	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30

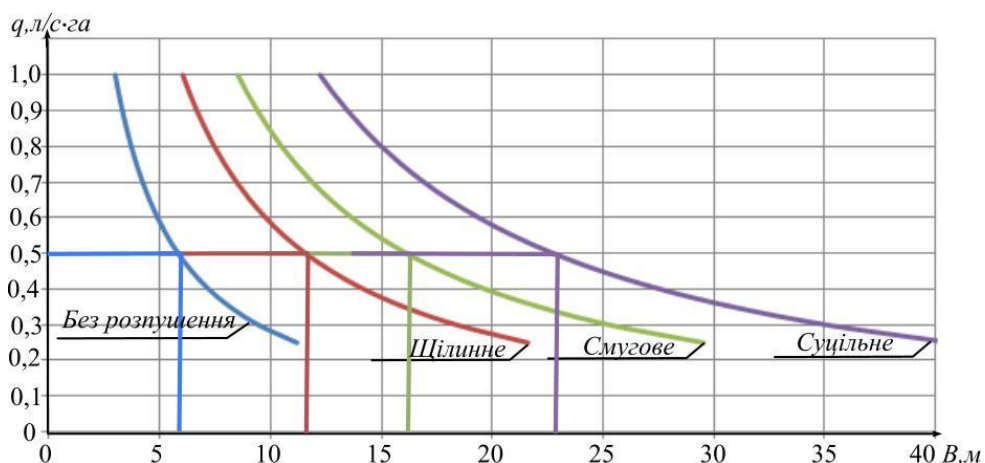


Рис.3.1. Залежність зміни параметрів відстані між дренами за варіантами розпушення

3.1.13 Наведені результати в цілому відображають визначену тенденцію щодо ступеня збільшення відстані між дренами при глибокому розпушенні осушуваних мінеральних

грунтів, а також переконливо свідчать про те, що тільки застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах у досліджуваних умовах забезпечує підтримання проектних параметрів діючого дренажу щодо розрахункового модуля дренажного стоку $q_0 = 0,5 \text{ л/с} \cdot \text{га}$ для міждренної відстані $E = 20 \text{ м}$.

3.1.14 Найбільш узагальнені результати досліджень щодо впливу глибокого розпушення на ефективність роботи систематичного матеріального дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах у різних регіонах і зводяться до наступного:

- закритий дренаж на глибині 1,1...1,3 м при відстанях між дренами 22,5 м на важких суглинних ґрунтах у сполученні з глибоким розпушенням забезпечив водно-повітряний режим ґрунту, близький до оптимального для вирощування сільськогосподарських культур;
- для важких мінеральних ґрунтів, виходячи зі збільшення коефіцієнта фільтрації під впливом глибокого розпушення у 10...20 разів, можливо збільшити відстані між дренами з 8...12 до 15...18 м і з 10...11 до 13...15 м, а для умов Українського Полісся рекомендував відстані між дренами, які зазвичай приймаються у межах 12...15 м, збільшити до 16...20 м;
- при застосуванні глибокого розпушення регулярно через 4-5 років рекомендується збільшити междренні відстані в сильно глеюватих ґрунтах на 20% і слабо глеюватих – до 75 %, порівняно з діючими нормами проектування;
- діючими нормами проектування передбачено збільшення междренних відстаней при глибокому розпушенні на 20%, хоча дослідження показали, що ця цифра може бути значно збільшена без помітного впливу на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур;
- мають місце рекомендації, що за систематичного застосування глибокого розпушення (через 3-4 роки) збільшувати відстані між дренами на важких ґрунтах у 1,4...1,6 рази;
- найбільший вплив на рівні ґрунтових вод глибоке розпушення справляє у початковий період, при цьому не дивлячись на різницю у формуванні водного режиму залежно від відстані між дренами, глибоке розпушення дещо вирівнює різницю у рівнях ґрунтових вод й, відповідно, у врожаю вирощуваних культур;
- збільшення відстаней між дренами дасть змогу скоротити капіталовкладення в осушення земель на 20...40%.

3.1.15 Отже відстані між дренами при влаштуванні систематичного дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах для осереднених умов Західного Полісся України за рахунок проведення різних варіантів розпушення та інтенсифікації його роботи можуть бути збільшені на 35–50%.

3.1.16 Глибоке розпушення, виконане в оптимальні строки з дотриманням усіх нормативних вимог, поліпшує водно-повітряний режим, умови живлення і розвитку рослин й, відповідно, підвищує продуктивність меліорованих земель. При цьому підвищується ефективність роботи закритого систематичного дренажу і з'являється можливість для збільшення відстані між дренами, що, в свою чергу, дає змогу зменшити питомі капіталовкладення у проектах будівництва й реконструкції ДС.

3.1.17 Таким чином, глибоке розпушення ґрунту може бути найбільш ефективним адаптивним альтернативним заходом дорогій реконструкції існуючих ДС в умовах відсутності або обмеження фінансування на це.

3.1.18 Оскільки колекторно-дренажна мережа є визначальним елементом ДС, які у змінюваних сучасних умовах мають працювати в режимі осушення та підґрунтового зволоження на регулярній основі, удосконалення методів розрахунку дренажу з урахуванням глибокого розпушення ґрунту слід розглядати в контексті удосконалення загальної методології створення й функціонування ДС в цілому.

3.2. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем у змінюваних сучасних умовах

3.2.1 На сьогодні розроблені необхідні типи і конструкції ДС практично для всіх основних природних і ґрунтово-меліоративних умов, що є характерними для зони достатнього і нестійкого зволоження України. Наявні типи і конструкції ДС на осушуваних землях, традиційні методи їх проектування і розрахунку досить широко представлені у спеціальній

науковій, нормативно-технічній, довідковій та навчально-методичній літературі і додаткових коментарів не потребують.

3.2.2 Дані розробки з методології створення та функціонування ДС набули високого наукового рівня, отримали всебічне визнання, увійшли у відповідні галузеві нормативи та широко впроваджені на практиці в умовах виробництва. Але, як показали світова й вітчизняна практика, накопичений досвід, а також наукові дослідження, на жаль, дані методи недостатньо враховують мінливий характер реалізації погодно-кліматичних умов, рельєфу місцевості, водно-фізичних властивостей ґрунтів, геологічних й гідрогеологічних умов тощо за профілем та площею осушуваного масиву, спільні умови та режими роботи всіх основних технічних елементів й системи в цілому у їх взаємозв'язку, а також сучасних економічних й екологічних вимог до такого роду об'єктів.

3.2.3 У свою чергу, це вимагає зміни науково-методичних підходів до обґрунтування в проектах будівництва, реконструкції та модернізації ДС їх оптимальних конструктивних рішень (тип, конструкція, параметри систем і складових їх технічних елементів) за відповідними технологіями (способи, режими, схеми) водорегулювання залежно від множинних змінних природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов функціонування об'єкта у їх взаємозв'язку. Це дасть змогу створювати ДС нового покоління, які відповідно до сучасних умов та вимог можуть регулювати не тільки водний режим осушуваної території а й акумулювати вологу, як в ґрунті так і в межах системи в цілому.

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

3.2.5 Відповідно ДС як меліоративна система (МС) у складі системи сільськогосподарського виробництва (ССВ) – сільськогосподарських меліорованих полів з вирощуваними на них культурами, та конструктивно-технічних елементів ГМС, які виконують функцію регулювання водного й загального природно-меліоративного режимів у межах системи у їх взаємозв'язку, може бути представлена у такому вигляді (рис. 3.2).

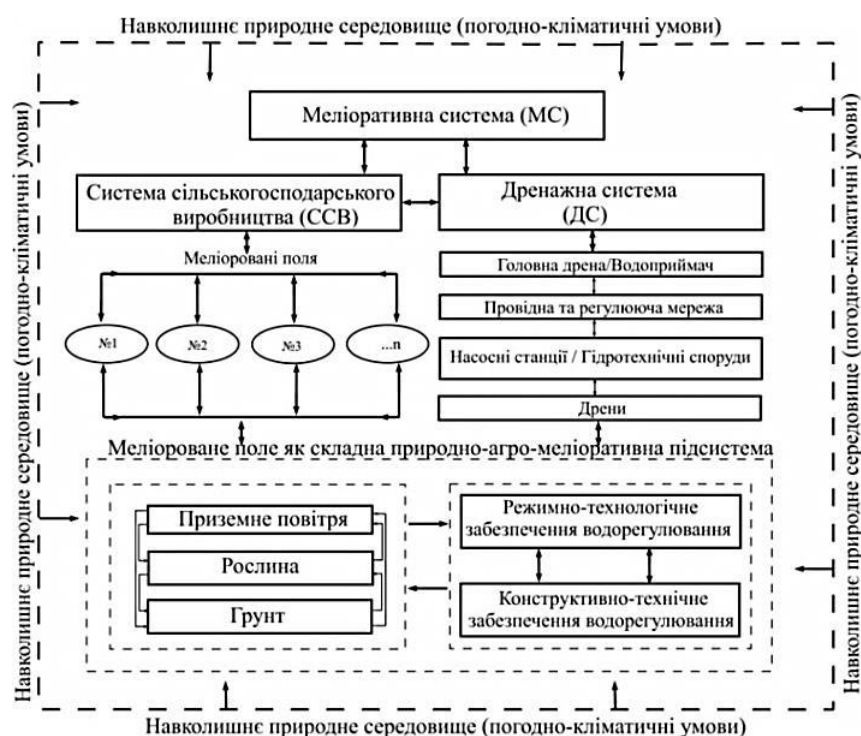


Рис. 3.2. Структурно-логічна схема взаємозв'язку основних різномірних складових та елементів ДС як СПТЕЕС

3.2.6 Виходячи з структурної моделі ДС (див. рис. 3.2) та встановленого характеру зв'язків між різномірними елементами системи взагалі, складний внутрішній взаємозв'язок між її різномірними елементами може бути представлений за такою структурно-ієрархічною схемою (рис. 3.3).

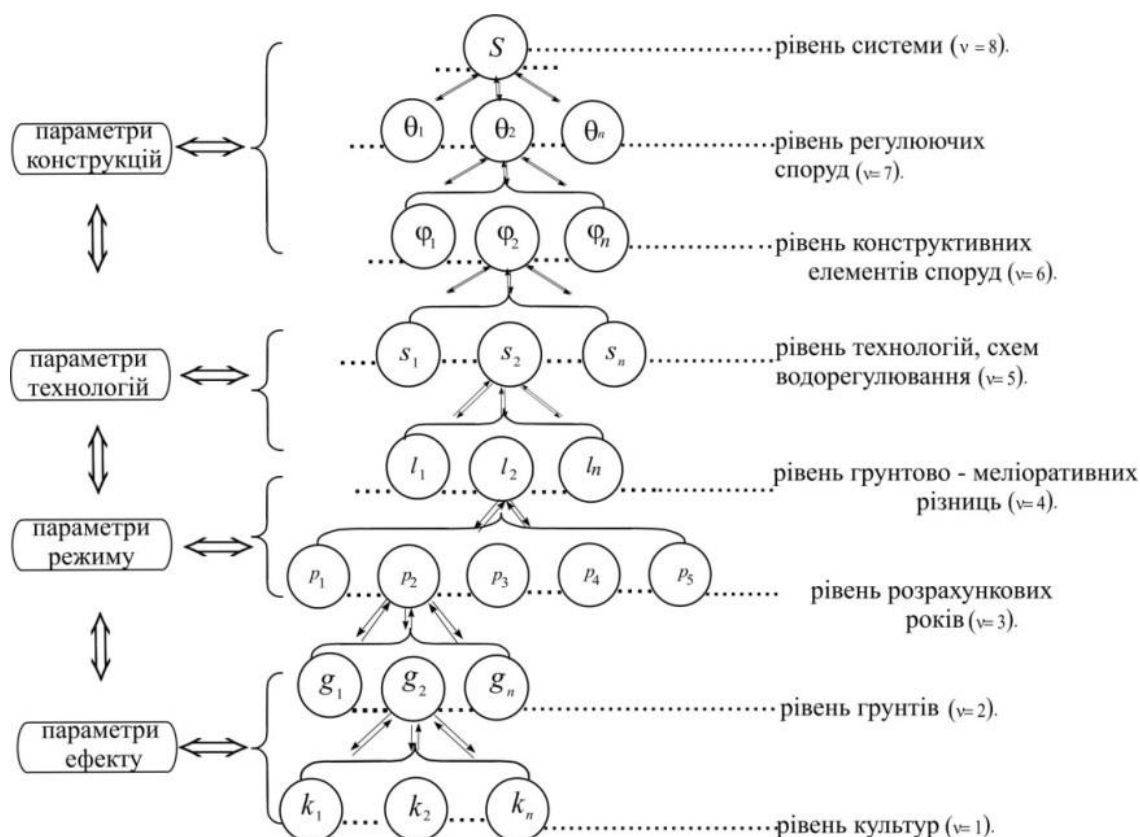


Рис. 3.3. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку основних складових різномірних елементів при функціонуванні ДС

3.2.7 У подальшому при застосуванні найсучаснішої методології системного підходу та системного аналізу до створення і функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, ДС представляються як *складні природно-технічні еколого-економічні системи* (СПТЕЕС), в яких має місце структурний взаємозв'язок виду

ефект $\Leftrightarrow$ режим $\Leftrightarrow$ технологія $\Leftrightarrow$ конструкція.

Це визначає необхідність більш детальних досліджень закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води як в основних елементах, так і в системі в цілому.

3.2.8 В розвиток такого підходу, доцільно виділити та розглянути технічну підсистему виду *параметри руху ґрунтового потоку $\Leftrightarrow$ ЗКДМ $\Leftrightarrow$ параметри каналів та споруд ДС*, елементи якої мають структурний, ієрархічний та гідравлічний взаємозв'язок (рис.3.4).

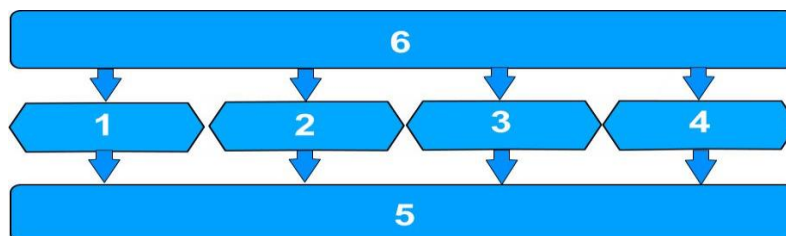


Рис. 3.4. Структурна схема ДС: 1 – колекторно-дренажна мережа на меліорованому полі; 2 – бокова мережа каналів; 3 – магістральний канал; 4 – водоприймач; 5 – споруди та засоби автоматизації водовідведення; 6 – споруди та засоби автоматизації водоподачі

3.2.9 Характерною особливістю ДС з двобічним регулюванням водного режиму осушуваних земель є те, що процеси руху водного потоку в елементах ЗКДМ ДС при роботі її в режимі осушення та підґрунтового зволоження є аналогічними, але взаємопротилежними і реалізуються, використовуючи одну й ту ж ЗКДМ.

3.2.10 Відповідно, означений зв'язок між режимом рівня ґрунтових вод та ЗКДМ забезпечується трансформацією фільтраційного руху відносно рівномірного та суцільного ґрунтового потоку на меліорованому полі в різномірну структуру сукупності відокремлених водних турбулентних потоків в ієрархічно та гідравлічно зв'язаних напірних дренажних

трубопроводах, як складових елементах ЗКДМ, каналах бокової мережі, магістральному каналі та водоприймачі з різними умовами формування їх градієнтів напорів та швидкостей при роботі в режимі осушення і навпаки – при роботі в режимі підґрунтового зволоження. Це може бути відображено відповідною підсистемою виду

режим руху ґрунтового потоку $\Leftrightarrow$ режим руху потоку в ЗКДМ $\Leftrightarrow$ режим руху потоку в каналах бокової мережі $\Leftrightarrow$ режим руху потоку в магістральному каналі $\Leftrightarrow$ режим руху потоку у водоприймачі.

3.2.11 Згідно загальної теорії руху водного потоку в напірному трубопроводі, ефективність режиму потоку в ЗКДМ визначається параметрами гідродинамічної структури розподілу швидкостей в поперечному перерізі потоку в окремому колекторно-дренажному трубопроводі, як основному її елементі, що визначає ефективність роботи кожного такого елемента і ЗКДМ в цілому. При цьому очевидно, що ефективність роботи ЗКДМ у напірному режимі визначається ефективністю роботи каналів бокової мережі, магістрального каналу та водоприймача, в яких рух води відбувається у відкритому руслі.

3.2.12 Відповідно до структури побудови та характеру ієрархічних зв'язків між елементами самотічної ДС (див. рис.3.2, 3.3, 3.4), розроблена її фізична модель (рис.3.5), яка працює в режимі осушення та підґрунтового зволоження, на яку отримано патент на корисну модель (№147568).

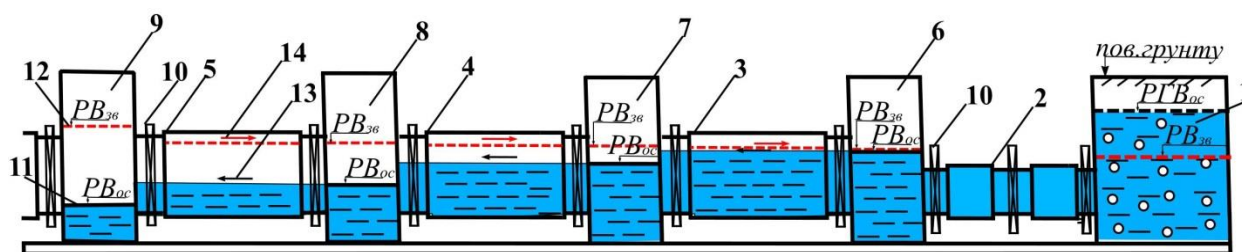


Рис. 3.5. Структурна схема взаємозв'язку основних технічних елементів ДС: 1 – елемент меліорованого поля; 2 – ЗКДМ; 3 – елемент відкритих каналів бокової мережі; 4 – елемент магістрального каналу; 5 – елемент водоприймача; 6 – резервуар, який відображає рівень води у ЗКДМ, бокової мережі (7), магістрального каналу (8), водоприймача (9); 10 – регулятори пропускної здатності; 11, 12 – рівні води при роботі системи відповідно в режимах осушення та зволоження (12); 13, 14 – напрямки руху води по елементах системи при роботі відповідно в режимі осушення та зволоження

3.2.13 Запропонована схема відображає принципи визначення параметрів гідравлічних характеристик водовідведення або водоподачі (витрата, напір, швидкість тощо) одночасно по всіх елементах ДС (осушуваного масиву меліорованого поля, колекторно-дренажної мережі, відкритих каналів бокової мережі, магістрального каналу, водоприймача) практично у всьому діапазоні їхнього варіювання з можливим урахуванням зміни ухилів.

3.2.14 Відповідно, функціональний взаємозв'язок між його складовими у загальному випадку може бути представлений як складна функція, що немає явного розв'язку

$$y_i = f_1(f_2(f_3(x_i))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3.1)$$

де f_1 – функція, що залежить від параметрів руху ґрунтового потоку FR_i , $i = \overline{1, n_i}$; f_2 – функція, що залежить від параметрів ЗКДМ FS_i , $i = \overline{1, n_i}$; f_3 – функція аргументів x_i , яка залежить від параметрів каналів та споруд FK_i , $i = \overline{1, n_i}$; i – сукупність $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ можливих варіантів реалізації відповідних технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель у відповідних природно-агро-меліоративних умовах реального об'єкта.

Перелічені функції $f_1 \dots f_3$ є функціями складних взаємозв'язаних аргументів, тобто

$f_3(x_i)$ – як функція, що залежить від параметрів каналів та споруд;

$f_2(f_3(x_i))$ – як функція, що залежить від параметрів закритої колекторно-дренажної мережі;

$f_1(f_2(f_3(x_i)))$ – як функція, що залежить від параметрів руху ґрунтового потоку.

3.2.15 Пошук параметрів складових складеної функції (1) і, в першу чергу, параметрів технологій водорегулювання та пов'язаних з ними типу й конструкції технічних елементів, залежно від створюваного режим руху потоку формально може бути здійснений з виразу (3.1) через відповідні обернені функції.

А саме:

- щодо параметрів каналів та споруд $FK_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_3(x_i) = f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i)), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (3.2)$$

- щодо параметрів закритої колекторно-дренажної мережі $FS_i, i = \overline{1, n_i}$

$$f_2(f_3(x_i)) = f_1^{-1}(y_i), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (3.3)$$

- щодо параметрів руху ґрунтового потоку $FR_i, i = \overline{1, n_i}$

$$x_i = f_3^{-1}(f_2^{-1}(f_1^{-1}(y_i))), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (3.4)$$

3.2.16 В основу реалізації складених функцій (3.1) – (3.4) мають бути покладені дослідження закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води у всіх різних за своєю природою складових елементах (підсистемах) ДС як СПТЕЕС.

3.2.17 У такій постановці моделі (3.1) – (3.4), що представлені у загальному неявному вигляді, не можуть бути досить адекватно виражені аналітично і не мають практичного розв'язку. Але вони дають змогу, теоретично обґрунтовувати можливість постановки задачі бодай на емпіричному або навіть на значно об'єктивнішому емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

3.2.18 Виходячи зі структурної моделі ДС (див. рис. 3.4) та встановленого характеру зв'язків між її елементами системи взагалі за математичними моделями (3.1) – (3.4), інтегральна кількість води при роботі ДС в режимі водовідведення (осушення -) або підґрунтового зволоження (водоподачі +) ($\pm W_S$) у часі (T) та просторі (F), у загальному випадку може бути визначена за моделлю виду

$$\pm W_S = \int_0^T \int_0^F w_i \cdot (T, F) \, dt \, df, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3.5)$$

де w_i – інтегральна кількість води при водовідведенні або водоподачі, яка проходить по кожному технічному елементу ДС сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$; T – період функціонування системи; F – площа системи в цілому.

3.2.19 Об'єм води для ДС при водовідведенні або водоподачі, з урахуванням необхідної та технічно можливої їх кількості, у загальному вигляді може бути визначений як

$$\pm W_S = \Delta_S (\hat{q}_S \cdot T \cdot F_S), \quad (3.6)$$

де Δ_S – коефіцієнт недосконалості роботи системи в цілому щодо співвідношення необхідної та можливої кількості водовідведення або водоподачі нею; $\hat{q}_S$ – середньозважене в часі та просторі значення модуля водовідведення або водоподачі в межах системи та терміну функціонування об'єкта.

3.2.20 Коефіцієнт недосконалості роботи системи в цілому Δ_S щодо співвідношення можливої (фактичної) W_{sf} та необхідної (розрахункової) W_{st} водовідведення або водоподачі нею, може бути представлений за такою залежністю

$$\Delta_S = \frac{W_{sf}}{W_{st}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} W_{if}}{\hat{u}_S \cdot T \sum_{i=1}^{n_i} f_i \cdot F_S}, \quad (3.7)$$

де $\hat{u}_S$ – усереднене значення швидкості руху водних потоків в системі, м/с; f_i – частка площі ДС яку обслуговує певний технічний елемент: колекторно-дренажної мережі сукупності $\{kd\}$, $kd = \overline{1, n_{kd}}$, бокової мережі каналів сукупності $\{b\}$, $b = \overline{1, n_b}$; магістрального каналу сукупності $\{m_k\}$, $m_k = \overline{1, n_{m_k}}$; водоприймача (ν).

3.2.21 Відповідно для будь-якого технічного елемента ДС (див.рис.3.4)

$$\pm W_i = \sum_{m_i=1}^{n_{m_i}} \Delta_{n_{i-1}} (\bar{q}_i \cdot T_i \cdot f_i \cdot F_s), \quad (3.8)$$

де $\pm W_i$ – об'єм води, який відводиться або подається в ДС будь-яким її технічним елементом; m_i – кількість складових елементів i -того технічного елемента ДС; $\Delta_{n_{i-1}}$ – коефіцієнт недосконалості роботи технічних елементів ДС, коли ефективність кожного наступного елемента визначається попереднім; $\bar{q}_i$ – розрахунковий модуль дренажного стоку або водоподачі щодо відповідного режиму роботи i -того технічного елемента ДС, л/с·га; T_i – період функціонування технічного елемента на системі.

3.2.22 Ефективність роботи системи визначається відповідною ефективністю роботи кожного її елемента, характер складних зв'язків між якими є аналогічним моделям (3.1) – (3.4)

$$\Delta_s = f_n \left(f_{n-1} \left(\sum_{i=1}^{n_i} \Delta_{n_{i-1}} \right) \right). \quad (3.9)$$

3.2.23 Тобто ефективність кожного наступного елемента системи визначається відповідною ефективністю роботи попереднього і навпаки.

3.2.24 У свою чергу, за аналогією до формули (7) коефіцієнт недосконалості роботи елемента системи $\Delta_{n_{i-1}}$ є відношенням можливого (фактичного) W_{if} та необхідного (розрахункового) W_{it} об'єму води, який відводиться або подається в ДС будь-яким її технічним елементом

$$\Delta_{n_{i-1}} (W_i) = \frac{W_{if}}{W_{it}}. \quad (3.10)$$

3.2.25 Тоді, застосувавши рівняння статистичної теорії визначення впливу кожного діючого фактору на вихідний параметр, можна отримати наступне рівняння

$$\Delta_{n_{i-1}} (W_i) = \frac{W_{it} - \sqrt{\sum_{j=1}^z \left(\Delta x_j \frac{\partial y}{\partial x_j} \right)^2}}{W_{it}}, \quad (3.11)$$

де x_j – основний j -тий діючий фактор (середня швидкість в елементі системи; площа будь-якого технічного елемента системи; час тощо); z – кількість діючих факторів в рівнянні вихідного параметру; Δx_j – абсолютна зміна значень j -того фактору вихідного параметру.

3.2.26 Оскільки рух води в самотічній ДС при її роботі в режимі осушення та зволоження зумовлений наявністю необхідного градієнту напору за рахунок різниці рівнів (див.рис.3.4), гідравлічна модель системи та будь-якого її технічного елемента у загальному вигляді можуть бути представлені як: (3.12) - для системи; (3.13) - для її технічних елементів:

$$\pm W_s = \Delta_s \hat{u}_s T \sum_{i=1}^{n_i} \omega_i; \quad (3.12)$$

$$\pm W_i = \sum_{m_i=1}^{n_{m_i}} \Delta_{n_{i-1}} u_i \omega_i \cdot T_i \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3.13)$$

де ω_i – площа будь-якого технічного елемента системи, м; u_i – усереднена швидкість водного потоку у будь-якому технічному елементі, м/с; l_i – параметр елемента системи (русла каналу або трубопроводу), з якого відводиться вода на певному етапі i за розрахунковий період часу T , м.

3.2.27 Головним регулюючим елементом ДС є колекторно-дренажна мережа, її параметри визначально впливають на тип та конструкцію системи в цілому.

3.2.28 При обґрунтуванні параметрів ЗКДМ необхідно визначити оптимальні параметри сільськогосподарського дренажу (насамперед відстані між дренами) та виконати гідравлічний розрахунок колекторно-дренажного трубопроводу, які є головними регулюючими елементами її при осушенні й підґрунтового зволоженні осушуваних земель. Вони виконують функцію

регулювання водного і загального природно-меліоративного режиму в межах системи, конструктивні параметри яких визначаються насамперед наявними множинними природо-агро-меліоративними умовами досліджуваного об'єкту.

3.2.29 На даний час розроблена значна кількість, навіть дуже різних за своєю суттю, методів і моделей з визначення міждренних відстаней сільськогосподарського дренажу як в нашій країні, так і за її межами.

3.2.30 Виконаний аналіз основних методів і моделей для визначення міждренних відстаней показує, що в наслідок надзвичайної складності різнорідних процесів, які відбуваються на дренажних територіях, ці розробки в тій чи іншій мірі не враховують множину чинників визначальних умов проектування, що впливають на розрахунок параметрів дренажу.

3.2.31 Тому в розвиток підходу та відповідних формул щодо визначення міждренної відстані, представлених в ДБН В.2.4-1-99, які побудовані на основі розв'язання плоскої задачі вологоперенесення, запропоновано удосконалений метод її розрахунку в умовах застосування глибокого розпушення осушуваного ґрунту, в якому відстані між дренами визначаються на основі та з урахуванням розглянутих фізичної моделі ДС та загальних моделей визначення об'єму води по системі й складових її елементів, що є необхідним для розв'язання об'ємної задачі руху води в межах осушуваного масиву

$$B = \frac{2\pi \cdot F \cdot K_{\phi_i} \cdot H_p \cdot K_d}{q_p} = \frac{2\pi \cdot F \cdot K_{\phi_i} \cdot H_p \cdot K_{dl}}{q_p \cdot K_{dr}}, \quad (3.14)$$

де F – площа осушуваного масиву, яку обслуговує сумарна довжина дрен, га; K_{ϕ_i} – коефіцієнт фільтрації ґрунту з урахуванням різних технологій його розпушення, м/добу; H_p – розрахунковий напір, м; K_d – коефіцієнт недосконалості, що враховує приймальну та пропускну здатність дренажу, $K_d = f(K_{dr}, K_{dl})$, K_{dr} – коефіцієнт недосконалості, який враховує приймальну здатність дренажу, коли ґрунтовий потік потрапляє в дрени, $K_{dr} = \Phi_0 + \Phi_i$, де Φ_0 – фільтраційний опір ідеальної дрени, що визначається граничними умовами фільтрації; Φ_i – фільтраційний опір недосконалості дренажу по характеру розкриття пласта, що залежить від конструкції дренажних труб, параметрів захисних фільтрів та схем їх укладання (їх визначення регламентовано відповідними діючими нормативами); K_{dl} – коефіцієнт недосконалості, що враховує пропускну здатність дренажу, $K_{dl} = 1 - \zeta_{zc} \frac{\bar{u}_{rx}^2}{2g} / H_p$, де ζ_{zc} – коефіцієнти опору гідравлічної системи на розрахунковій ділянці; $\bar{u}_{rx}$ – середня швидкість потоку на розрахунковій ділянці, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; q_p – сумарний притік води до дрен при розгляді об'ємної задачі руху води в межах осушуваного масиву, на відміну від традиційних його значень, повинне і може враховувати множинні змінні природо-агро-меліоративні умови реального об'єкту (кліматичні, рельєфні, гідрогеологічні, агро-меліоративні, агротехнічні, технологічні, технічні, економічні та екологічні) для кожної культури $\{k\}, k = \overline{1, n_k}$, ґрунту $\{g_m\}, g_m = \overline{1, n_{g_m}}$, ґрунтово-меліоративної різниці $\{m_g\}, m_g = \overline{1, n_{m_g}}$, у розрахунковий весняний та вегетаційний період (по розрахункових роках: $\{p\}, p = \overline{1, n_p}$: дуже вологі ($p=10\%$), вологі ($p=30\%$), середні ($p=50\%$), сухі ($p=70\%$), дуже сухі ($p=90\%$), а також для різних рівнів ефективності роботи дренажу щодо економічного та екологічного ефекту, який при цьому досягається, м³/с.

3.2.32 У свою чергу, для розрахунку дренажного колектора традиційно використовують залежність між діаметром (d_k) та витратою (Q_k) при його роботі в режимі осушення або підґрунтового зволоження

$$\hat{Q}_k = \hat{q}_{rp} \cdot F \text{ або } \hat{Q}_k = Q_t + \sum Q_d = Q_t + \sum q_d \cdot l_d, \quad (3.15)$$

де $\hat{Q}_k$ – розрахункова витрата колектора в створі, л/с; $\hat{q}_{rp}$ – розрахункове значення модуля дренажного стоку, л/с·га; Q_t – транзитна витрата дренажного колектора, м³/с; $\sum Q_d$ – сумарна витрата води в дренах, м³/с; q_d – питома витрата дрени на одиницю довжини, м²/с; l_d –

довжина дрени, м.

Відповідно гідравлічний розрахунок витрати дренажного колектора за аналогією з (3.14) може бути визначений як

$$d_k = f(K_k, Q_k) = f(K_{kr}, K_{kl}, Q_k), \quad (3.16)$$

де K_k - коефіцієнт недосконалості, що враховує приймальну та пропускну здатність колектора, $K_k = f(K_{kr}, K_{kl})$, K_{kr} - коефіцієнт недосконалості, який враховує приймальну здатність колектора; K_{kl} - коефіцієнт недосконалості, що враховує пропускну здатність колектора.

3.2.33 Труби ЗКДМ є складовою частиною водогосподарсько-меліоративних об'єктів з відповідним класом наслідків (відповідальності) та повинні забезпечувати надійність експлуатації в різних умовах і режимах роботи.

3.2.34 Тоді гідравлічний розрахунок колекторно-дренажного трубопроводу традиційно виконувався за формулами рівномірного руху в трубах, в яких швидкості та витрати води дані при повному заповненні труб водою (робота повним перерізом), з розглядом основних трьох задач: знаходження втрат напору в ньому, витрати рідини при її транспортуванні та знаходження діаметра колекторної труби, але при цьому не враховувалася гідродинамічна структура потоку. З урахуванням гідродинамічної структури потоку витрата (Q_k) може бути представлена за залежністю

$$\hat{Q}_k = \int_0^{r_{k0}} 2\pi u_{krx} dr_k, \quad (3.17)$$

де u_{krx} - осереднена швидкість при турбулентному режимі руху рідини, м/с; r_{k0} - внутрішній радіус колектора, м; r_k - відстань від осі колектора до координати з відповідною осередненою швидкістю u_{krx} , м.

3.2.35 У такому разі, постає необхідність удосконалення підходів до гідравлічного розрахунку напірних колекторно-дренажних трубопроводів ЗКДМ шляхом урахування гідродинамічної структури водного потоку в них, а саме врахуванням розподілу швидкостей в поперечному перерізі, що визначає ефективність роботи кожного такого елемента і ЗКДМ в цілому.

3.2.36 Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля, ефективність чого в тому числі визначається гідродинамічною структурою розподілу швидкостей в поперечному перерізі потоку у колекторно-дренажному трубопроводі як в окремому елементі регулюючої мережі, представлена (див.рис. 3.6).

3.2.37 Враховуючи те, що пропускну здатність трубопроводів нерозривно пов'язана з гідродинамічною структурою потоку, а саме з розподілом швидкостей по перерізу потоку. Тому вивчення такого розподілу представляє інтерес з практичної точки зору. Так як, профіль швидкостей визначає інтенсивність турбулентного обміну по перерізу потоку і пов'язаний з ним перенос зважених часток також.

3.2.38 Шляхом застосування методів математичного моделювання гідродинамічної структури турбулентного потоку в напірних трубопроводах з використанням загальновизнаних диференціальних рівнянь було отримано залежність для розрахунку осереднених швидкостей також при турбулентному режимі руху рідини

$$u_{rx} = Re \sqrt{\frac{\lambda}{8\pi}} \frac{\nu}{d_k} \frac{m(r_{k0}^{1.5} - r_k^{1.5})^n}{r_{k0}^{1.5n}}, \quad (3.18)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного опору; Re - число Рейнольдса; ν - кінематичну в'язкість, м²/с; r_0 - радіус колектора, м; d - діаметр колектора, м; m і n - параметри для певної області турбулентного режиму руху потоку визначаються за наступними залежностями

$$m = 26 \lg(100\lambda)^2 - 60 \lg(100\lambda) + 58, \quad n = 2,6\lambda + 0,1. \quad (3.19)$$



Рис. 3.6. Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля, ефективність чого визначається гідродинамічною структурою розподілу швидкості в поперечному перерізі потоку у дренажному трубопроводі як в окремому елементі регулюючої мережі

3.2.39 Таким чином, з урахуванням розглянутого, для колекторно-дренажної мережі як визначального елемента дренажної системи:

$$\hat{Q}_{gf} = K_d \hat{Q}_{ge}; \quad (3.20)$$

$$\hat{Q}_{df} = K_k \hat{Q}_{de}; \quad (3.21)$$

$$\hat{Q}_{kf} = K_c \hat{Q}_{ke}, \quad (3.22)$$

де $\hat{Q}_{gf}$, $\hat{Q}_{df}$, $\hat{Q}_{kf}$ - фактичні витрати гідравлічно пов'язаних відповідно ґрунтового потоку, дрени та колектора, $\text{м}^3/\text{с}$; K_d , K_k , K_c - коефіцієнти недосконалості, що враховують приймальну та пропускну здатність відповідно дренажу, колектора та каналу (для відкритих каналів діючих ДС, параметри яких визначені за традиційним підходом, $K_c = 1$); $\hat{Q}_{ge}$, $\hat{Q}_{de}$, $\hat{Q}_{ke}$ - розрахункові витрати відповідно ґрунтового потоку, дрени та колектора, визначені за необхідним об'ємом відведення або подачі води, $\text{м}^3/\text{с}$.

3.2.40 Розглянуто удосконалені науково-методичні підходи до розрахунку відстані між дренами та параметрів дренажного колектора, в тому числі в умовах застосування глибокого розпушення осушуваного ґрунту у їх ієрархічній та гідравлічній підпорядкованості, що дає змогу врахувати приймальну здатність дрени та колектора, коли ґрунтовий потік потрапляє до них, а також їх пропускну здатність, тобто кількість води, яку буде пропускати дрена й колектор з відповідними параметрами та конструкцією.

3.2.41 Таким чином, розглянутий підхід дає можливість оцінити ефективність руху потоку як в складових дренажних трубопроводах мережі, так і в ЗКДМ в цілому на основі удосконалення гідравлічного підходу до визначення їх параметрів, що в подальшому дасть

змогу удосконалити методи проектування й розрахунку її технологічних та конструктивних параметрів. Тим самим, це забезпечить загальну технічну, технологічну, економічну та екологічну ефективність функціонування ДС відповідно до сучасних умов та вимог.

3.3. Спільна дія та особливості розрахунку дренажу з урахуванням розпушення ґрунту

3.3.1 Виконаний аналіз основних методів і моделей для визначення міждренних відстаней показує, що в наслідок надзвичайної складності різнорідних процесів, які відбуваються на дренажних територіях, розроблено багато залежностей вітчизняними та зарубіжними вченими, які в тій чи іншій мірі враховують множину чинників визначальних умов проектування, що впливають на розрахунок параметрів дренажу. При цьому, слід відмітити, що гідрологічні умови формування дренажного стоку території мають невизначений характер в часі та в сукупності з гідрологічною дією дренажу спричиняють визначальний вплив на водний режим території та відповідний еколого-економічний ефект роботи осушувальної системи. В свою чергу, економічна та екологічна ефективність роботи дренажної системи визначається її технічними характеристиками, тобто конструктивними параметрами дренажу, які розраховуються на основі множини багатоваріантних факторів гідрологічної дії дренажу.

3.3.2 У загальному випадку, для розрахунку параметрів дренажу (відстані між дренажами), згідно ДБН В.2.4-1-99, рекомендовано використовувати загальноприйняту формулу з урахуванням розробок О.Я. Олійника та О.І. Мурашко для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення, оскільки вона досить повно враховує конструктивні особливості горизонтального дренажу і реалізується за такими розрахунковими схемами щодо різної шаруватості ґрунтів та їх водопроникності за сталої відстані від поверхні ґрунту до водопору (рис .3.7)

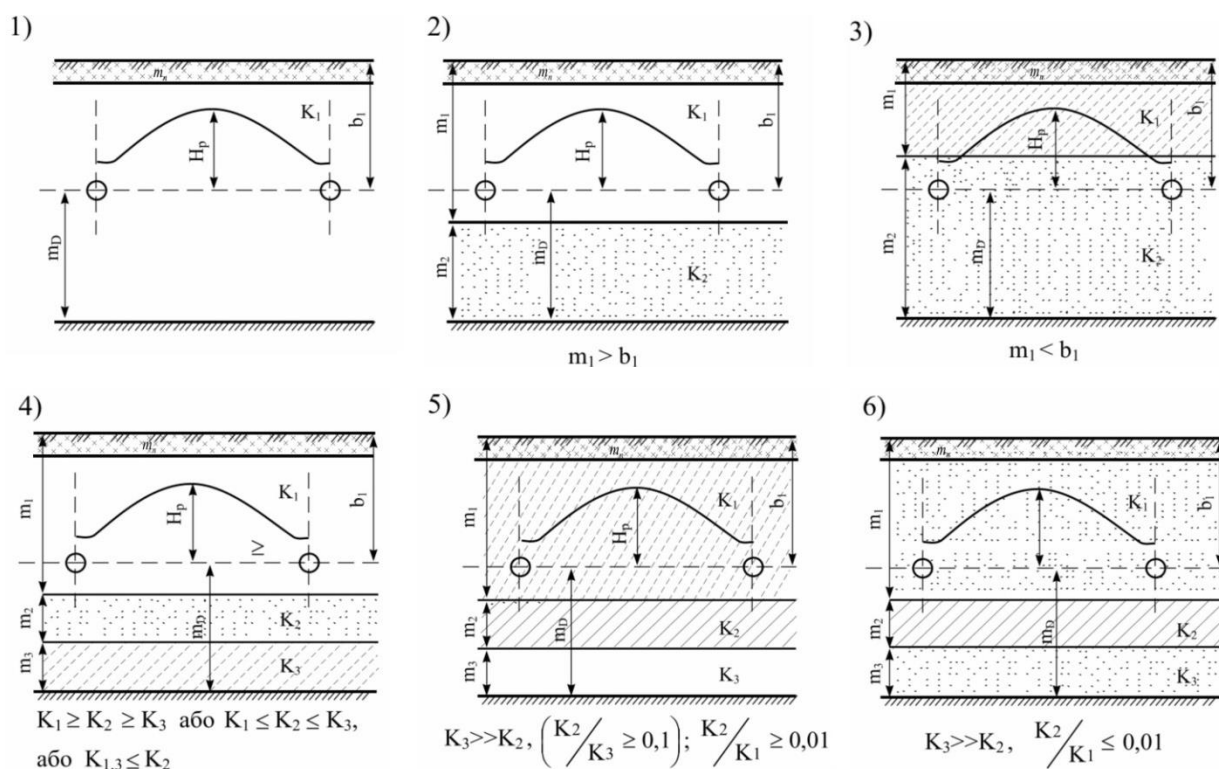


Рис.3.7. Розрахункові схеми роботи дренажу. Залежно від ґрунтових та гідрогеологічних умов роботи ДС розрахунки виконуються за такими основними розрахунковими схемами, поданими на рис.3.7. : 1 – одношарова схема; 2 – двошарова схема, коли $m_1 > b_1$; 3 – двошарова схема, коли $m_1 < b_1$; 4 – тришарова схема, коли $K_1 \geq K_2 \geq K_3$; 5 – тришарова схема, коли $K_3 \gg K_2$; 6 – тришарова схема, аналогічна схемі 5, коли $K_2/K_1 \leq 0,01$.

3.3.3 Проведення глибокого розпушення на мінеральних осушуваних ґрунтах призводить до змін водно-фізичних властивостей ґрунту і, відповідно, його водопроникності та акумулятивної здатності, що визначає необхідність внесення змін в розрахунок дренажу з урахуванням застосування різних технологій розпушення. Ці зміни дають змогу виділити два водопровідних пласти ґрунту з вираженими характерними особливостями. Верхній пласт має підвищену штучну водопровідність, що надана йому за рахунок першого верхнього орного шару ґрунту потужністю (m_1) з відповідним коефіцієнтом фільтрації K_1 , розпушеного другого шару ґрунту за відповідною технологією глибокого розпушення (щільове, смугове, суцільне) (m_2), K_2 та третього шару до глибини влаштування дренажних траншей (m_3), K_3 що за своїми характеристиками аналогічний смуговому глибокому розпушенню ґрунту. А нижній пласт характеризується природною водопровідністю K_4 з можливою структурною його шаруватістю та різною глибиною залягання водоупору (m_{Dn}).

3.3.4 Тому на відміну від розглянутого раніше підходу (див. п.), в даному разі можна розглядати одну універсальну розрахункову схему роботи дренажу при наявності глибокого розпушення ґрунту за відповідною технологією (рис. 3.8)

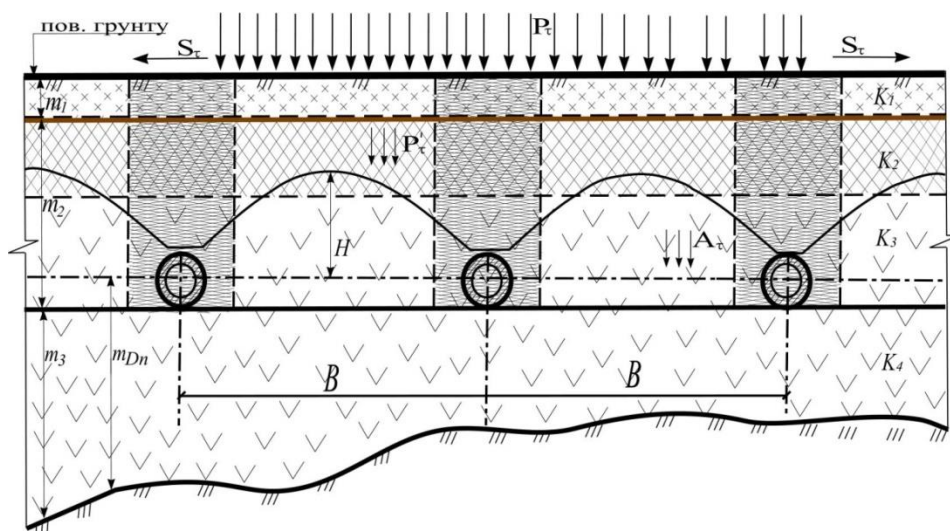


Рис.3.8. Розрахункова схема роботи дренажу при наявності глибокого розпушення ґрунту: K_1, K_2, K_3, K_4 – коефіцієнти фільтрації, м/добу; P – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм; S_τ – поверхневий стік за час τ , P' – частина опадів добового максимуму опадів, що попадає в розпушений ґрунт, мм; A_τ – акумулююча здатність розпушеного ґрунту в зоні аерації, залежно від вихідної вологості, мм

3.3.5 Тоді розрахункові значення показників, які характеризують умови осушення і входять до розрахунку параметрів дренажу, мають бути визначені за середньозваженими значеннями їх параметрів в межах виділеної ділянки осушення.

3.3.6 Відповідно до запропонованої розрахункової схеми роботи дренажу при глибокому розпушенні ґрунту, середньозважені за профілем та площею розповсюдження значення відповідних показників $\bar{X}_i$ щодо водно-фізичних властивостей (коефіцієнт фільтрації, коефіцієнт водовіддачі тощо) для визначеної кількості водопровідних пластів та шарів ґрунту у межах виділених характерних за рельєфом ділянок осушуваного масиву можна визначити за аналогічним підходом, який у загальному випадку має вигляд

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i \cdot h_i \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \cdot f_i)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.23)$$

де X_i – відповідні значення показників водно-фізичних властивостей ґрунтів щодо коефіцієнту фільтрації K_i , коефіцієнту водовіддачі μ_i тощо для відповідних водопровідних шарів як верхнього пласту з підвищеною штучною водопроникністю (оранка верхнього шару, розпушення другого шару, глибина дренажних траншей), так і нижнього пласту з природною

водопроникністю, який може бути однорідним або шаруватим; h_i – відповідні глибини шарів ґрунту, f_i – дольові частки займаної площі відповідних шарів ґрунту у межах виділеної характерної ділянки території за рельєфними умовами.

3.3.7 При цьому, для шарів ґрунту з підвищеною штучною водопроникністю необхідно врахувати ефективність застосування різних технологій глибокого розпушення через відповідні коефіцієнти повноти розпушеності ґрунту R_c .

3.3.8 Вплив різних технологій глибокого розпушення на водопроникність осушуваних мінеральних ґрунтів характеризується різним рівнем зміни їх фільтраційної та акумуляційної здатності. Залежність коефіцієнту фільтрації K_i при застосуванні різних технологій глибокого розпушення від коефіцієнту повноти розпушеності R_c в шарі ґрунту 0,6 м може бути визначене за такою емпіричною залежністю

$$K_i = 1,60 - \frac{0,117}{R_c}, \text{ м/добу} \cdot \quad (3.24)$$

$$0,1 \leq R_c \leq 0,7.$$

3.3.9 Відповідно, залежність максимального запасу продуктивної вологи ґрунту Wh° від коефіцієнту повноти розпушеності R_c в шарі ґрунту 0,6 м визначається за формулою

$$Wh^\circ = \frac{R_c}{0,0003 + 0,0014 \cdot R_c}, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (3.25)$$

$$0,1 \leq R_c \leq 0,7.$$

3.3.10 Акумулююча здатність розпушеного ґрунту A_τ ($\text{м}^3/\text{га}$) щодо кількість акумульованої води в разі випадіння опадів, залежно від їх ефективної кількості P_e (мм) за виключенням поверхневого стоку, та максимального запасу продуктивної вологи ґрунту Wh° ($\text{м}^3/\text{га}$), може бути визначена за такою емпіричною залежністю

$$A_\tau = 0,0214 \frac{P_e^2}{Wh^\circ}, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (3.26)$$

3.3.11 За визначеними значеннями максимального продуктивного вологозапасу розрахункового шару ґрунту до та після його розпушення визначається показник *додаткової вологоємкості*, який характеризує збільшення акумуляційної здатності активного кореневмісного шару ґрунту h (0,5...0,6 м) за рахунок зменшення його щільності та відповідного збільшення пористості при глибокому розпушенні і визначається як

$$\Delta Wh_p^0 = Wh_p^0 - Wh_n^0, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3.27)$$

де ΔWh_p^0 – показник додаткової вологоємкості шару ґрунту h як різниця зміни максимального запасу продуктивної вологи ґрунту після Wh_p^0 та до Wh_n^0 його розпушення.

3.3.12 У свою чергу, показники максимального запасу продуктивної вологи ґрунту визначаються загальноприйнятими експериментальним або розрахунковим методами.

3.3.13 Відповідно середньозважене розрахункове значення глибини від осі дрени до водоупору $\overline{m_{Dn}}$ при можливому його змінному характері у межах характерної ділянки території за рельєфними умовами можна визначити за формулою

$$\overline{m_{Dn}} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_{Dn_i} \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n f_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.28)$$

де m_{Dn_i} – змінна глибина від осі дрени до водоупору у межах характерної ділянки території за рельєфними умовами; f_i – дольова частка займаної площі розповсюдження однакової глибини від осі дрени до водоупору в межах характерної ділянки території за рельєфними умовами (див. п.3.3.6.).

3.3.14 При розрахунку параметрів дренажу з урахуванням застосування різних технологій глибокого розпушення ґрунту вихідними даними для визначення середньозважених значень водно-фізичних властивостей ґрунту як у межах характерної ділянки території за

рельєфними умовами, так і системи в цілому, є результати інженерних вишукувань із застосуванням сучасних ГІС технологій з метою просторового оцінювання цих множинних змінних характеристик об'єкта.

3.4. Розрахунок спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах

3.4.1 За таких змін клімату, що мають місце у сучасних умовах, кількість атмосферних опадів на території України змінилася неістотно, проте помітними стали зміни інтенсивності та характеру їх випадання. Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, які часто мають зливовий та локальний характер випадання у теплий період, не забезпечують ефективне накопичення вологи ґрунту, що призводить до критичних умов формування їх водного режиму (рис. 3.9).

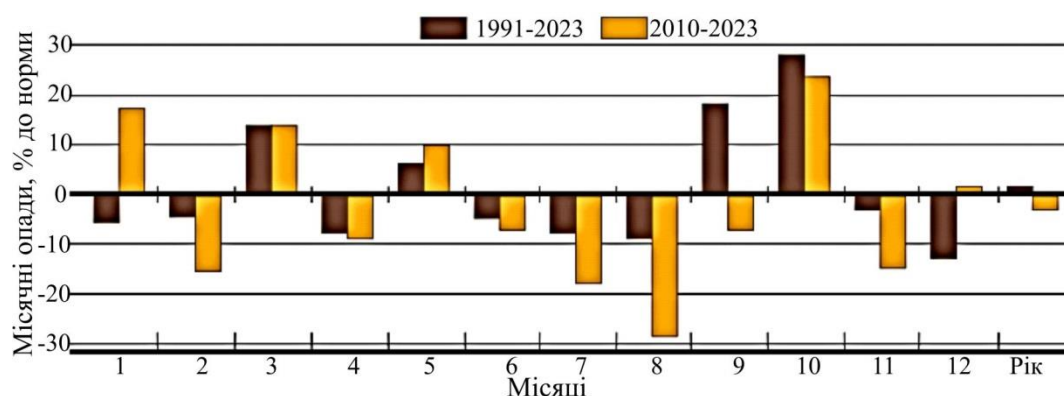


Рис.3.9. Зміна кількості опадів по місяцях за період 1991–2023 років та за період 2010–2023 років відносно норми

3.4.2 Через такі зміни на *стадії проекту* нового будівництва чи реконструкції ДС виникає необхідність перевірити ефективність спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах за визначеними або заданими їх параметрами. У критичних умовах роботи дренажу може відбуватися різке підняття РГВ та формуватися модуль дренажного стоку, який перевищує його розрахункове значення. У такому разі запроектований дренаж може не справитися з відведенням зайвої вологи в ґрунті, відбувається допустиме або критичне перезволоження ґрунту, що призведе до втрат врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур.

3.4.3 У реальних умовах роботи дренажу на різних етапах періоду вегетації вирощуваних сільськогосподарських культур досить часто виникає ще більш критичніша ситуація, що призводить до граничних умов його роботи, коли випадає кількість опадів, яка значно перевищує їх розрахункові значення, використані у водобалансових режимно-технологічних розрахунках, так звані добові максимуми.

3.4.4 Час, за який може бути знижений РГВ до безпечного рівня щодо затоплення та підтоплення вирощуваних культур або тривалість періоду, на протязі якого спостерігається модуль дренажного стоку, що значно перевищує його розрахункове значення і характеризує граничні умови роботи дренажу, визначається за виразом

$$t = \frac{P'_\tau}{86,4 \cdot q_i} \text{ діб}, \quad (3.29)$$

де q_i – розрахунковий модуль дренажного стоку, м/добу.

3.4.5 Частина добового максимуму опадів, що попадає в ґрунт і формує підняття РГВ та збільшення модуля дренажного стоку (інфільтрація), може бути визначена згідно до розрахункової схеми (рис.3.8), за виразом

$$P'_\tau = P_\tau - S_\tau - A_\tau, \text{ мм}, \quad (3.30)$$

де P_τ – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм; S_τ – поверхневий стік за час τ , який визначається за аналогією з формулою А.М. Янголя як

$$S_\tau = P_\tau \cdot k_s, \text{ мм}, \quad (3.31)$$

де k_s – коефіцієнт поверхневого стоку.

3.4.6 Тут коефіцієнт поверхневого стоку k_s визначається за емпіричними формулами, які розглядають залежність його утворення на меліорованих територіях від двох визначальних факторів: водопроникності ґрунту, що характеризується коефіцієнтом фільтрації (K_i), та ухилом поверхні ґрунту (i)

$$k_s = \left(1 - 0,07 \cdot \frac{K_i}{K_{i_0}} \right) \cdot i^{0,17 \left(1 + \frac{K_i}{K_{i_0}} \right)}, \quad (3.32)$$

де K_{i_0} – оптимальний коефіцієнт фільтрації за умовами водорегулювання, $K_{i_0}=1,0$ м/добу.

3.4.7 Приймальна здатність дренажу на стадії експлуатації q'_n , в тому числі з урахуванням глибокого розпушення, може бути визначена за виразом

$$q'_n = \frac{F \cdot 2\pi \cdot K_i \cdot H_p}{B \cdot (\Phi_0 + \Phi_i)}, \text{ л/с}, \quad (3.33)$$

де F – площа осушуваного масиву, яку обслуговує сумарна довжина дрен, га; K_i – коефіцієнт фільтрації ґрунту з урахуванням різних технологій його розпушення, м/добу; H_p – розрахунковий напір, м; B – відстань між дренами з урахуванням різних технологій його розпушення, м; Φ_0 – фільтраційний опір ідеальної дрени, що визначається граничними умовами фільтрації; Φ_i – фільтраційний опір недосконалості дренажу по характеру розкриття пласта, що залежить від конструкції дренажних труб, параметрів захисних фільтрів та схем їх укладки.

3.4.8 Приклад розрахунку спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах на прикладі осушуваних мінеральних ґрунтів Західного Полісся за наявності ухилу поверхні $i=0,002$ наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3.

Ефективність роботи дренажу при різних варіантах розпушення осушуваного мінерального ґрунту досліджуваного об'єкту щодо граничних умов при випадінні добових максимумів опадів різної забезпеченості

Значення показників	Розрахункова забезпеченість добових максимумів опадів						
	$p, \%$	5%	10%	30%	50%	70%	90%
	$P_\tau, \text{мм}$	89,0	73,0	49,0	42,0	31,0	21,0
Без розпушення $K_i=0,12$ м/добу; $wh^\circ=316$ м ³ /га;	$S_\tau, \text{мм}$	23,68	19,42	13,04	11,17	8,25	5,58
	$A_\tau, \text{мм}$	12,17	8,77	3,95	2,90	1,58	0,72
	$P'_\tau, \text{мм}$	53,14	44,79	32,00	27,91	21,16	14,68..
	t (діб)	4,19	3,11	1,95	1,62	1,13	0,72
Щілинне $K_i=0,25$ м/добу; $wh^\circ=594$ м ³ /га;	$S_\tau, \text{мм}$	20,14	16,52	11,09	9,50	7,01	4,75
	$A_\tau, \text{мм}$	16,90	11,37	5,12	3,76	2,05	0,94
	$P'_\tau, \text{мм}$	51,94	45,09	32,78	28,72	21,93	15,30
	t (діб)	3,86	3,14	2,01	1,68	1,18	0,76
Смугове $K_i=0,36$ м/добу; $wh^\circ=655$ м ³ /га;	$S_\tau, \text{мм}$	17,56	14,40	9,67	8,29	6,11	4,14
	$A_\tau, \text{мм}$	24,26	16,32	7,35	5,40	2,91	1,35
	$P'_\tau, \text{мм}$	47,16	42,26	31,97	28,30	21,93	15,50

	t (діб)	3,35	2,86	1,94	1,65	1,18	0,77
Суцільне $K_i = 0,53$ м/добу; $wh^\circ = 711$ м ³ /га;	S_τ , мм	14,21	11,65	7,82	6,70	4,9	3,35
	A_τ , мм	34,19	23,00	10,36	7,61	4,14	1,90
	P'_τ , мм	40,58	38,33	30,80	27,67	21,90	15,74
	t (діб)	2,70	2,49	1,85	1,60	1,18	0,78

Примітка: 1. Приймальна здатність дренажу на стадії проекту складає $q_n = 0,6$ л/с, а на стадії експлуатації в сучасних умовах, визначена за формулою (3.29), становить $q'_n = 0,4$ л/с. 2. Усереднені значення критичних періодів перезволоження для вирощуваних сільськогосподарських культур становлять 3–7 діб.

3.4.9 Результати такого оцінювання показують, що робота дренажу при різних варіантах розпушення для досліджуваного об'єкта, у порівнянні без нього, у граничних умовах забезпечує підтримання допустимих умов щодо вологозабезпеченості вирощуваних сільськогосподарських культур у більшості випадків, коли забезпеченість добових максимумів опадів нижче 30%.

3.4.10 Таким чином, глибоке розпушення ефективно впливає на роботу дренажу, сприяє більш швидкому звільненню орного шару ґрунту від надлишку вологи, прискорюючи її переміщення та акумуляцію у нижче розташованих шарах, тим самим зменшує навантаження на дренаж.

4. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕЛІОРОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ НА ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЇХ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО СУЦІЛЬНОГО РОЗПУЩЕННЯ

4.1. Вплив підвищення акумуляційної здатності мінеральних ґрунтів на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і поливної води

4.1.1 З метою вирішення наявної проблеми щодо необхідності підвищення вологозабезпеченості меліорованих мінеральних ґрунтів виконано експериментальне дослідження впливу збільшення акумуляційної здатності ґрунту за рахунок проведення його глибокого меліоративного суцільного розпушення на основі удосконалених енергоефективних та вологорегулюючих технологій і технічних засобів на ефективність використання атмосферних опадів й поливної води та, відповідно, умови вологозабезпеченості ґрунту в цілому при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав.

4.1.2 Експериментально встановлено, що при збільшенні акумуляційної здатності ґрунту на основі проведення його розпушення відбувається підвищення ефективності використання опадів й поливної води та зменшення величини інфільтрації.

4.1.3 Таким чином, зміна акумуляційної здатності ґрунту до та після його розпушення може бути оцінено за зміною величини інфільтрації, яка утворюється у нерозпушеному та розпушеному ґрунті, за однакових умов його використання (погодно-кліматичні умови, вирощувані культури, технології й режими зрошення тощо).

Показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту A_i до та після його розпушення визначається у відносному вигляді як

$$A_i = 100 - \left(\frac{Ih_i}{(P + m)} \cdot 100 \right), \%, \quad (4.1)$$

де Ih_i – величина інфільтрації за варіантами i до та після розпушення ґрунту, м³/га; P – атмосферні опади, м³/га; m – поливна норма, м³/га.

4.1.4 Вплив акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та поливної води визначається на основі відповідного коефіцієнта як

$$k_{A_i}^{P+m} = 1 - \left(\frac{Ih_{A_i}}{(P + m)} \right), \quad (4.2)$$

де $k_{A_i}^{P+m}$ – коефіцієнт ефективності використання опадів та поливної води при акумуляційній здатності ґрунту A_i , що відповідає i -му варіанту до та після його розпушення ґрунту; Ih_{A_i} – величина інфільтрації при акумуляційній здатності ґрунту A_i , що відповідає i -му варіанту до та після його розпушення, м³/га.

4.1.5 За результатами експериментального дослідження встановлено, що прогнозна величина інфільтрації може бути визначена:

– за короткотерміновим прогнозом у добовому перерізі

$$Ih_\tau = -9,58^2 + 0,003 \cdot P_\tau^2 + 0,036 \cdot WPh_{\tau-1}^2, R^2 = 0,66; \quad (4.3)$$

– за довготерміновим прогнозом у декадному перерізі

$$Ih_\tau = 0,0308 \left(P_\tau^2 / WPh_{\tau-1} \right) - \left(6 \cdot 10^{-8} \right) \left(P_\tau^2 / WPh_{\tau-1} \right)^2, R^2 = 0,68, \quad (4.4)$$

де $WPh_{\tau-1}$ – запас продуктивної вологи РШГ перед випадінням опадів та проведенням поливу, % від WPh^0 (максимально можливий запас продуктивної вологи розрахункового шару ґрунту), м³/га; P_τ – опади за розрахунковий період часу τ (доба), м³/га.

4.1.6 Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та поливної води за результатами експериментального

дослідження представлено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та поливної води

Основні показники		Значення показників за варіантами експериментального дослідження		Зміна, %
		$WPh^0=200 \text{ м}^3/\text{га}$ до розпушення	$WPh^0=400 \text{ м}^3/\text{га}$ після розпушення	
середньозважений продуктивний запас води у ґрунті за вегетаційний період, $\text{м}^3/\text{га}$	WPh_{cp}	149	190	+27,0
частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду	WPh_{cp}/WPh^0	0,37	0,95	+156,8
тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію	$n(IW)$	0,7–0,8	0,9–1,0	+20,0–30,0
сума інфільтрації за вегетацію, $\text{м}^3/\text{га}$	Ih	2980	1500	-49,6
частка величини суми інфільтрації від суми опадів та поливної води за вегетацію	$Ih/(P+m)$	0,60	0,30	-50,0
показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %	A	40	70	+75,0
коефіцієнт ефективності використання опадів та поливної води	k_A^{P+m}	0,4	0,7	+75,0

4.1.7 Узагальнені результати оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності меліорованого мінерального ґрунту на основі удосконалених технологій і технічних засобів їх глибокого меліоративного суцільного розпушення на ефективність використання опадів та поливної води показали, що збільшення акумуляційної здатності ґрунту сприяє:

- істотному підвищенню ефективності використання опадів та поливної води. Таке підвищення за відповідним коефіцієнтом становить +75% від його початкового значення;
- зменшенню величини інфільтрації, що забезпечує зменшення інтенсивності промивного режиму ґрунту та позитивно впливає на еколого-меліоративний стан земель;
- збільшенню тривалості підтримання сприятливого водного режиму $(0,5-1,0)WPh^0$ на 20–30% та підвищенню умов вологозабезпеченості ґрунту в цілому.

4.1.8 Таким чином, глибоке меліоративне суцільне розпушення на основі удосконалених енергоефективних та вологорегулюючих технологій і засобів їх реалізації є ефективним адаптивним агро-меліоративним заходом з покращення вологозабезпеченості меліорованих мінеральних ґрунтів у змінюваних кліматичних умовах.

4.2. Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і поливної води

4.2.1 У розвиток результатів експериментального дослідження (див. розд. 4.1) з використанням комплексу ієрархічно зв'язаних прогнозно-імітаційних моделей виконано оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після

розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і поливної води у виробничих умовах **для вологих та посушливих періодів вегетації**.

4.2.2 Оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і поливної води **у вологі періоди вегетації** виконано за зміною величини інфільтрації, яка утворюється у нерозпушеному та розпушеному ґрунті. Оцінювання виконано за такими показниками:

– WPh_{cp} – середньозважений продуктивний запас води у ґрунті за вегетаційний період, м³/га;

– WPh_{cp}/WPh^0 – частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду;

– Ih – сума інфільтрації за вегетацію, м³/га;

– Ih/P – частка величини суми інфільтрації від суми опадів за вегетацію;

– A – показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %;

– k_A^P – коефіцієнт ефективності використання опадів;

– K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної).

4.2.3 Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів для **умов вологих періодів вегетації** представлено у табл. 4.2 на прикладі вирощування вологолюбивих багаторічних трав.

Таблиця 4.2

Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів для умов вологих періодів вегетації (при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав)

Основні показники		Значення показників для умов					
		дуже вологого (p=10%) періоду вегетації			вологого (p=30%) періоду вегетації		
		$WPh^0=350$ м ³ /га до розпушення	$WPh^0=550$ м ³ /га після розпушення	зміна, %	$WPh^0=350$ м ³ /га до розпушення	$WPh^0=550$ м ³ /га після розпушення	зміна, %
1		2	3	4	5	6	7
середньозважений продуктивний запас води у ґрунті за вегетаційний період, м ³ /га	WPh_{cp}	300	500	+66,7	270	450	+65,6
частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду	WPh_{cp}/WPh^0	0,55	0,91	+65,5	0,49	0,82	+67,3
сума інфільтрації за вегетацію, м ³ /га	Ih	1765	1399	-20,7	1184	925	-21,9
частка величини суми інфільтрації від суми опадів за вегетацію	Ih/P	0,37	0,29	-21,6	0,28	0,22	-21,4

1	2	3	4	5	6	7	8
показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %	A	63,2	70,8	+12,0	71,8	78,0	+8,6
коефіцієнт ефективності використання опадів	k_A^P	0,63	0,71	+12,7	0,72	0,78	+8,3
коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної)	K_y	0,38	0,47	+23,7	0,59	0,78	+32,2

4.2.4 Підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його глибокого розпушення у **вологі періоди вегетації** забезпечує:

- збільшення величини продуктивних запасів води у ґрунті на 66,7–65,6% та зменшення величини інфільтрації на 20,7–21,9% для умов дуже вологого ($p=10\%$) та вологого ($p=30\%$) періоду вегетації відповідно;
- зниження частки сумарної за вегетаційний період величини інфільтрації від суми опадів більш ніж на 21%;
- підвищення ефективності використання опадів у межах від 8,3 до 12,7% для умов дуже вологого ($p=10\%$) та вологого ($p=30\%$) періоду вегетації відповідно;
- підвищення продуктивності вирощуваних сільськогосподарських культур на 23,7% у дуже вологі та на 32,2% у вологі періоди вегетації за коефіцієнтом зміни їх врожайності.

4.2.5 В цілому підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його глибокого розпушення у **вологі періоди вегетації** за рахунок зменшення величини інфільтрації та підвищення ефективності використання опадів сприяє послабленню промивного водного режиму й покращенню еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів, що забезпечує підвищення продуктивності вирощуваних сільськогосподарських культур.

4.2.6 Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після їх розпушення на ефективність використання опадів і поливної води у **посушливі періоди вегетації** при частковому або регулярному їх зволоженні виконано за сукупністю показників, що різносторонньо характеризують умови вологозабезпеченості ґрунту та продуктивність вирощуваних культур (показники технологічної та екологічної ефективності):

- WRh^0 – максимальний продуктивний запас води у розрахунковому шарі ґрунту, $m^3/га$;
- WR – середньозважений продуктивний запас води у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, $m^3/га$;
- I_{36} – індекс зволоженості (відношення величини середньозваженого продуктивного запасу води в ґрунті до його максимальної величини);
- $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;
- M^{3p} – кількість поливної води за вегетацію, $m^3/га$;
- EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, $m^3/га$;
- k_{63} – коефіцієнт вологозабезпеченості;
- K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної);
- k_n – коефіцієнт екологічної надійності (визначається за сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності).

4.2.7 Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і поливної води для **умов посушливих періодів вегетації** за показниками технологічної та екологічної ефективності водорегулювання на прикладі вирощування

вологолюбивих багаторічних трав при частковому або регулярному їх зволоженні представлено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної ефективності водорегулювання до та після глибокого розпушення осушуваного мінерального ґрунту при виросуванні багаторічних трав за часткового або регулярного їх зволоження у посушливі періоди вегетації ($p=70\%$)

Показник Варіант	WPh^0 , м ³ /га	WP , м ³ /га	I_{36}	$n(IW)$	OR , м ³ /га	M^{36} , м ³ /га	EF , м ³ /га	k_{63}	K_y	k_n
ПШ	350	117	0,21	0,22	2937	-	3997	0,76	0,46	0,49
ПШ + ГР	550	227	0,41	0,28	2957	-	4027	0,79	0,49	0,51
ПШ + ГР + 1р	420	136	0,25	0,22	2944	-	4038	0,76	0,48	0,5
ЗШ	350	204	0,37	0,28	2934	1193	4743	0,91	0,61	0,49
ДП	350	255	0,46	0,94	2903	1500	5000	0,93	0,65	0,46
ДП+ГР	550	425	0,77	1,0	2954	1500	5067	0,96	0,68	0,49
зміна значень показників відносно ПШ, %										
ПШ + ГР	53,5	94,0	96,5	27,3	0,68	-	0,75	3,95	6,52	4,08
ПШ + ГР + 1р	18,3	16,2	17,8	0,0	0,24	-	1,03	0,0	4,35	2,04
ДП	1,41	117,9	120,8	327,3	1,16	-	25,1	22,4	41,3	-6,12
ДП+ГР	54,9	263,3	268,0	354,6	0,58	-	26,8	26,3	47,8	0,0

Примітка. WPh^0 – максимальний продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту, м³/га; WP – середньозважений продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, м³/га; I_{36} – індекс зволоженості (відношення величини середньозваженого продуктивного запасу вологи в ґрунті до його максимальної величини); $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; OR – величина ефективних атмосферних опадів за вегетацію, м³/га; M^{36} – кількість поливної води за вегетацію, м³/га; EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, м³/га; k_{63} – коефіцієнт вологозабезпеченості (відношення між $(WP+OR+M^{36})/EF$); K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної); k_n – коефіцієнт екологічної надійності (визначається за сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності осушуваних земель)). Способи водорегулювання: ОС – осушення; ПШ – попереджувальне шлюзування; ЗШ – зволожувальне шлюзування; ДП – зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування; ДО – зрошення дощуванням на фоні осушення.

4.2.8 Підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його розпушення у **посушливі періоди вегетації** сприяє:

- покращенню умов їх вологозабезпеченості: досягається підвищення індексу зволоження I_{36} у межах від 17,8% до 268%, коефіцієнта вологозабезпеченості k_{63} – від 3,95% до 26,8%, а також показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 27,3% до 354,6%;

- підвищенню ефективності використання атмосферних опадів та поливної води, про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 16,2% до 263,3%;

- підвищенню продуктивності вирощуваних культур у межах від 4,35% до 47,8% за показником зростання коефіцієнта зміни врожайності K_y .

4.2.9 Підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його розпушення у **посушливі періоди вегетації** за рахунок підвищення ефективності використання опадів та поливної води сприяє покращенню умов їх вологозабезпеченості, що забезпечує підвищення продуктивності вирощуваних культур.

4.2.10 Результати оцінювання в цілому свідчать про технологічну ефективність реалізації розглянутих способів водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів у поєднанні з їх глибоким розпушенням.

4.2.11 Кращими варіантами водорегулювання є зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування до (ДП) та після розпушення ґрунту (ДП+ГР), які забезпечують суттєве покращення умов вологозабезпеченості ґрунту: підвищення за індексом

зволоження I_{36} становить 120,8% та 268%; за показником тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – 327,3% та 354,6%. Також для цих варіантів підвищення коефіцієнта зміни врожайності становить 41,3% та 47,8%.

4.2.12 Однак в умовах змін клімату та при зростанні дефіциту водних ресурсів ці варіанти є менш ефективними, насамперед щодо екологічної та економічної складових їх загальної ефективності, оскільки потребують значних додаткових затрат поливної води та капіталовкладень на їх реалізацію.

4.2.13 Натомість варіант попереджувального шлюзування з глибоким розпушенням (ПШ+ГР) за показниками технологічної ефективності наближається до застосування традиційного зволожувального шлюзування (ЗШ – підґрунтове зволоження), але при цьому не потребує додаткових затрат поливної води на зволоження осушуваних земель та відповідних затрат матеріальних ресурсів на його реалізацію.

4.2.14 Наведені результати показали, що глибоке розпушення є ефективним агро меліоративним заходом, реалізація якого дає змогу забезпечити покращення вологозабезпеченості осушуваних мінеральних ґрунтів як необхідної умови адаптації аграрного виробництва у зоні осушення до умов зростаючого дефіциту водних ресурсів та посушливості клімату в цілому.

4.3. Ефективність роботи дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах їх перезволоження при випадінні добових максимумів опадів

4.3.1 Вплив традиційного глибокого розпушення на ефективність роботи систематичного матеріального дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах призводить насамперед до прискорення відведення зайвої вологи та посилення дренажності осушуваної території у періоди перезволоження.

4.3.2 Під періодами перезволоження слід сьогодні розуміти не тільки традиційний для обґрунтування параметрів дренажу весняний розрахунковий період, але й критичні періоди, що виникають впродовж періоду вегетації внаслідок часто локального випадіння інтенсивних атмосферних опадів (зливового характеру), пов'язаних зі змінами клімату, і призводить до значного підвищення навантаження на роботу дренажу.

4.3.3 Вплив різних технологій глибокого розпушення на водопроникність осушуваних мінеральних ґрунтів характеризується різним рівнем зміни їх фільтраційної та акумуляційної здатності.

4.3.4 Дослідження спільної роботи дренажу та різних технологій глибокого розпушення у критичних умовах при випадінні добових максимумів опадів різної забезпеченості виконано за даними прогнозно-імітаційного моделювання для умов різних розрахункових забезпеченостей добових максимумів опадів щодо тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації (див. розд. 3.4). Порівняльна характеристика гідрологічних та технологічних складових спільної роботи дренажу при різних технологіях розпушення щодо нерозпушеного ґрунту у критичних умовах представлені у табл. 4.4.

4.3.5 Глибоке суцільне розпушення дає змогу зберегти через акумулювання в ґрунті від 9% до 38% опадів з акумуляційним ККД до 84%, що в 2–5 разів краще ніж при щільному та смуговому розпушенні, позитивно впливає на роботу дренажу, швидкість відведення води змінюється від 35% до 5% при забезпеченості опадів від 5% до 90%, що є значно ефективніше ніж при щільному та смуговому розпушенні за рахунок відповідного зменшення величини поверхневого стоку, збільшення заакумульованої води в ґрунті та зменшення кількості води, що надходить в дренаж.

4.3.6 Найбільш ефективним є глибоке суцільне розпушення, застосування якого забезпечує істотне підвищення акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів та ефективності використання атмосферних опадів і поливної води у змінних кліматичних умовах.

4.3.7 Підвищення акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів на основі глибокого розпушення сприяє покращенню умов їх вологозабезпеченості як в посушливі, так і вологі періоди вегетації, що досягається за рахунок підвищення ефективності використання атмосферних опадів й поливної води.

Таблиця 4.4

Порівняльна характеристика гідрологічних та технологічних складових спільної роботи дренажу при різних технологіях розпушення щодо нерозпушеного ґрунту у критичних умовах, %

Значення показника	Розрахункова забезпеченість добових максимумів опадів						
	$p, \%$	5%	10%	30%	50%	70%	90%
	$P_{\tau}, \text{мм}$	89,0	73,0	49,0	42,0	31,0	21,0
щільне $K_i = 0,25 \text{ м/добу};$ $Wh^0 = 594 \text{ м}^3/\text{га};$	$\Delta S_{\tau}, \%$	14,95	14,93	14,95	14,95	15,03	14,87
	$\Delta A_{\tau}, \%$	38,87	29,65	29,62	29,66	29,75	30,56
	$\Delta P'_{\tau}, \%$	2,26	0,67	2,44	2,90	3,64	4,22
	$\Delta t, \%$	7,88	0,96	3,08	3,70	4,42	5,56
смугове $K_i = 0,36 \text{ м/добу};$ $Wh^0 = 655 \text{ м}^3/\text{га};$	$\Delta S_{\tau}, \%$	25,84	25,85	25,84	25,78	25,94	25,81
	$\Delta A_{\tau}, \%$	99,34	86,09	86,08	86,21	-84,18	87,50
	$\Delta P'_{\tau}, \%$	11,25	5,65	0,09	1,40	-3,64	5,59
	$\Delta t, \%$	20,05	8,04	0,51	1,85	4,42	6,94
суцільне $K_i = 0,53 \text{ м/добу};$ $Wh^0 = 711 \text{ м}^3/\text{га};$	$\Delta S_{\tau}, \%$	39,99	40,01	40,03	40,02	40,61	39,96
	$\Delta A_{\tau}, \%$	180,9	162,2	162,2	162,4	162,0	163,8
	$\Delta P'_{\tau}, \%$	23,64	14,42	3,75	0,86	3,50	7,22
	$\Delta t, \%$	35,56	19,94	5,13	7,41	4,42	5,56

Примітка. ΔS_{τ} – зміна поверхневого стоку за час, $\tau, \%$; ΔA_{τ} – зміна акумулюючої здатності розпушеного ґрунту, $\%$; $\Delta P'_{\tau}$ – зміна частини добових опадів, що попадає в розпушений ґрунт, $\%$; Δt – зміна часу відведення води, $\%$; Wh^0 – зміна максимального запасу продуктивної вологи ґрунту, $\text{м}^3/\text{га}$; K_i – коефіцієнт фільтрації, м/добу

4.4. Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів на фоні дренажу на умови їх вологозабезпеченості та ефективність використання опадів і зрошувальної води

4.4.1 У розвиток результатів експериментального дослідження (див. розд. 4.1) з використанням комплексу ієрархічно зв'язаних прогнозно-імітаційних моделей виконано оцінювання впливу акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і зрошувальної води у виробничих умовах **для вологих та посушливих періодів вегетації**.

4.4.2 Оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів до та після їх розпушення на ефективність використання опадів і зрошувальної води у **вологі та посушливі періоди вегетації** виконано за сукупністю показників, що різносторонньо характеризують умови вологозабезпеченості ґрунту та продуктивність вирощуваних культур (показники технологічної та екологічної ефективності):

- WPh^0 – максимальний продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту, $\text{м}^3/\text{га}$;
- WP – середньозважений продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, $\text{м}^3/\text{га}$;
- I_{36} – індекс зволоженості (відношення величини середньозваженого продуктивного запасу вологи в ґрунті до його максимальної величини);
- $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;
- OR – величина ефективних атмосферних опадів за вегетацію, $\text{м}^3/\text{га}$;
- VP – ефективна величина живлення ґрунтовими водами, $\text{м}^3/\text{га}$;
- EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, $\text{м}^3/\text{га}$;
- M – величина зрошувальної норми, $\text{м}^3/\text{га}$;

- $k_{\text{вз}}$ – коефіцієнт вологозабезпеченості (відношення між $(WP+OR+M)/EF$);
- K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної);
- k_n – коефіцієнт екологічної надійності (визначається за сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності зрошуваних земель))

4.4.3 Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів та зрошувальної води **для умов вологих періодів вегетації** при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав за різних способів зрошення і без його проведення представлені табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної ефективності водорегулювання до і після глибокого розпушення зрошуваного мінерального ґрунту при вирощуванні багаторічних трав в умовах вологих періодів вегетації ($p=30\%$) при різних способах зрошення і без його проведення

Варіант	Показник	WPh^0 , м ³ /га	WP , м ³ /га	$I_{\text{зв}}$	$n(IW)$	OR , м ³ /га	VP , м ³ /га	EF , м ³ /га	M , м ³ /га	$k_{\text{вз}}$	K_y	k_n
без зрошення та без розпушення ґрунту		600	272	0,27	0,11	1692	1599	3556	0	0,54	0,61	0,44
без зрошення у поєднанні з розпушенням ґрунту		1000	505	0,51	0,46	1692	1412	3635	0	0,62	0,65	0,44
зрошення дощуванням без розпушення ґрунту		600	276	0,28	0,13	1692	1615	3624	0	0,64	0,68	0,46
зрошення дощуванням у поєднанні з розпушенням ґрунту		1000	614	0,61	0,77	1692	1134	3801	600	0,76	0,74	0,46
удосконалена технологія поверхневого поливу без розпушення ґрунту		600	423	0,42	0,58	1692	1183	3982	800	0,78	0,76	0,49
удосконалена технологія поверхневого поливу у поєднанні з розпушенням ґрунту		1000	795	0,8	1	1692	1117	4079	1000	0,85	0,78	0,49
зміна значень показників відносно варіанта без зрошення та розпушення ґрунту, %												
без зрошення у поєднанні з розпушенням ґрунту		+66,7	+85,7	+88,9	+318,2	0	-11,7	+2,2	-	+14,8	+6,6	0
зрошення дощуванням без розпушення ґрунту		0	+1,5	+3,7	+18,2	0	+1,0	+1,9	-	+18,5	+11,5	+4,6
зрошення дощуванням у поєднанні з розпушенням ґрунту		+66,7	+125,7	+125,9	+600,0	0	-29,1	+6,9	-	+40,7	+21,3	+4,6
удосконалена технологія поверхневого поливу без розпушення ґрунту		0	+55,5	+55,6	+427,3	0	-26,0	+12,0	-	+44,4	+24,6	+11,4
удосконалена технологія поверхневого поливу у поєднанні з розпушенням ґрунту		+66,7	+192,3	+196,3	+809,1	0	-30,1	+14,7	-	+57,4	+27,9	+11,4

Примітка. WPh^0 – максимальний продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту, м³/га; WP – середньозважений продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, м³/га; $I_{\text{зв}}$ – індекс зволоженості (відношення величини середньозваженого продуктивного запасу вологи в ґрунті до його максимальної величини); $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; OR – величина ефективних атмосферних опадів за вегетацію, м³/га; VP – ефективна величина живлення ґрунтовими водами, м³/га; EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, м³/га; M – величина зрошувальної норми, м³/га; $k_{\text{вз}}$ – коефіцієнт вологозабезпеченості (відношення між $(WP+OR+M)/EF$); K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної); k_n – коефіцієнт екологічної надійності (визначається за

сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності зрошуваних земель))

4.4.4 Підвищення акумуляційної здатності зрошуваного мінерального ґрунту на основі його розпушення у *вологі періоди вегетації* сприяє:

- покращенню умов його вологозабезпеченості: досягається підвищення індексу зволоження $I_{\text{зв}}$ у межах від 88,9% до 196,3%, коефіцієнта вологозабезпеченості $k_{\text{вз}}$ – від 14,8% до 57,4%, а також показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 18,2% до 809,1%;

- підвищенню ефективності використання атмосферних опадів й зрошувальної води про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 85,7% до 192,3% при зниженні величини живлення ґрунтовими водами VP у межах від 11,7% до 30,1%;

- зниженню ризику відновлення та розвитку процесів вторинного засолення на зрошуваних землях й покращенню їх еколого-меліоративного стану за рахунок зниження величини живлення ґрунтовими водами, що дає змогу забезпечити зменшення кількості солей, які надходять до верхніх шарів ґрунту у процесі їх живлення ґрунтовими водами на 11,7–30,1%;

- підвищенню продуктивності вирощуваних культур у межах від 6,6% до 27,9% за показником зростання коефіцієнта зміни врожайності K_y .

4.4.5 Аналогічним чином виконано оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів до та після їх розпушення на ефективність використання опадів і поливної води у *посушливі періоди вегетації*.

4.4.6 Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і зрошувальної води *для умов посушливих періодів вегетації* при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав за різних способів зрошення і без його проведення представлені табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної ефективності водорегулювання до і після глибокого розпушення зрошуваного мінерального ґрунту при вирощуванні багаторічних трав в умовах посушливих періодів вегетації ($p=70\%$) при різних способах зрошення і без його проведення

Варіант \ Показник	WPh^0 , $\text{м}^3/\text{га}$	WP , $\text{м}^3/\text{га}$	$I_{\text{зв}}$	$n(IW)$	OR , $\text{м}^3/\text{га}$	VP , $\text{м}^3/\text{га}$	EF , $\text{м}^3/\text{га}$	M , $\text{м}^3/\text{га}$	$k_{\text{вз}}$	K_y	k_n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
без зрошення та розпушення ґрунту	600	104	0,1	0,10	1379	2804	4560	0	0,31	0,32	0,44
без зрошення у поєднанні з розпушенням ґрунту	1000	243	0,24	0,45	1379	2744	4653	0	0,35	0,36	0,44
зрошення дощуванням без розпушення ґрунту	600	318	0,32	0,23	1379	2004	7062	3600	0,63	0,69	0,46
зрошення дощуванням у поєднанні з розпушенням ґрунту	1000	626	0,63	0,75	1379	1803	7245	3000	0,76	0,72	0,46
удосконалена технологія поверхневого поливу без розпушення ґрунту	600	494	0,49	0,82	1379	2500	7308	3400	0,69	0,75	0,49
удосконалена технологія поверхневого поливу у поєднанні з розпушенням ґрунту	1000	876	0,88	1	1379	2241	7463	3200	0,82	0,82	0,49

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>зміна значень показників відносно варіанта без зрошення та розпушення ґрунту, %</i>											
без зрошення у поєднанні з розпушенням ґрунту	+66,7	+133,6	+140,0	+350,0	0	-2,1	+2,0	-	+12,9	+12,5	0
зрошення дощуванням без розпушення ґрунту	0	+205,8	+220,0	+130,0	0	-28,5	+54,9	-	+103,2	+115,6	+4,6
зрошення дощуванням у поєднанні з розпушенням ґрунту	+66,7	+501,9	+530,0	+650,0	0	-35,7	+58,9	-	+145,2	+125,0	+4,6
удосконалена технологія поверхневого поливу без розпушення ґрунту	0	+375,0	+390,0	+720,0	0	-10,8	+60,3	-	+122,6	+134,4	+11,4
удосконалена технологія поверхневого поливу у поєднанні з розпушенням ґрунту	+66,7	+742,3	+780,0	+900,0	0	-20,1	+63,7	-	+164,5	+156,3	+11,4

Примітка. WPh^0 – максимальний продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту, $\text{м}^3/\text{га}$; WP – середньозважений продуктивний запас вологи у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, $\text{м}^3/\text{га}$; $I_{зв}$ – індекс зволоженості (відношення величини середньозваженого продуктивного запасу вологи в ґрунті до його максимальної величини); $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; OR – величина ефективних атмосферних опадів за вегетацію, $\text{м}^3/\text{га}$; VP – ефективна величина живлення ґрунтовими водами, $\text{м}^3/\text{га}$; EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, $\text{м}^3/\text{га}$; M – величина зрошувальної норми, $\text{м}^3/\text{га}$; $k_{вз}$ – коефіцієнт вологозабезпеченості (відношення між $(WP+OR+M)/EF$); K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної); k_n – коефіцієнт екологічної надійності (визначається за сукупністю відповідних фізичних показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності зрошуваних земель))

4.4.7 Підвищення акумуляційної здатності зрошуваного мінерального ґрунту на основі його розпушення у **посушливі періоди вегетації** сприяє:

- покращенню умов його вологозабезпеченості: досягається підвищення індексу зволоження $I_{зв}$ у межах від 140% до 780%, коефіцієнта вологозабезпеченості $k_{вз}$ – від 12,9% до 164,5%, а також показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 130% до 900%;

- підвищенню ефективності використання атмосферних опадів й зрошувальної води, про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 133,6% до 742,3% при зниженні величини живлення ґрунтовими водами VP у межах від 2,1% до 35,7%;

- для варіантів дослідження із зрошенням, що передбачають проведення глибокого розпушення ґрунту відмічається зменшення величин затрат зрошувальної води при порівнянні з варіантами без його проведення;

- зниженню ризику відновлення та розвитку процесів вторинного засолення на зрошуваних землях й покращенню їх еколого-меліоративного стану за рахунок зниження величини живлення ґрунтовими водами, що дає змогу забезпечити зменшення кількості солей, які надходять до верхніх шарів ґрунту у процесі їх живлення ґрунтовими водами на 2,1–35,7%;

- підвищенню продуктивності вирощуваних культур у межах від 12,5% до 156,3% за показником зростання коефіцієнта зміни врожайності K_y .

4.4.8 Підвищення акумуляційної здатності зрошуваних мінеральних ґрунтів на основі розпушення сприяє покращенню умов їх вологозабезпеченості як в посушливі, так і вологі періоди вегетації, що досягається за рахунок підвищення ефективності використання атмосферних опадів й зрошувальної води.

4.4.9 Наведені результати показали, що глибоке розпушення є ефективним агромеліоративним заходом, реалізація якого дає змогу забезпечити покращення вологозабезпеченості зрошуваних мінеральних ґрунтів як необхідної умови адаптації аграрного виробництва на зрошенні до умов зростаючого дефіциту водних ресурсів та посушливості клімату в цілому.

4.4.10

4.5. Загальна ефективність технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

4.5.1 Відповідно до сучасних умов та вимог оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів ГМР виконується за комплексом показників різної направленості, рис. 4.1.



Рис. 4.1. Комплекс показників оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів глибокого розпушення

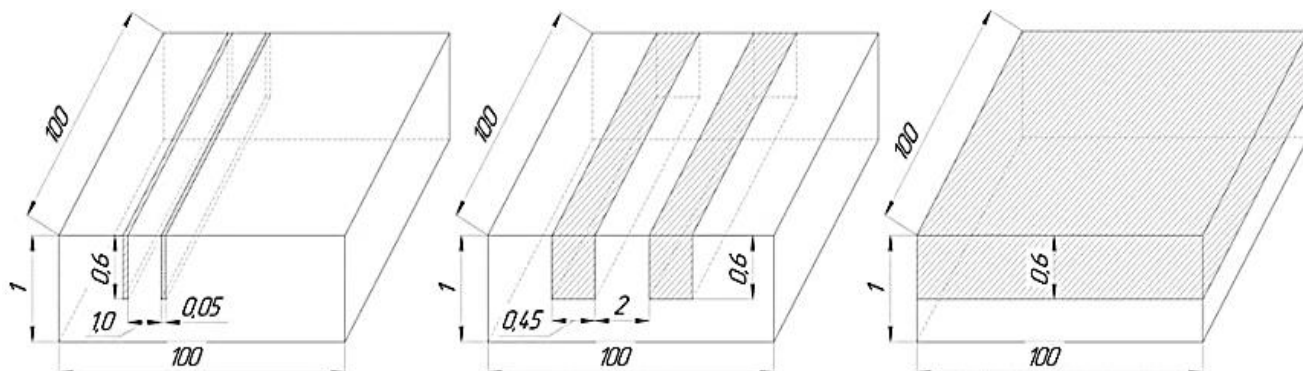
4.5.2 Для оцінювання загальної ефективності технологій та засобів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів проведені відповідні дослідження в зоні Західного Полісся України для осереднених ґрунтово-меліоративних умов, які переважно представлені дерново-підзолистими глейовими супіщаними, що сформувалися в умовах близького залягання РГВ. Коефіцієнти фільтрації орного шару ґрунту (0–20 см) змінюються в межах 0,13–0,4 м/добу, а на глибині 20 см і більше – 0,13–0,003 м/добу.

4.5.3 Дерново-підзолистий супіщаний ґрунт дослідного масиву за гранулометричним складом можна характеризувати як ґрунт середньої важкості, який важчає з глибиною. Вміст фізичного піску в орному горизонті сягає 58,3%, а в підорному – 79,8%. У суглинистому ілювіальному горизонті (50–90 см) спостерігається найбільший вміст фізичної глини (24,5%) і мулистих фракцій (18,4%).

4.5.4 Глибина закладання дренажу – 0,8–1,2 м; відстань між дренами – 10–20 м; діаметр гончарних трубок – 0,05 м (регулюючої мережі) і 0,075–0,1 м (колекторів); проектний ухил – 0,03–0,003; довжина дрен – 120–140 м.

4.5.5 Вивчення впливу різних технологій і засобів ГМР на водно-фізичні властивості та агро-меліоративний стан осушуваних мінеральних ґрунтів, а також роботи існуючої ДС в цілому, було вирішено шляхом проведення порівняльних виробничих випробувань за такими варіантами: 1 – щільне розпушення; 2 – смугове розпушення; 3 – суцільне розпушення 4 – контрольний варіант без розпушення.

4.5.6 Агротехнологічна ефективність. Показник якості розпушення визначено у вигляді коефіцієнта повноти розпушення, який для об'єктивності порівняльної оцінки за різними технологіями розпушення (рис. 4.2.) приведений до об'єму ґрунту на масиві площею 1 га (100×100 м) потужністю 1 м (табл. 4.7).



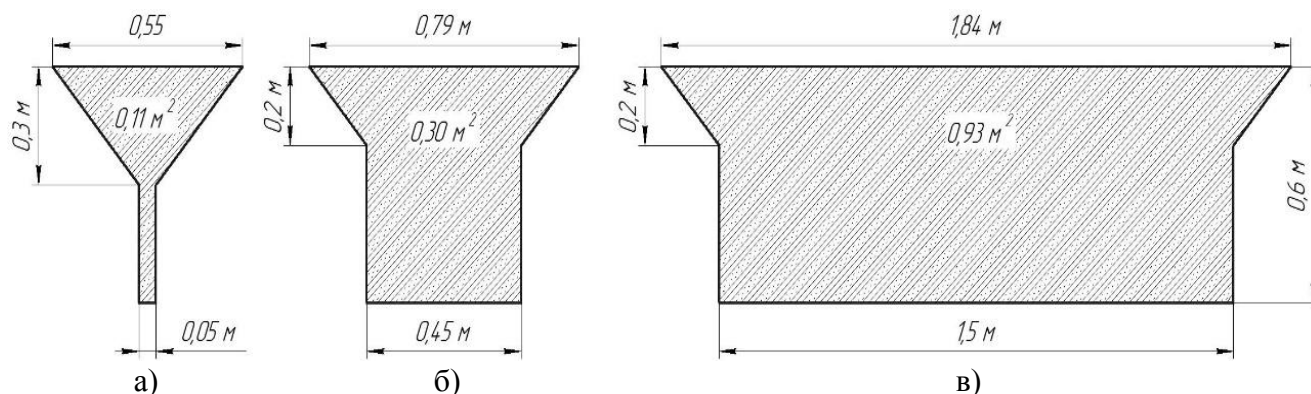


Рис. 4.2. Схеми розпушення ґрунту за площею (зверху) та профілем (знизу) на дослідній ділянці: а) щілинне розпушення одностояковим глибокорозпушувачем (див. рис. 2.2, а); б) смугове розпушення одностояковим триярусним глибокорозпушувачем (див. рис. 2.2, г); в) суцільне розпушення удосконаленим двоярусним глибокорозпушувачем (див. рис. 2.11, а)

Таблиця 4.7

Коефіцієнт повноти розпушення за різними варіантами

Варіанти розпушення \ Показники	об'єм розпушеного ґрунту за один прохід, $V_{cp}, \text{м}^3$	кількість проходів розпушувача, n_{cp}	коефіцієнт повноти розпушення, R_c
щілинне	11×2	50	0,11
смугове	30	40	0,12
суцільне	93	67	0,62

4.5.7 ГМР приводить до істотного збільшення водопроникності ґрунту за усією глибиною розпушення, головним чином у підорному шарі. Ступінь розпушеності ґрунтів, зміна їх воднофізичних властивостей та водопроникності залежать від застосованого способу та засобу глибокого розпушення.

4.5.8 При використанні щілинного розпушення щільність ґрунту відразу після розпушення в зоні нарізаних стояками щілин складала в орному шарі 1,4–1,45 т/м³, а у підорному – 1,45–1,71 т/м³ (у зоні проходження стояка).

4.5.9 Високу ефективність розпушення показав одностояковий ярусний глибокорозпушувач при смуговому розпушенні. При чому, у цьому випадку щільність ґрунту заміряли відразу після розпушення ґрунту як у зоні нарізаної щілини, так і між ними. Найбільші зміни щільності ґрунту відбуваються по лінії проходження стояка даного розпушувача. Порівняння щільності у цих зонах показало її зменшення на 28,3%. Відповідно, у смузі розпушення щільність в орному горизонті становила 1,31 т/м³, у підорному – 1,43 т/м³, а між смугами розпушення, відповідно, 1,45 т/м³ і 1,57 т/м³. Через місяць щільність ґрунту в зоні щілини по вертикалі змінилась до 1,43 т/м³. По мірі віддалення від осі щілини з боку стояка на 15–20 см вона становила вже 1,67 т/м³, тобто збільшилась на 13–15% і вже майже досягла вихідної щільності первинного (не розпушеного ґрунту).

4.5.10 Найкращі результати ГМР мінеральних ґрунтів досягнуті при застосуванні суцільного розпушення на основі використання багатоярусного глибокорозпушувача. При цьому щільність ґрунту в орному шарі зменшилась до 1,1–1,15 т/м³, у підорному – до 1,2–1,3 т/м³. Крім того, була доведена можливість прогнозувати і отримувати бажану структуру в будь-якому горизонті вертикального профілю розпушеного ґрунту в наслідок можливості регулювання параметрів робочого органу глибокорозпушувача. При цьому, на відміну від інших технологій, була досягнута оптимальна структура розпушеного ґрунту: в орному шарі

55–60% за масою ґрунтових агрегатів з розміром поперечника 10–50 мм і решта 40% – за сумарною масою агрегатів з поперечником меншим за 10 мм та більшим за 50 мм, а у підорному горизонті, відповідно, з поперечником 20–50 мм – 70–80%, та сумарно агрегатів з поперечниками меншими за 20 мм і більшими за 50 мм – 20–30%.

4.5.11 Узагальнена порівняльна характеристика усереднених в часі (за терміном післядії) та просторі (за профілем ґрунту) значень основних показників водно-фізичних властивостей в 0,6 м шарі ґрунтів за різними видами та варіантами його розпушення подані в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Порівняльна характеристика водно-фізичних властивостей 0,6м шару ґрунту за варіантами розпушення

Показники Варіанти розпушення	щільність (γ), т/м ³			шпаруватість (A), %			водопроникність (k_f), м/добу		
	абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю	
		т/м ³	%		т/м ³	%		т/м ³	%
без розпушення (контроль)	1,45	–	–	42,2	–	–	0,12	–	–
щілинне	1,41	0,04	2,9	46,1	3,9	9,2	0,25	0,13	206
смугове	1,32	0,13	8,9	47,3	5,1	12	0,36	0,24	296
суцільне	1,15	0,30	21	54,9	12,7	30	0,53	0,41	443

4.5.12 Після удосконаленого суцільного ГМР ґрунту волога розподіляється в шарі розпушення значно більшої потужності, інтенсивність перезволоження осушуваних ґрунтів знижується. Тому в підорному горизонті зберігається значно більша забезпеченість ґрунту повітрям, ніж у природному ущільненому стані. Надлишок вологи просочується до дренажів, а в розпушеному шарі залишається кількість води, що відповідає НВ.

4.5.13 Зменшення щільності ґрунту та відповідне збільшення шпаруватості при глибокому розпушенні призводить до збільшення його вологоакуючої здатності. При цьому збільшуються продуктивні вологозапаси в розпушеному шарі ґрунту внаслідок зміни гранично-польової вологоємності і вологості в'янення. У свою чергу, це забезпечує підвищення вологозабезпеченості осушуваних ґрунтів, більш ефективне використання атмосферної вологи і, як наслідок, підвищення потенційної та ефективної продуктивності ґрунту і вирощуваних сільськогосподарських культур у цілому.

4.5.14 Узагальнена порівняльна характеристика усереднених значень основних агрометеорологічних показників 0,6 м шару розпушеного ґрунту щодо зміни запасу продуктивної вологи та за найбільш універсальним показником продуктивності вирощуваних культур щодо варіантів його розпушення наведена в табл. 4.9.

Таблиця 4.9

Порівняльна характеристика агрометеорологічних показників для 0,6 м шару ґрунту за варіантами розпушення

Показники Варіанти розпушення	запас продуктивної вологи (W_h), м ³ /га			продуктивність культур за ККД ФАР, %		
	абсолют. значення, м ³ /га	відхилення від контролю		абсолют. значення, %	відхилення від контролю	
		м ³ /га	%		%	%
без розпушення (контроль)	316	–	–	0,80	–	–
щілинне	594	278	49,0	0,88	0,08	10,0
смугове	655	339	51,0	0,99	0,19	24,0
суцільне	711	395	55,5	1,16	0,36	45,0

4.5.15 Термін ефективної технологічної післядії розглянутих способів ГМР осушуваного мінерального ґрунту склав відповідно: щілинного – 1 рік; смугового – 3 роки, суцільного – до 4 років.

4.5.16 Досліджувані технології та засоби ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів по різному впливають на врожай залежно від тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації та виду вирощуваних культур як у польовому, табл. 4.10, так і в машинному експерименті з використанням відповідного комплексу прогнозно-імітаційних моделей, що реалізуються на основі довгострокового прогнозу, табл. 4.11.

Таблиця 4.10

Порівняльна характеристика врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур за роками і варіантами розпушення

№ з/п	Варіанти розпушення	Врожай культур, ц/га	Відхилення від контролю	
			ц/га	%
1	2	3	4	5
1 рік, $p=22,8\%$ (вологий), цукровий буряк (коренеплоди)				
1	без розпушення (контроль)	288,5	-	-
2	щілинне розпушення	301,6	13,1	4,5
3	смугове розпушення	340,1	51,6	18,1
4	суцільне розпушення	381,7	93,25	32,3
2 рік, $p=45,4\%$ (середній), озимі зернові (зерно)				
1	2	3	4	5
1	без розпушення (контроль)	29,1	-	-
2	щілинне розпушення	30,9	1,8	6,1
3	смугове розпушення	33,7	4,6	15,9
4	суцільне розпушення	35,6	6,5	22,3
3 рік, $p=71,2\%$ (сухий), ярові зернові (зерно)				
1	без розпушення (контроль)	26,4	-	-
2	щілинне розпушення	27,8	1,4	5,3
3	смугове розпушення	28,9	2,5	9,4
4	суцільне розпушення	31,5	5,1	19,3

Таблиця 4.11

Прогнозний врожай вирощуваних культур проектної сівозміни за варіантами розпушення

№ з/п	Варіанти розпушення	Культури	Вид продукції	Врожай культур (ц/га) по розрахункових роках, $p\%$					Проектний врожай, ц/га
				10	30	50	70	90	
1	без розпушення (контроль)	багаторічні трави	зелена маса	134,8	230,7	251,9	154,1	102,1	183,2
		ярі зернові	зерно	12,9	22,0	30,1	27,8	18,6	23,6
		озимі зернові	зерно	10,3	20,8	29,5	27,6	18,3	22,7
		картопля	бульба	164,2	38,4	216,8	148,3	83,0	136,0
2	щілинне розпушення	багаторічні трави	зелена маса	151,7	255,2	261,5	177,8	116,7	201,1
		ярі зернові	зерно	14,5	24,7	32,4	29,3	20,5	25,6
		озимі зернові	зерно	11,6	23,4	31,8	28,5	20,2	24,5
		картопля	бульба	184,7	42,4	233,9	156,7	91,8	147,6
3	розпушення смугами	багаторічні трави	зелена маса	168,6	287,5	280,2	217,9	142,6	228,7
		ярі зернові	зерно	16,1	28,8	36,6	32,4	23,8	29,0
		озимі зернові	зерно	12,9	27,2	35,9	31,6	23,6	27,8
		картопля	бульба	205,2	50,2	227,7	185,9	110,8	160,8
4	суцільне розпушення	багаторічні трави	зелена маса	209,6	331,7	318	263,9	173,1	269,2
		ярі зернові	зерно	22,2	33,4	42,5	35,4	26,2	33,4

	озимі зернові	зерно	17,8	31,5	41,4	34,9	26,2	32,0
	Картопля	бульба	262,2	58,7	267,7	231,6	126,5	194,9

4.5.17 Наведені результати щодо врожаю вирощуваних культур адекватно відображають досягнутий ступінь поліпшення умов їх вирощування та забезпечують в середньому їх прибавку за варіантами ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів: щілине – 5–10%; смугове – 10–20%; суцільне (удосконалене) – 20–40%.

4.5.18 Залежність запасу продуктивної вологи ґрунту Wh від усередненої щільності ґрунту $\gamma_{zp}^{сеп}$ подана на рис. 4.3, а її вплив на продуктивність культур за ККД ФАР χ на рис. 4.4.

Розрахунок показників можна здійснити за інтерполяційними формулами:

$$Wh = 800 - 0,16 \cdot e^{4,75\gamma_{zp}}, \text{ м}^3/\text{га}, (r^2 = 0,9875); 0,1 \leq \gamma_{zp} \leq 1,8. \quad (4.5)$$

$$\chi = 0,0016 \cdot Wh, \%, (r^2 = 0,8823) \quad (4.6)$$

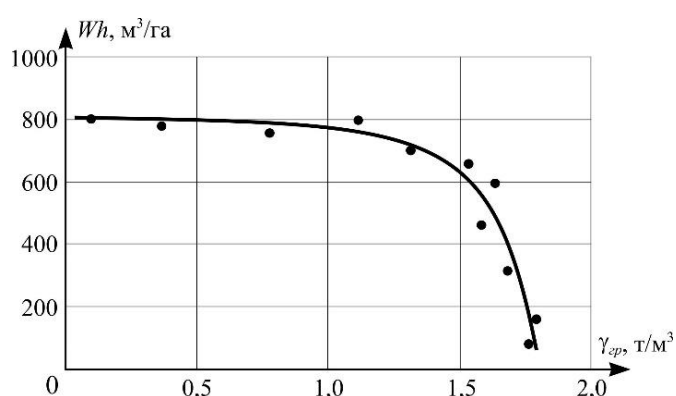


Рис. 4.3. Залежність запасу продуктивної вологи ґрунту Wh від щільності ґрунту $\gamma_{zp}^{сеп}$ в шарі ґрунту 0,6 м

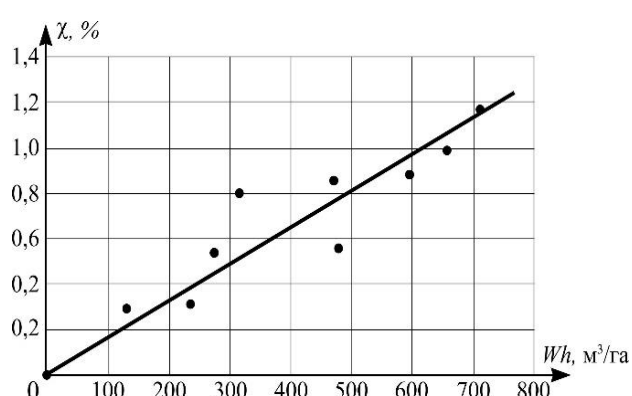


Рис. 4.4. Залежність продуктивності культур за ККД ФАР χ від запасу продуктивної вологи ґрунту Wh в шарі ґрунту 0,6 м

4.5.19 За визначеними значеннями максимального продуктивного вологозапасу розрахункового шару ґрунту до та після його розпушення визначається показник *додаткової вологоємності*, який характеризує збільшення акумуляційної здатності та ефективність ГМР в цілому.

4.5.20 Залежності для розрахунку агрогідрологічних характеристик розпушеного та нерозпушеного осушуваного мінерального ґрунту залежно від відповідної їхньої щільності наведено в табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Залежності для розрахунку агрогідрологічних характеристик розпушеного і не розпушеного мінерального ґрунту в шарі 0,6 м за їх відповідною щільністю

№ з/п	Без розпушення	З розпушенням
1	$A = 84,05 - 27,62 \gamma_{гр}; R = 0,91;$	$A = 97,60 - 34,75 \gamma_{гр}; R = 0,87.$
2	$ПВ = 68,13 - 26,06 \gamma_{гр}; R = 0,92;$	$ПВ = 53,14 - 14,81 \gamma_{гр}; R = 0,60.$
3	$НВ = 33,45 - 14,06 \gamma_{гр}; R = 0,81;$	$НВ = 24,80 - 8,60 \gamma_{гр}; R = 0,60.$
4	$ВВ = 6,75 - 0,06 \gamma_{гр}; R = 0,70;$	$ВВ = 4,50 - 0,03 \gamma_{гр}; R = 0,70.$
5	$W_{ПВ} = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (61,38 - 26,0 \cdot \gamma_{гр});$	$W_{ПВ} = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (48,64 - 14,78 \cdot \gamma_{гр}).$
6	$W_{НВ} = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (26,7 - 14,0 \cdot \gamma_{гр});$	$W_{НВ} = 100 \cdot h \cdot \gamma_{гр} (20,3 - 8,57 \cdot \gamma_{гр}).$

Примітка. А – шпаруватість, %; ПВ – повна вологоємність, %; НВ – найменша вологоємність, %; ВВ – вологість в'янення, %; $W_{ПВ}$, $W_{НВ}$ – вологозапаси шару ґрунту при відповідній його вологості на рівні ПВ та НВ.

4.5.21 Енергетична ефективність. Основним завданням енергетичного аналізу в аграрному виробництві є вивчення, кількісна оцінка, оптимізація потоків енергетичних витрат та

управління ними в агросистемах. Енергетичні втрати на розпушення E_v включають витрати на амортизацію трактора та робочого знаряддя, витрати паливно-мастильних матеріалів, витрати праці людини. Вирощування сільськогосподарської продукції забезпечує одержання первинної сільськогосподарської продукції, тобто енергії у вигляді органічної речовини.

4.5.22 Енергетична оцінка первинної сільськогосподарської продукції проводиться на основі обсягу виробництва господарсько-корисної продукції і її калорійності, тобто визначається енергетичний потенціал, що одержують при вирощуванні сільськогосподарських культур:

$$E_n = \sum_{i=1}^n O_{аср\ i} K_i, \quad (4.7)$$

де E_n – енергетичний потенціал (калорійність) одержаної продукції, Дж; $O_{аср\ i}$ – обсяг i -ої абсолютно-сухої речовини, кг/га; K_i – калорійність i -ої абсолютно-сухої речовини, Дж/кг.

4.5.23 Показник енергетичної ефективності аграрного природокористування на осушених землях визначається як відношення енергетичного потенціалу E_n до енергетичних витрат E_v . Показник енергетичної ефективності залежить від ґрунтово-кліматичних умов, ступеня техногенної завантаженості структури посівних площ і наявності науково обґрунтованих сівозмін.

4.5.24 Порівняльна характеристика енергетичної ефективності застосування різних технологій ГМР ґрунту за відповідними показниками представлена в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Порівняльна характеристика показників енергетичної ефективності за варіантами ГМР шару ґрунту 0,6 м

Показники Варіанти розпушення	Загальна енергія на розпушення, Дж/га	Витрата енергії на 1м ³ розпушеного ґрунту, Дж/м ³	Коефіцієнт енергетичного еквіваленту	Енергетична оцінка врожаю, Дж/га
Щілинне	1286,8	7,39	6,12	7912,8
Смугове	3675,76	4,53	7,05	25898,1
Суцільне	4594,61	0,77	9,69	44500,4

4.5.25 Результати енергетичного аналізу показують, що суцільне розпушення забезпечує більшу прибавку врожаю вирощуваних культур ніж при щілинне чи смугове, що не тільки покриває витрати на його реалізацію, але й створює відповідний прибуток. Коефіцієнт енергетичної ефективності значно більший при удосконаленому суцільному розпушенні ґрунту, ніж при традиційному щілинному та смуговому способах, що дає змогу більш ефективно використовувати потенціал меліорованого ґрунту.

4.5.26 Зведені результати застосування удосконаленої технології показують ефективність суцільного пошарового ГМР та представлені через графічні залежності фізичних, енергетичних та фільтраційних характеристик за коефіцієнтом повноти розпушування ґрунту R_c в досліджуваному масиві потужністю 0,6 м, див. рис. 4.5.

4.5.27 Розрахунок фізичних, енергетичних та фільтраційних показників можна здійснити за інтерполяційними формулами:

$$\gamma_{zp} = 1,7 + 0,16 \cdot R_c - 1,3 \cdot R_c^2, \text{ м/м}^3, (r^2 = 0,9719); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.8)$$

$$E_v = 2713 \cdot \ln(R_c) + 5921, \text{ кДж/га}, (r^2 = 0,9283); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.9)$$

$$\theta = \frac{1}{0,087 + 0,203 \cdot R_c}, \text{ кДж/м}^3, (r^2 = 0,9800); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.10)$$

$$\varphi = 26,1 \cdot \exp(-2,62 \cdot R_c), (r^2 = 0,9333); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.11)$$

$$K_\phi = 1,60 - \frac{0,117}{R_c}, \text{ м/добу}, (r^2 = 0,9113); 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.12)$$

$$Wh^o = \frac{R_c}{0,0003 + 0,0014 \cdot R_c}, \text{ м}^3/\text{га} (r^2 = 0,9800), 0,1 \leq R_c \leq 0,7. \quad (4.13)$$

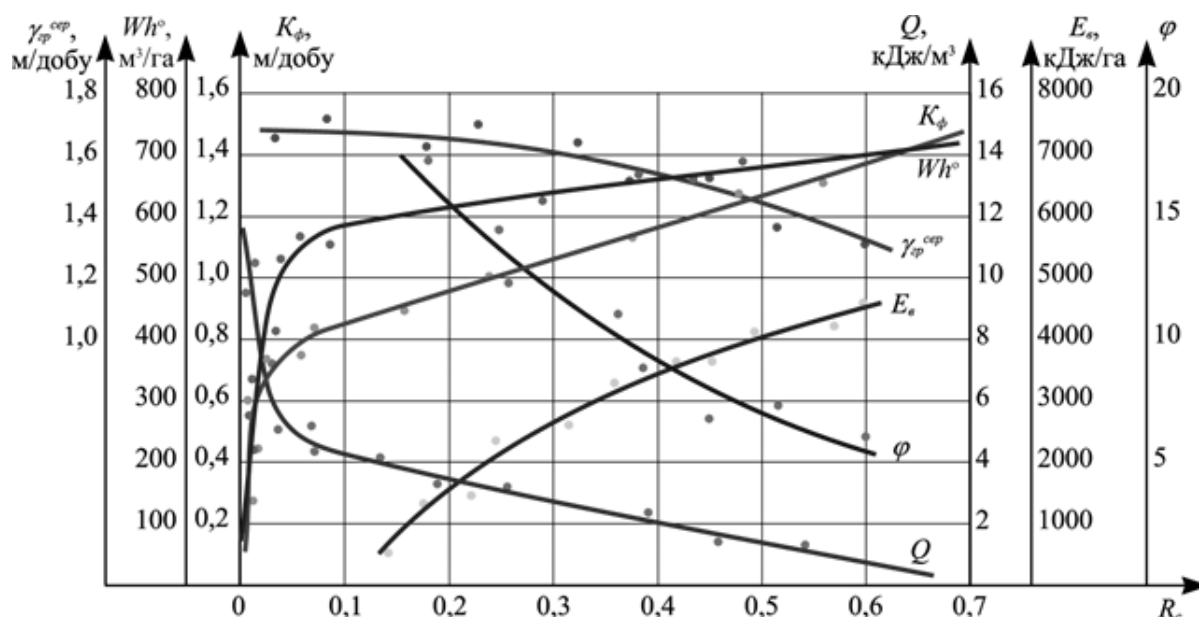


Рис. 4.5. Залежність фізичних, енергетичних та фільтраційних показників від повноти розпушення ґрунту R_c на дослідному масиві потужністю 0,6 м: $\gamma_{cp}^{сеп}$ – усереднена щільність ґрунту; E_e – інтегральний показник витрати енергії; Q – показник питомої витрати енергії на розпушення 1 м³; ϕ – коефіцієнт енергетичного еквіваленту (потенціалу) отриманої сільськогосподарської продукції; K_ϕ – коефіцієнт фільтрації; Wh° – максимальний запас продуктивної вологи активного шару ґрунту.

4.5.1 Вологорегулююча ефективність. Оцінювання водорегулюючої складової загальної ефективності удосконалених технологій та технічних засобів суцільного ГМР показало, що удосконалене суцільне розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах забезпечує покращення умов їх вологозабезпеченості:

- **для умов вологих періодів вегетації:** збільшення величини продуктивних запасів вологи на 66,7% умов дуже вологого ($p=10\%$) та на 65,6% для умов вологого ($p=30\%$) періоду вегетації, а також відповідне підвищення ефективності використання опадів у межах від 8,3 до 12,7%;

- **для умов посушливих періодів вегетації:** підвищення індексу зволоження $I_{зв}$ у межах від 17,8% до 268%, коефіцієнта вологозабезпеченості $k_{вз}$ – від 3,95% до 26,8%, показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 27,3% до 354,6%, а також підвищення ефективності використання атмосферних опадів та поливної води про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 16,2% до 263,3%.

На зрошуваних мінеральних ґрунтах забезпечується:

- **для умов вологих періодів вегетації:** підвищення індексу зволоження $I_{зв}$ у межах від 88,9% до 196,3%, коефіцієнта вологозабезпеченості $k_{вз}$ – від 14,8% до 57,4%, показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 18,2% до 809,1%, а також підвищення ефективності використання атмосферних опадів й зрошувальної води про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 85,7% до 192,3% при зниженні величини живлення ґрунтовими водами VP у межах від 11,7% до 30,1%;

- **для умов посушливих періодів вегетації:** підвищення індексу зволоження $I_{зв}$ у межах від 140% до 780%, коефіцієнта вологозабезпеченості $k_{вз}$ – від 12,9% до 164,5%, показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – від 130% до 900%, а також підвищення ефективності використання атмосферних опадів й зрошувальної води про що свідчать дані щодо збільшення продуктивних запасів вологи у розрахунковому шарі ґрунту WP у межах від 133,6% до 742,3% при зниженні величини живлення ґрунтовими водами VP у межах від 2,1% до 35,7%.

4.5.2 Екологічна ефективність. Урахування екологічних факторів має виключне значення при виборі оптимального варіанту техніко-технологічного рішення щодо засобу та

способу ГМР у меліоративному проекті з будівництва, реконструкції та експлуатації осушувальної системи, який забезпечує мінімум природоохоронних витрат та нанесення мінімальних збитків навколишньому природному середовищу.

4.5.3 Екологічна ефективність застосування удосконалених технологій та технічних засобів суцільного ГМР полягає у комплексній позитивній дії на водний, повітряний, температурний та інші режими ґрунту. Впровадження удосконаленого суцільного розпушення забезпечує досягнення коефіцієнта екологічної надійності меліорованого ґрунту на рівні 0,50–0,51 – *екологічного надійного* та підтримання сприятливого їх еколого-меліоративного стану. Застосування удосконаленого суцільного розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах у вологі періоди вегетації забезпечує зменшення величини інфільтрації, що має позитивний вплив на зниження інтенсивності промивного водного режиму ґрунту на 21–22%. Щодо застосування удосконаленого суцільного розпушення на зрошуваних мінеральних ґрунтах, то як у вологі, так і посушливі періоди вегетації досягається зменшення величини живлення ґрунтовими водами, що сприяє зниженню ризику відновлення та розвитку процесів вторинного засолення на зрошуваних землях на 15–36% й покращенню їх еколого-меліоративного стану.

4.5.4 За результатами досліджень, ГМР позитивно впливає на температурний режим ґрунту, особливо орного горизонту, де при підвищенні температури повітря максимальна температура в розпушеному ґрунті ставала на 0,1–0,5° С нижче, ніж без розпушення.

4.5.5 Під дією ГМР на 8–12 см зменшується глибина промерзання ґрунту, а навесні на 2–3 доби пришвидшується відтавання. Особливо це характерно для першого року післядії.

4.5.6 ГМР може бути механізмом, що також сприяє зменшенню випаровування інших парникових газів з поверхні ґрунту за рахунок стимулювання їх накопичення та поглинання глибоко в ґрунтовому масиві, а не у верхньому шарі ґрунту. При чому макроагрегати розпушеного ґрунту діаметром 2–8 мм характеризуються на 51% кращим поглинаючими властивостями (за сукупний 20-денний період), ніж макроагрегати ґрунту з діаметром до 2 мм.

4.5.7 Крім того, відповідно проведене ГМР буде сприяти транслокаційним процесам переміщення ґрунтового органічного вуглецю у глибину масиву, які є одним із способів його секвестрації. Вимірювані норми секвестрації вуглецю ґрунтом складають від 50 до 1000 кг/га/рік. Глобальний потенціал секвестрації вуглецю становить 0,9–10,3 Пг/рік, що може компенсувати від однієї чверті до однієї третини річного збільшення атмосферного вуглекислого газу, що оцінюється в 3,3 Пг/рік. Сукупний потенціал секвестрації вуглецю ґрунтом за 25–50 років становить 30–60 Пг.

4.5.8 У тісному взаємозв'язку з температурним і водним режимом знаходиться випаровування вологи. Глибоке розпушення, порушуючи капілярний зв'язок у верхніх горизонтах, зменшує інтенсивність капілярного живлення й відповідно дещо зменшує випаровування з поверхні ґрунту. При цьому більш ефективно використовуються збільшені за рахунок розпушення запаси ґрунтової вологи при живленні кореневої системи вирощуваних рослин, що підвищує їх врожай та збільшує відповідну величину транспіраційної складової сумарного випаровування.

4.5.9 Порівняльна характеристика розрахункових значень величини сумарного випаровування та її транспіраційної складової на прикладі вирощування на осушуваних мінеральних ґрунтах багаторічних трав на зелену масу за варіантами розпушення наведена в табл. 4.14.

4.5.10 За таких змін клімату, що мають місце у сучасних умовах, кількість атмосферних опадів на території України змінилася неістотно, проте помітними стали зміни інтенсивності та характеру їх випадання. Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, які часто мають зливовий та локальний характер випадання у теплий період, не забезпечують ефективне накопичення вологи ґрунту, що призводить до критичних умов формування їх водного режиму.

4.5.11 Узагальнені результати дослідження різних технологій ГМР на фоні дії дренажу щодо не розпушеного осушуваного мінерального ґрунту у критичних умовах при випадінні добових максимумів опадів різної забезпеченості на прикладі досліджуваного об'єкта наведено в табл. 4.15.

Таблиця 4.14

Розрахункова величина сумарного випаровування ($\text{м}^3/\text{га}$) (чисельник) та її транспіраційної складової (знаменник) при вирощуванні багаторічних трав (зелена маса) на осушуваних мінеральних ґрунтах за варіантами розпушення

Варіанти розпушення	Розрахункові роки, p (%)					Середнє
	10	30	50	70	90	
без розпушення (контроль)	<u>2970</u>	<u>3451</u>	<u>3972</u>	<u>3459</u>	<u>2842</u>	<u>3451</u>
	2252	3302	3654	3231	2691	3026
щільнне	<u>2970</u>	<u>3459</u>	<u>3852</u>	<u>3568</u>	<u>2923</u>	<u>3459</u>
	2265	3258	3479	3324	2772	3019
смугове	<u>2970</u>	<u>3456</u>	<u>3684</u>	<u>3732</u>	<u>3060</u>	<u>3456</u>
	2250	3059	3249	3432	2893	2976
суцільне	<u>2965</u>	<u>3490</u>	<u>3661</u>	<u>3856</u>	<u>3123</u>	<u>3490</u>
	2260	3062	3191	3605	3055	3034

Примітка. Як розрахункові роки за умовами тепло- й вологозабезпеченості розглядаються: $p=10\%$ – дуже вологі; $p=30\%$ – вологі; $p=50\%$ – середні; $p=70\%$ – сухі; $p=90\%$ – дуже сухі.

4.5.12 Узагальнені результати дослідження різних технологій ГМР на фоні дії дренажу щодо не розпушеного осушуваного мінерального ґрунту у критичних умовах при випадінні добових максимумів опадів різної забезпеченості на прикладі досліджуваного об'єкта наведено в табл. 4.15.

Таблиця 4.15

Ефективність використання акумуляційної здатності ґрунту при різних варіантах розпушення та роботи дренажу в критичних умовах

Значення показників	Розрахункова забезпеченість добових максимумів опадів						
	p , %	5%	10%	30%	50%	70%	90%
	P_{τ} , мм	89,0	73,0	49,0	42,0	31,0	21,0
1	2	3	4	5	6	7	8
без розпушення $K_i = 0,12$ м/добу; $Wh^0 = 316$ $\text{м}^3/\text{га}$;	S_{τ} , мм	23,68	19,42	13,04	11,17	8,25	5,58
	A_{τ} , мм	12,17	8,77	3,95	2,90	1,58	0,72
	P'_{τ} , мм	53,14	44,79	32,00	27,91	21,16	14,68
	t , (діб)	4,19	3,11	1,95	1,62	1,13	0,72
	E'_A , %	22,90	19,58	12,34	10,39	7,47	4,90
1	2	3	4	5	6	7	8
щільнне $K_i = 0,25$ м/добу; $Wh^0 = 594$ $\text{м}^3/\text{га}$;	S_{τ} , мм	20,14	16,52	11,09	9,50	7,01	4,75
	A_{τ} , мм	16,90	11,37	5,12	3,76	2,05	0,94
	P'_{τ} , мм	51,94	45,09	32,78	28,72	21,93	15,30
	t , (діб)	3,86	3,14	2,01	1,68	1,18	0,76
	E'_A , %	32,54	25,22	15,62	13,09	9,35	6,14
смугове $K_i = 0,36$ м/добу; $Wh^0 = 655$ $\text{м}^3/\text{га}$;	S_{τ} , мм	17,56	14,40	9,67	8,29	6,11	4,14
	A_{τ} , мм	24,26	16,32	7,35	5,40	2,91	1,35
	P'_{τ} , мм	47,16	42,26	31,97	28,30	21,93	15,50
	t , (діб)	3,35	2,86	1,94	1,65	1,18	0,77
	E'_A , %	51,44	38,62	22,99	19,08	13,27	8,71
суцільне $K_i = 0,53$ м/добу; $Wh^0 = 711$ $\text{м}^3/\text{га}$;	S_{τ} , мм	14,21	11,65	7,82	6,70	4,9	3,35
	A_{τ} , мм	34,19	23,00	10,36	7,61	4,14	1,90
	P'_{τ} , мм	40,58	38,33	30,80	27,67	21,90	15,74
	t , (діб)	2,70	2,49	1,85	1,50	1,08	0,68
	E'_A , %	84,25	60,01	33,64	27,50	18,90	12,07

Примітка. K_i – коефіцієнт фільтрації ґрунту за варіантами дослідження, м/добу $h^0 = 0,6$ м; t – час зниження рівня ґрунтових вод до безпечного рівня; Wh^0 – максимально можливий запас продуктивної вологи розрахункового шару ґрунту), $\text{м}^3/\text{га}$; P_{τ} – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм; P'_{τ} – частина опадів добового максимуму опадів, що попадає в розпушений ґрунт; A_{τ} – акумулююча ємність розпушеного ґрунту в зоні аерації, залежно від вихідної вологості; E'_A – частка опадів, що акумулюється в ґрунті.

4.5.13 За експериментально встановленими параметрами впливу різних видів розпушення на зміну водно-фізичних показників ґрунту (щільність, водопроникність, акумуляційна здатність) в критичних умовах перезволоження щодо добових максимумів опадів різної забезпеченості визначено, що, порівняно з традиційним, глибоке суцільне розпушення дає змогу зберегти через акумулювання в ґрунті від 9% до 38% добових максимумів опадів при забезпеченості від 5% до 90%, що у 2–5 разів краще ніж при щільному та смуговому розпушенні, а також призводить до зменшення величини поверхневого стоку, величини інфільтрації та навантаження на дренаж на 20–50%.

4.5.14 За результатами прогнозно-імітаційного моделювання з використанням відповідного комплексу моделей було визначено ефективність застосування удосконаленого суцільного розпушення впродовж вегетаційного періоду у поєднанні з різними способів водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів на прикладі досліджуваного об'єкта (ґрунт – супіщаний, площа – 10 га, культура – багаторічні трави на сіно) для розрахункового сухого за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації ($p = 70\%$).

4.5.15 У табл. 4.16 наведено фрагменти узагальнених результатів за такими варіантами: 1 – попереджувальне шлюзування (ПШ); 2 – попереджувальне шлюзування з суцільним глибоким розпушенням (ПШ+ГР); 3 – попереджувальне шлюзування з суцільним глибоким розпушенням з післядією в 1 рік (ПШ+ГР+1р); 4 – зволожувальне шлюзування (ЗШ, підґрунтове зволоження).

Таблиця 4.16

Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної ефективності за варіантами досліджень

Варіанти \ Показники	WPh^0 , м ³ /га	WP , м ³ /га	$n(IW)$	OR , м ³ /га	EF , м ³ /га	K_y	Y_ϕ , ц/га	H , м	k_n
ПШ	355	117	0,22	2937	3997	0,46	17,3	1,047	0,49
ПШ + ГР	545	227	0,28	2957	4027	0,49	18,4	1,036	0,51
ПШ + ГР + 1р	420	136	0,22	2944	4038	0,48	17,8	1,043	0,5
ЗШ	355	204	0,28	2934	4743	0,61	22,9	0,908	0,49
Зміна значень показників відносно ПШ, %									
ПШ + ГР	53,5	94,0	27,0	0,7	0,8	6,5	6,4	1,1	4,1
ПШ + ГР + 1	18,3	16,2	0,0	0,2	1,0	4,3	2,9	0,4	2,0

Примітка. WPh^0 – продуктивний запас води у розрахунковому шарі ґрунту, м³/га; WP – середньозважений продуктивний запас води у розрахунковому шарі ґрунту за вегетаційний період, м³/га; $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; OR – величина ефективних атмосферних опадів за вегетацію, м³/га; EF – величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, м³/га; K_y – коефіцієнт зниження врожаю культури; Y_ϕ – фактичний врожай, ц/га; H – середньозважений рівень ґрунтових вод, м; k_n – коефіцієнт екологічної надійності

4.5.16 Наведені дані засвідчують, що застосування удосконаленого суцільного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на фоні попереджувального шлюзування в розрахунковий сухий за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації на понад 90% збільшує акумулювання опадів впродовж періоду вегетації і підвищує вологозабезпеченість ґрунту за показником $n(IW)$ на 27%, при чому позитивний ефект частково зберігається через 1 рік післядії з достатньою екологічною надійністю.

4.5.17 За розглянутою сукупністю технологічних та екологічних показників така прогресивна технологія водорегулювання осушуваних земель (ПШ+ГР) за своєю ефективністю наближається до застосування зволожувального шлюзування (ЗШ, підґрунтове зволоження), але при цьому не потребує додатково витрат поливної води на зволоження ґрунтового масиву при менших матеріальних затратах.

4.5.18 Економічна ефективність. За традиційним загальноприйнятим методом термін окупності капіталовкладень і витрат у агро меліоративні заходи, пов'язані з реалізацією ГМР на осушуваних мінеральних ґрунтах, визначається за формулою

$$T = \frac{K}{ДЧД}, \quad (4.14)$$

де T – термін окупності капіталовкладень або поточних витрат на реалізацію глибокого розпушення, років; K – капіталовкладення або загальні поточні витрати, пов'язані з проведенням розпушення ґрунту, грн/га; $ДЧД$ – додатковий чистий дохід або умовно чистий прибуток від реалізації глибокого розпушення, грн/га.

4.5.19 Витрати, пов'язані з проведенням розпушення ґрунту, складаються з витрат на саме розпушення і витрат на збирання додаткової продукції рослинництва впродовж терміну дії розпушення

$$K = K_p + \sum B_d, \quad (4.15)$$

де K_p – витрати на проведення розпушення ґрунту, грн/га; B_d – витрати, пов'язані зі збиранням отриманої додаткової продукції (прибавка врожаю) від глибокого розпушення, грн/га.

4.5.20 Додатковий чистий дохід від проведення розпушення ґрунту визначається за формулою

$$ДЧД = \sum П_d - K, \quad (4.16)$$

де $П_d$ – додатковий прибуток за рахунок прибавки врожаю від реалізації розпушення ґрунту за рік його дії, грн/га.

4.5.21 Порівняльна ефективність застосування різних варіантів ГМР на осушуваних мінеральних ґрунтах за результатами польових експериментів наведені в табл. 4.17, табл. 4.18.

Таблиця 4.17

Порівняльна ефективність застосування ГМР на осушуваних мінеральних ґрунтах

№ п/п	Варіанти	Рік дії	Культура	Приріст врожаю,		Термін окупності, років
				ц/га	%	
1	2	3	4	5	6	7
1	щілинне розпушення	1	цукровий буряк	13,1	4,5	1
		2	озимі зернові	1,8	6,1	
		3	ярові зернові	1,4	5,3	
2	смугове розпушення	1	цукровий буряк	51,6	18,1	1
		2	озимі зернові	4,6	15,9	
		3	ярові зернові	2,5	9,4	
1	2	3	4	5	6	7
3	суцільне розпушення	1	цукровий буряк	93,25	32,3	1
		2	озимі зернові	6,5	22,3	
		3	ярові зернові	5,1	19,3	

Таблиця 4.18

Прогнозні значення основних економічних показників та ефективності досліджуваних варіантів глибокого розпушення, грн/га

№ з/п	Показник	Варіанти розпушення			
		без розпушення	щілинне	смугове	суцільне
1	залишкова балансова вартість системи	12000	12000	12000	12000
2	поточні витрати:	4528	4489	4193	4012
	- сільськогосподарські	4294	4196	3871	3602
	- експлуатаційні	234	293	322	410
	- амортизаційні	360	360	360	360
3	валова продукція	4798	5228	5909	6913
4	чистий дохід	270	739	1716	2901

4.5.22 Результати порівняльної економічної ефективності різних засобів та способів ГМР на осушуваних мінеральних ґрунтах по роках досліджень у польовому експерименті так і прогнозних їх значень свідчать, що всі розглянуті технології є рентабельними та економічно вигідними, оскільки термін їх окупності не перевищує один рік. При цьому застосування суцільного

розпушення, на відміну від щільного та смугового, дає змогу отримати найвищий рівень прибутку.

4.5.23 Інвестиційна ефективність. Інвестиційне оцінювання оптимального варіанту виконується за аналізом основних показників, що використовуються при розрахунку інвестиційної привабливості меліоративного проекту: індекс доходності інвестицій (*ІДІ*), чистий дисконтний дохід (*ЧДД*), внутрішня норма доходності (*ВНД*) та дисконтний термін окупності (*ДТО*) інвестицій.

При цьому, оптимальним варіантом проектного рішення буде той, для якого

$$ІДІ_0 = \max_{\{i\}} (ІДІ_i), i = \overline{1, n}, \quad (4.17)$$

за умови, що

$$\begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДТО_i \geq T_{np}. \end{cases} \quad (4.18)$$

де d_i – норма дисконту за варіантом проектного рішення; T_{np} – прийнятний для інвестора дисконтний термін окупності вкладів.

4.5.24 Узагальнені результати з визначення економічної ефективності інвестицій при реконструкції та модернізації дренажних систем з використанням різних технологій та засобів ГМР за відповідними методами і моделями, наведено в табл. 4.19.

Таблиця 4.19

Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Варіанти розпушення			
		без розпушення	щільне	смугове	суцільне
1	індекс прибутковості	0,59	1,03	1,95	3,06
2	чистий дисконтований прибуток, грн/га	– 4908	377	11369	24708
3	дисконтований термін окупності, років	–	27	9	5

4.5.25 Здійснені розрахунки з визначення порівняльної економічної ефективності та інвестиційного оцінювання різних варіантів ГМР осушуваних мінеральних ґрунтів підтверджують достатню доцільність їх застосування в проектах реконструкції та модернізації дренажних систем у зоні Західного Полісся України.

4.5.26 Всі розглянуті технології ГМР є рентабельними та економічно вигідними, при цьому найбільш ефективним є удосконалене суцільне глибоке розпушення, застосування якого є інвестиційно вигідним також при реалізації проектів нового будівництва та реконструкції осушувальних систем в означеній зоні.

4.5.27 Як свідчить практика та накопичений досвід використання ГМР меліорованого ґрунту в зоні осушення та зрошення, воно є рентабельним та економічно вигідним заходом, а термін його окупності не перевищує один рік.

4.5.28 Крім поточного додаткового ефекту застосування ГМР підвищує загальну проектну ефективність ДС, в тому числі при їх реконструкції.

4.5.29 Застосування удосконалених технологій та технічних засобів суцільного ГМР мінерального ґрунту є високотехнологічною інноваційною розробкою та відповідає сучасним принципам адаптивного землекористування, яке, на відміну від трансформаційного, передбачає максимальне пристосування агроеліоративних заходів до природно-кліматичних та ґрунтових умов, оптимальне залучення в обіг природно-ресурсного потенціалу ландшафтів, розширене відтворення та охорону меліорованих земель.

4.5.30 Узагальнені результати порівняльного оцінювання ефективності удосконалених технологій і технічних засобів суцільного глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом з традиційним щільним розпушенням ґрунту за

комплексом різномірних показників складових загальної ефективності відносно варіанту без розпушення ґрунту наведено у табл. 4.20.

Таблиця 4.20

Узагальнена порівняльна характеристика комплексу різномірних показників ефективності удосконаленої технології розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом з традиційним щільним щодо варіанту без розпушення ґрунту

№ з/п	Показники ефективності	Зміна значень показників ефективності при різних технологіях розпушення ґрунту щодо варіанту без розпушення, %		Зміна значень показників ефективності при удосконаленій технології розпушення ґрунту щодо традиційного щільного, %
		традиційне щільне розпушення	удосконалене суцільне глибоке меліоративне розпушення	
агротехнологічні				
1	шпаруватість ґрунту, %	+9...+10	+29...+32	+19...+23
2	акумулююча ємність ґрунту, %	+51...+54	+165...+175	+111...+124
3	продуктивність вирощуваних культур, %	+7...+13	+33...+65	+20...+58
4	термін післядії розпушення, роки	1...3*	3...4*	+100...+300
енергетичні				
5	питомі затрати енергії на розпушення 1 м ³ ґрунту, Дж/м ³	7,5...8,2*	0,8...0,9*	-88...-90
вологорегулюючі				
6	зміна величини інфільтрації на осушуваних землях та її вплив на навантаження роботи дренажа, %	+9...+18	-21...-22	-30...-40
7	тривалість відведення надлишкової води дренажем у критичних умовах перезволоження осушуваного ґрунту, %	+8...-6	-5...-35	-13...-29
8	зміна величини живлення активного кореневмісного шару меліорованого ґрунту з рівня ґрунтових вод, %	+5...+15	-15...-36	-20...-51
9	зміна продуктивних запасів вологи в меліорованому ґрунті за рахунок підвищення ефективності використання опадів та поливної води, %	+27...+42	+86...+134	+44...+107
екологічні				
10	інтенсивність промивного водного режиму на осушуваних землях, %	+9...+18	-21...-22	-30...-40
11	ризик відновлення та розвитку процесу вторинного засолення на зрошуваних землях, %	+5...+15	-15...-36	-20...-51
економічні				
12	термін окупності поточних витрат на розпушення ґрунту в умовах діючої меліоративної системи, роки	1*	1*	-
інвестиційні				
13	дисконтований термін окупності інвестицій у проєкт нового будівництва/реконструкції меліоративної системи із застосуванням розпушення ґрунту, роки	24...27*	5...7*	-71...-81

Примітка: 1. Для групи показників 1, 2, 3, 4, 9: (+)/(-) – підвищення/зниження ефективності розпушення ґрунту. Для групи показників 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13 навпаки: (+)/(-) – зниження/підвищення ефективності розпушення ґрунту. 2.* – фактичні значення показників ефективності розпушення ґрунту. 3. Інтервал варіювання значень відображає множинні змінні природо-агро-меліоративні умови реальних об'єктів.

4.5.31 Результати порівняльного оцінювання свідчать про суттєву перевагу удосконаленого суцільного глибокого меліоративного розпушення за усім розглянутим спектром видів та показників ефективності, яке забезпечує підвищення як енергоефективності

реалізації процесу розпушення ґрунту, так і підвищення ефективності використання розпушених мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом.

4.5.32 Таким чином, за результатами виконаних експериментальних досліджень встановлено, що підвищення ефективності агро меліоративних заходів на основі удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення відповідно до змінюваних сучасних умов та вимог на енергоефективних та вологорегуючих принципах є ефективним адаптивним заходом щодо підвищення ефективності використання мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Підвищення ресурсного потенціалу Українського Полісся : монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН В. А. Сташука, д.с.-г.н., проф. В. С. Мошинського, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського, д.т.н., проф. П. П. Волка [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2024. 792 с. р. ISBN: 978-966-327-597-0
2. Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах : науково-методичні рекомендації / за заг. редакцією Сташука В. А., Рокочинського А. М., Волка П. П. Рівне : НУВГП, 2021. 114 с.
3. Науково-методичні рекомендації до застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України / В.С. Гавриш, В.Ф. Ткачук, С.В. Кравець, А.М. Рокочинський, П.І. Мендусь, П.П. Волк та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 46 с.
4. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами / А.М. Рокочинський, А.В. Черенков, В.Г. Муранов, О.Ю. Тимейчук, П.І. Мендусь, П.П. Волк та ін. Рівне : НУВГП, 2013. 34 с.
5. Лук'янчук О.П., Косяк О.В. Результати експериментальних досліджень багаторурсного робочого органа укладача підземних комунікацій Вісник НУВГП, 3б. наук. праць. Вип. 2 (70). Рівне: НУВГП, 2015. С. 325–330.
6. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / за заг. редакцією Сташука В.А., Вожегової Р.А., Дудченка В.В., Рокочинського А.М., Морозова В.В.). Вид. 2-ге, перероб. та доповн. [Електронне видання]. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2020. 203 с.
7. Поляков В.Л. Визначення параметрів режиму роботи дренажу при регулюванні рівня підґрунтових вод. Меліорація і водне господарство. 1994. Вип. 81. С. 73–78.
8. Робочий орган вологоакумулюючого глибокорозпушувача : пат. № 123601 Україна: МПК E02F 5/32, A01B 13/16, 13/08; заявл. 23.11.2017; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4. С. 4.
9. Розпушувач ґрунту : пат. № 116000 Україна: МПК E02B 13/00; заявл. 22.08.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. С. 2.
10. Ромащенко М.І., Рокочинський А.М., Галік О.І., Савчук Т.В., Колодич О.Д. Сучасні зміни клімату та їх прояви від глобального до регіонального проявів. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Зб. наук. праць*. Рівне, 2007. Вип. 32. С. 65–79.
11. Ромащенко М., Гусев Ю., Шатковський А., Сайдак Р., Яцюк М., Шевченко А. та Матіаш Т. Вплив зміни клімату на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація та управління водними ресурсами*. 2020. (1). 5–22. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>.
12. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, Н.А. Фроленкова та ін. Рівне, 2013. 43 с.
13. Тимчасові рекомендації з прогностичної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова, О. Ю. Тимейчук, В. М. Бежук, та ін. Рівне, 2011. 54 с.
14. Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Рижий О.П. Агромеліоративні багаторурсні глибокорозпушувачі: Монографія. Рівне, 2011. 190 с.
15. Фроленкова Н.А., Кожушко Л.Ф., Рокочинський А.М. Еколого-економічне оцінювання в управлінні меліоративними проектами: Монографія. Рівне: НУВГП, 2007. 257 с.
16. Lukyanchuk O.P., Turcheniuk V.O., Prykhodko N.V., Volk P.P., Rokochinskiy A.N. Necessity and possible approaches to applying deep loosening when cultivating rice. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 57, No.1/ 2019. Pages: 199–207. Режим доступу: <http://repository.vsau.org/getfile.php/20340.pdf>