

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

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



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## **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.*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Рівне – 2021

**Загальна редакція:**

**В.А. Сташук – доктор технічних наук, професор, академік НААН України;**

**А.М. Рокочинський – доктор технічних наук, професор;**

**П.П. Волк – кандидат технічних наук, доцент, докторант.**

**РОЗРОБНИКИ:**

**Національний університет водного господарства та природокористування МОН України** (Рокочинський А.М., д.т.н.; Турченко В.О., д.т.н.; Волк П.П., к.т.н.; Коптюк Р.М., к.т.н.; Лук'янчук О.П., к.т.н.; Волк Л.Р., к.т.н.; Тимейчук О.Ю., к.т.н.; Фроленкова Н.А., к.е.н.; Приходько Н.В., к.т.н.; Пінчук О.Л., к.т.н.; Токар Л.О., к.т.н.; Зубик Я.Я.; Косинська І. Е., м.н.с.; Гапонюк М.М., м.н.с., аспірант);

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка МОН України** (Шевченко О.Л., д.геол.н.);

**Національний університет біоресурсів і природокористування МОН України** (Тихенко Р.В., к.е.н.; Тихенко О.В., к.с-г.н.; Опенько І.А., д.е.н.);

**Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України** (Дерев'ягіна Н. І., к.т.н.);

**Рівненська філія ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «ДІПРОМІСТО» імені Ю.М. Білоконя** (Семенченко Р.І., Марценюк К.С.).

*Рекомендовано науково-технічною радою Національного університету водного господарства та природокористування.*

*Протокол № 142 від 23 квітня 2021 р.*

*Рекомендовано технічною радою ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «ДІПРОМІСТО» Імені Ю.М. Білоконя.*

*Протокол № 1 від 05 червня 2021 року.*

**НЗ4** Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах / за заг. редакцією Сташука В. А., Рокочинського А. М., Волка П. П. – Рівне : НУВГП, 2021. – 113 с.

**ISBN 978-966-327-509-3**

Дані рекомендації підготовлені науковцями й співробітниками Національного університету водного господарства та природокористування разом з провідними фахівцями будівельної та водогосподарсько-меліоративної галузі на підставі узагальнення існуючої практики, виробничого досвіду й досягнень сучасної меліоративної науки, в тому числі за результатами виконання проектів (науково-технічних та експериментальних розробок), що фінансуються за рахунок загального фонду державного бюджету по лінії МОН України, які пройшли міжнародну апробацію та відображені в наукометричних базах даних Scopus, Web of Science Core Collection та ін.

Призначені для підвищення загальної технічної, технологічної та еколого-економічної ефективності при створенні та функціонуванні дренажних систем у змінних сучасних умовах на основі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних рішень у проектах їх будівництва, реконструкції й модернізації.

**УДК 351.792:591.54**

**ISBN 978-966-327-509-3**

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2021

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП .....	6
1. НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У ЗМІННИХ СУЧАСНИХ УМОВАХ .....	8
1.1. Вихідні передумови .....	8
1.2. Зміни клімату та їх вплив на ефективність функціонування дренажних систем .....	10
1.3. Шляхи підвищення адаптаційного потенціалу осушуваних земель у змінних кліматичних умовах .....	11
2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ.....	14
2.1. Вихідні передумови .....	14
2.2. Принципи побудови загальних моделей системної оптимізації .....	16
2.3. Принципи реалізації загальних моделей системної оптимізації .....	20
2.4. Загальні критерії, умови та моделі економічної та екологічної оптимізації проектів дренажних систем.....	23
3. МОДУЛІ ДРЕНАЖНОГО СТОКУ Й ВОДОПОДАЧІ ТА ЇХ ПАРАМЕТРИ ЯК ВИЗНАЧАЛЬНІ ЧИННИКИ ТА ГОЛОВНА УМОВА РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ .....	28
3.1. Вихідні передумови .....	28
3.2. Модуль дренажного стоку як визначальний показник при обґрунтуванні параметрів дренажних систем та їх елементів .....	30
3.3. Формування модулів дренажного стоку та їх параметрів у змінних кліматичних та агроеліоративних умовах .....	31
3.4. Обґрунтування розрахункових параметрів модуля дренажного стоку.....	34
3.5. Модуль водоподачі як визначальний показник при обґрунтуванні параметрів осушувальних-зволожувальних систем та їх елементів.....	37
3.6. Формування модулів водоподачі та їх параметрів при зволоженні осушуваних земель у змінних кліматичних та агроеліоративних умовах.....	38
3.7. Обґрунтування розрахункових параметрів модуля водоподачі .....	41
4. ГЛИБОКЕ РОЗПУЩЕННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ ЯК АДАПТИВНИЙ АГРОМЕЛІОРАТИВНИЙ ЗАХІД З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ .....	43
4.1. Вихідні передумови .....	43
4.2. Технічні засоби та технології проведення глибокого розпушення ґрунту.....	44
4.3. Необхідність та шляхи удосконалення глибокого розпушення ґрунту.....	47
4.4. Технологічна ефективність інноваційних технологій та засобів глибокого розпушення ґрунту.....	51
4.5. Вплив глибокого розпушення ґрунту на ефективність роботи дренажу.....	54
5. СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ РІЗНИХ ТИПІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ, ВРАХУВАННЯ ПЕВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ .....	57
5.1. Вихідні передумови .....	57
5.2. Системна оптимізація конструкції та параметрів самотічних дренажних систем .....	58
5.3. Системна оптимізація конструкції та параметрів польдерних систем .....	59

5.4. Врахування рельєфу осушуваних земель при розробці проектів дренажних систем .....	59
5.5. Удосконалення розрахунку параметрів дренажу з урахуванням глибокого розпушення ґрунту .....	63
5.6. Розрахунок спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах .....	67
5.7. Фільтраційний розрахунок осушувальної та зволожувальної дії параметрів дренажу осушуваних ґрунтів .....	70
5.8. Необхідність та шляхи подальшого удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем щодо сучасних умов та вимог .....	71
<b>6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ .....</b>	<b>74</b>
6.1. Вихідні передумови .....	74
6.2. Удосконалення методів оцінювання варіантів проектних рішень при створенні та функціонуванні дренажних систем .....	76
6.3. Удосконалення технології проектування дренажних систем на основі системної оптимізації .....	80
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>83</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>86</b>
Додаток А Регулююча та гідроакумуюча дренажна система .....	87
Додаток Б Результати визначення впливовості мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу .....	88
Б.1. Вплив мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу при роботі самотічної дренажної системи в режимі осушення .....	88
Б.2. Вплив мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу при роботі дренажної системи в режимі підґрунтового зволоження .....	90
Додаток В Приклади реалізації системної оптимізації щодо конструкцій та параметрів різних типів дренажних систем .....	92
В.1. Приклад реалізації системної оптимізації щодо конструкції та параметрів самотічних дренажних систем .....	92
В.2. Приклад реалізації системної оптимізації щодо конструкції та параметрів польдерних дренажних систем .....	97
В.3. Оцінювання меліоративної ефективності рельєфу осушуваних земель при розробці проектів дренажних систем .....	100
Додаток Г Приклади порівняльного оцінювання еколого-економічної та інвестиційної ефективності проектних рішень, різних технологій розробки проектів дренажних систем .....	102
Г.1. Приклади попереднього порівняльного оцінювання економічної ефективності проектних рішень .....	102
Г.2. Приклад попереднього порівняльного оцінювання екологічної ефективності проектних рішень .....	107
Г.3. Приклади порівняльного оцінювання інвестиційної ефективності проектних рішень .....	108
Г.4. Приклади порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів дренажних систем .....	110



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВБ – водний баланс;  
ГМС – гідромеліоративна система;  
ГТС – гідротехнічна споруда;  
ДС – дренажна система;  
ПДС – польдерна дренажна система;  
ОС – осушувальна система;  
ВМС – водогосподарська-меліоративна система;  
ЕММ – економіко-математична модель;  
МС – меліоративна система;  
СДС – самотічна дренажна система;  
НТД – нормативно-технічний документ;  
НУВГП – Національний університет водного господарства та природокористування;  
ПМР – природно-меліоративний режим;  
ПТС – природно-технічна система;  
МП – меліоративний проект;  
ПР – проектне рішення;  
РГВ – рівень ґрунтових вод;  
РШГ – розрахунковий шар ґрунту;  
САПР – система автоматизованого програмування;  
ССВ – система сільськогосподарського виробництва;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;  
ТЕП – техніко-економічні показники;  
ТТР – технічне, технологічне рішення;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
СПТЕЕС – складна природно-технічна еколого-економічна система;  
ТЕР – техніко-економічний розрахунок;  
ЧДД – чистий дисконтований дохід;  
ІДІ – індексу доходності інвестицій;  
ВНД – внутрішня норма доходності інвестицій;  
ДТО – дисконтований термін окупності.



університет  
водного господарства  
та природокористування

## ВСТУП

Реалізація та розвиток меліорацій традиційно пов'язані зі значними капіталовкладеннями, дуже відчутними для економіки будь-якої країни, але отриманий ефект при цьому складає в кращому випадку 60...70% від проектного. Крім того, разом з необхідністю підвищення економічної ефективності меліорацій взагалі та осушувальних зокрема у сучасних ринкових умовах, сьогодні надзвичайно гостро стоїть проблема обґрунтованості меліоративних заходів за екологічними вимогами.

Більшість існуючих дренажних систем України були побудовані до 90-х років минулого століття, виробили свій ресурс, в наслідок чого погіршився їх технічний стан. Це не забезпечує проектні технічні й режимно-технологічні параметри їх функціонування, погіршився еколого-меліоративний стан та знизилась продуктивність сільськогосподарських земель на 25...50% проти проектної.

Сучасні зміни кліматичних умов, зокрема зміна кількості та інтенсивності ґрунтового зволоження за рахунок зміни режиму атмосферних опадів й істотного підвищення температури, визначають необхідність забезпечення максимальної продуктивності меліорованих сільськогосподарських земель на основі зміни підходів до їх використання.

Таким чином, виклики сучасності щодо енергетичної, продовольчої, водної та екологічної безпеки, а також зміни клімату, визначають за необхідне розробку й реалізацію відповідних адаптивних заходів у зоні осушувальних меліорацій щодо удосконалення технологій водорегулювання, відповідно їх типу, конструкції та параметрів дренажних систем з урахуванням змінних сучасних умов.

Розв'язання таких складних міждисциплінарних, багатофункціональних і багатопараметричних проблем можливе тільки завдяки зміні методології створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, в тому числі і дренажних систем в зоні достатнього та нестійкого зволоження України, з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта. Зміна умов визначає за необхідне зміну вимог й, відповідно, зміну підходів до їх створення й функціонування на основі оцінювання їх загальної технічної, технологічної та еколого-економічної ефективності.

Рекомендації розроблено відповідно до основних завдань:

- Імплементатії Рамкової Водної Директиви 2000/60/ЄС в Україні;
- Водної стратегії України на період до 2025 року;
- Закону України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року»;
- Указу Президента України про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 вересня 2020 року «Про Стратегію національної безпеки України».
- «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», де одними з головних напрямків досліджень є розробка правових актів з ефективного ведення сільськогосподарського виробництва на меліорованих землях, всеохоплююча реконструкція і удосконалення існуючих дренажних систем, приведення до оптимального співвідношення зрошення і осушення з іншими меліоративними заходами, застосування прогресивних екологічно безпечних технологій і режимів зрошення, типів і конструкцій дренажних систем.

Дані рекомендації спираються на такі галузеві нормативи:

1. ДБН В.2.4-1-99. Меліоративні системи та споруди. – К., 1999. – 174 с.
2. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А.М. Рокочинський, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, Н.А. Фроленкова та ін. – Рівне, 2010. – 52 с.
3. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах

будівництва й реконструкції осушувальних систем / А.М. Рокочинський, О.І. Галік, В.А. Сташук, Н.А. Фроленкова, В.А. Волощук та ін. – Рівне, 2008. – 64 с.

4. Посібник до ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» (Розділ 3. Осушувальні системи). Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем / А.М. Рокочинський, С.В. Шалай, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк та ін. – Рівне, 2006. – 50 с.

5. Тимчасові рекомендації з прогнозування 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 та ін. – Рівне, 2011. – 54 с.

6. Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проектів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А.М. Рокочинський, В.І. Павлов, В.А. Сташук, В.Д. Дупляк, Н.А. Фроленкова та ін. – Рівне, 2013. – 43 с.

7. 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, 2013. – 34 с.

8. 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, 2013. – 46 с.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

# 1. НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У ЗМІННИХ СУЧАСНИХ УМОВАХ

## 1.1. Вихідні передумови

**1.1.1.** Спрямованість і ступінь впливу на природний водний режим при меліорації надмірно зволених земель повинні відповідати вирішенню головного завдання – створенню за рахунок реалізації гідромеліоративних заходів сприятливого режиму зволоженості активного кореневмісного шару ґрунту з дотриманням екологічних вимог. При регулюванні водного режиму осушуваних земель мають місце, головним чином, два часто відокремлених або періодично змінюваних процеси – осушення та зволоження, за якими застосовуються взаємозв'язані, але водночас і самостійні принципи та прийоми проектування дренажних систем (ДС) за відповідними технічними рішеннями.

**1.1.2.** Для отримання найбільшої віддачі від осушуваних земель на всіх стадіях проектування та експлуатації ДС необхідно якомога більше враховувати місцеві умови. Для цього необхідні дані з регулювання водного режиму різних типів ґрунтів з урахуванням конкретних кліматичних, гідрологічних, гідрогеологічних та інших умов.

**1.1.3.** При меліорації перезволених земель періоди весняних повеней або дощових паводків є найбільш небезпечними при освоєнні цих земель для використання їх у сільськогосподарському виробництві і гідродинамічні методи розрахунку руху ґрунтових вод достатньо характеризують режим гранично допустимого зволоження сільськогосподарських меліорованих полів у ці хоча й дуже відповідальні, але порівняно короткі періоди проходження повеней і паводків.

**1.1.4.** За інший, значно триваліший в часі теплий період вегетації вирощуваних культур на осушуваних землях зволоженість ґрунту визначається значно складнішим комплексом факторів, які вміщують метеорологічні, агротехнічні, ґрунтово-меліоративні й інші місцеві та технологічні умови формування водного режиму.

**1.1.5.** Через значну стохастичну мінливість гідрометеорологічних елементів у внутрішньовеgetаційному і багаторічному перерізі на осушуваних землях періоди перезволоженості чергуються з періодами нестачі ґрунтової вологи, тому для встановлення режиму зволоженості, як основи обґрунтування технічних і технологічних рішень з водорегулювання, потрібен детальний аналіз та проектування (шляхом прогнозування) водного режиму впродовж періоду вегетації.

**1.1.6.** Застосування такого підходу потребує відповідного всебічного аналізу абсолютно різнорідних за своєю природою режимних, технологічних та технічних аспектів водорегулювання осушуваних земель у їх взаємозв'язку, схематизації та параметризації природно-меліоративних умов їх реалізації через переважаючий стохастичний характер формування.

**1.1.7.** Загально визнано, що водний режим верхнього активного шару ґрунту осушуваних земель, нарівні з кліматичними факторами (динамікою і співвідношенням між опадами та сумарним випаровуванням), визначається також способом його регулювання. В умовах виникнення періодичних дефіцитів вологи у кореневмісному шарі ґрунту в посушливі періоди вегетації, що негативно впливає на розвиток і врожай вирощуваних культур, необхідно передбачати можливість штучного зволоження осушуваних земель. Тому в історії розвитку і практиці осушувальних меліорацій поряд з осушенням ґрунтів традиційно розглядалось їх зволоження різними способами за відповідними можливими умовами їх застосування.

**1.1.8.** Впродовж останніх декількох десятиріч, у зв'язку з удосконаленням конструкцій ДС на осушуваних землях і підвищенням вимог сільськогосподарського виробництва до водного режиму ґрунтів, для зволоження осушуваних земель, нарівні з традиційними – попереджувальним та зволожувальним шлюзуванням тривалим підпором рівнів води, почали інтенсивно застосовувати зрошення дощуванням, з'явилися роботи щодо застосування циклічного режиму підґрунтового зволоження за рахунок періодичного підйому і зниження рівня ґрунтових вод (РГВ). Загально прийнято, що на вибір способу водорегулювання

визначальний вплив мають: природно-кліматичні, рельєфні й ґрунтово-меліоративні умови; види і структура посівів сільськогосподарських культур; тип, конструкція ДС та її водозабезпеченість тощо.

**1.1.9.** На підставі узагальнення теорії й практики створення та функціонування ДС довідкових і нормативних джерел наявні способи водорегулювання осушуваних земель за принципом їхньої дії, впливу на режим вологи ґрунту й РГВ, представлені у вигляді:

- *осушення*;
- *попереджувальне шлюзування*;
- *неперервне зволожувальне шлюзування тривалим підпором рівнів води*;
- *періодичне (циклічне) зволожувальне шлюзування*;
- *зрошення дощуванням на фоні осушення*;
- *зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування*.

**1.1.10.** За результатами практичної реалізації та досліджень способів водорегулювання осушуваних земель були розроблені й рекомендовані виробництву необхідні елементи техніки й режиму зволоження, методики їх розрахунку, а також технології водорегулювання при попереджувальному і зволожувальному шлюзуванні, застосуванні зрошення дощуванням на осушуваних землях.

**1.1.11.** Накопичений досвід й оцінка ефективності проведення зволожувальних заходів на осушуваних землях показують, що для підтримання сприятливого водного режиму у посушливі періоди вегетації, перевагу слід було б надавати зрошенню дощуванням і, де це можливо, зволожувальному шлюзуванню. При цьому, більш ефективними є зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування і циклічний режим зволожувального шлюзування. Однак, з точки зору реалізації розглянутих способів у виробничих умовах, найбільш простими та практичними для використання виявились робота ДС в режимі осушення і попереджувального шлюзування. Серед способів зі зволоженням технологічно простим є неперервне зволожувальне шлюзування тривалим підпором рівнів води в регулюючій і провідній мережі системи. Крім того, при реалізації різних режимів шлюзування дуже ефективним виявилось застосування засобів гідроавтоматики для управління рівневим режимом на системі.

**1.1.12.** Вибір та призначення способів (технологій водорегулювання осушуваних земель) залежно від природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта визначально впливають, у свою чергу, на вибір відповідної конструкції ДС, що застосовується для таких цілей. Як показують практика і набутий досвід, на осушуваних землях необхідно проектувати й будувати більш досконалі системи з подвійним регулюванням водного режиму, які дозволяють оперативно відводити надлишок вологи у весняний період і подавати воду на зволоження у відповідній кількості в посушливі періоди вегетації і, тим самим, забезпечують отримання проектного рівня врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур, з одного боку, та екологічну стійкість меліорованих ґрунтів і територій – з іншого. Це стає надзвичайно актуальним в умовах зміни клімату.

**1.1.13.** Отже, технології (або способи) водорегулювання визначають необхідні конструктивні рішення щодо характеру регулюючої та провідної мережі, гідротехнічних споруд тощо й, тим самим, тип і конструкцію ДС на осушуваних землях.

Відповідно до цього вони поділяються на:

- *осушувальні* однієї дії;
- *осушувальні з попереджувальним шлюзуванням* як проміжного типу;
- *осушувально-зволожувальні (ОЗС)* з підґрунтовим зволоженням і *осушувально-зрошувальні (ОЗрС)* зі зрошенням дощуванням як системи двобічної дії;
- *комбіновані*, коли при проектуванні систем проміжного типу та двобічної дії часто необхідно сполучати різні способи водорегулювання в межах однієї системи через наявність істотних відмінностей у ґрунтових і рельєфних умовах.

**1.1.14.** 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.

**1.1.15.** 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.

**1.1.16.** 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.

**1.1.17.** 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 (див. дод. А).

## **1.2. Зміни клімату та їх вплив на ефективність функціонування дренажних систем**

**1.2.1.** Факт глобальних кліматичних змін на сьогодні визнаний світовою спільнотою і не викликає сумнівів. Проблема глобального потепління виникла ще наприкінці минулого століття, і згодом, у зв'язку з все більш відчутним її негативним впливом, актуальність тільки зростає. З метою оцінювання стану глобального потепління і пов'язаних з ним ризиків Всесвітньою метеорологічною організацією і Програмою ООН з навколишнього середовища була створена Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК, англ. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Була прийнята та відкрита для підписання Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, що доповнена Кіотським протоколом.

**1.2.2.** 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), зокрема у зоні Західного Полісся, крім температури повітря, вже знаходяться в межах їх сучасних коливань і навіть перевищують по окремих позиціях, що свідчить про стійку тенденцію зміни кліматичних умов у даному регіоні. При цьому, для випаровування, як похідної складової сумарного випаровування, зміна даного показника для сучасних умов щодо ретроспективних є незначною (збільшення на 5,44%), а для прогнозованих досить істотною – 27,2%.

**1.2.3.** 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 осушуваних земель. Отримані результати переконливо свідчать про те, що вже наявні сучасні та очікувані прогнозовані зміни клімату, пов'язані, перш за все, з підвищенням температурного режиму і зниженням вологозабезпеченості території, в цілому погіршують

умови і можуть призвести до зниження врожайності вирощуваних традиційних районуваних сортів і видів сільськогосподарських культур на осушуваних землях в середньому від 15 до 60%. При цьому, слід зазначити, що такий рівень зниження врожайності, і навіть нижче, має місце в останні роки і спостерігається при прояві аномальних погодних явищ, порівняно з ретроспективним періодом, при вирощуванні сільськогосподарських культур на осушуваних землях без додаткового зволоження в реальних виробничих умовах.

**1.2.4.** Отримані результати щодо визначення сумарного випаровування, водопотреби і технологічної ефективності зволоження осушуваних земель у змінних природно-кліматичних і меліоративних умовах Західного Полісся України свідчать про можливе збільшення водопотреби вирощуваних культур у 1,5–2,0 рази. Це визначає необхідність переоцінки функціональних можливостей і технічного стану існуючих ДС щодо необхідності переходу до проведення зволоження осушуваних земель на постійній основі.

**1.2.5.** Таким чином, при існуючих темпах і рівнях змін погодно-кліматичних умов слід очікувати погіршення природно-меліоративних умов загалом як в зоні Полісся, так і України в цілому. Це неминує відіб'ється на функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів і комплексів у результаті відповідних змін еколого-економічного ресурсу, що визначає необхідність розробки адаптивних режимно-технологічних і технічних заходів з управління цими об'єктами на підставі відповідних досліджень, комплексних наукових галузевих, державних і міждержавних програм.

### 1.3. Шляхи підвищення адаптаційного потенціалу осушуваних земель 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 і фахівців, розглянуто загальні рекомендації з розробки адаптивних експлуатаційних, будівельних і проектних заходів, що мають власні чіткі цілі і тісно взаємопов'язані між собою.

**1.3.2.** Однією з найважливіших складових виконання провідної ролі у процесі адаптації є чітке розуміння того, для чого її проводять, і які заходи з адаптації можна впроваджувати. Як базові, розглянуті різні заходи для вирішення різних аспектів адаптації (рис. 1.1).

Заходи, спрямовані на формування адаптаційного потенціалу	Заходи, спрямовані на зниження ризику і ступеня чутливості	Заходи, спрямовані на підвищення потенціалу для подолання наслідків надзвичайних подій	Заходи, спрямовані на отримання вигоди від зміни кліматичних умов
Сприяють на державному і громадському рівнях усвідомленню процесу зміни клімату, його наслідків і можливостей реагувати на них. <b>приклади:</b> дослідження впливу кліматичних змін, плани дій у разі стихійного лиха та ін.	Підготовчі заходи, спрямовані на підвищення ступеня стійкості і захисту від коротко-термінових, середньо-термінових і довготермінових змін клімату. <b>приклади:</b> системи раннього оповіщення, нові сорти сільськогосподарських культур та ін.	Заходи під час та після надзвичайних подій (повеней, пожеж, ураганів) для зменшення їх наслідків та приборкання стихійних лих. <b>приклади:</b> місця для охолодження під час сильної спеки, спеціальний фонд на випадок надзвичайних ситуацій, спеціальні бригади для розчищення доріг та ін.	Заходи, спрямовані на отримання вигоди від зміни клімату; для когось зміна клімату є вигідна. <b>приклади:</b> вигода від більш тривалих сезонів вирощування нових видів сільсько-господарських культур.

Рис. 1.1. Загальна характеристика заходів щодо адаптації

**1.3.3.** 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 ІРПС (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.

**1.3.4.** Для ефективного протистояння сучасним викликам енергетичної, продовольчої та водної криз, які посилюються внаслідок наявних змін клімату, виникає об'єктивна необхідність у розробці та реалізації адаптивних заходів для аграрного виробництва на землях із регульованим водним режимом, у тому числі і на осушуваних, у змінних кліматичних умовах.

**1.3.5.** В аграрному виробництві меліорації традиційно відіграють провідну роль у забезпеченні його сталого розвитку у несприятливих кліматичних умовах. З урахуванням прогнозованих змін клімату надзвичайно важливу роль в адаптації до нього сільського господарства і, в першу чергу, рослинництва, відіграють водні, гідротехнічні, агротехнічні та інші види меліорацій. У зв'язку з цим, для ефективного протистояння сучасним викликам енергетичної, продовольчої та водної криз, які посилюються внаслідок наявних змін клімату, виникає об'єктивна необхідність у розробці та реалізації адаптивних заходів для аграрного виробництва на землях із регульованим водним режимом, у тому числі і на осушуваних, у змінних кліматичних умовах

**1.3.6.** Що ж стосується адаптивних заходів для меліорованих сільськогосподарських угідь, то для їх розробки необхідно виконати значно більші, порівняно з мінімально необхідними, комплексні дослідження. У числі інших найбільш важливіших досліджень з адаптації аграрного виробництва до змін клімату в цілому, дослідження для зони осушувальних меліорацій, перш за все, 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.

**1.3.7.** Тому надзвичайно актуальним стає питання щодо зміни підходів і розробці 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, типів й конструкцій ДС і їх технічних елементів, методів їх проектування та розрахунку тощо (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Загальні рекомендації за основними видами адаптивних заходів на осушуваних землях у змінних кліматичних умовах

Організаційно-господарські заходи	Агротехнічні заходи	Агро-меліоративні заходи	Гідротехнічні заходи	
			проектні	будівельні
	експлуатаційні			
Створення організаційно-консультаційних центрів для підвищення обізнаності громадськості та користувачів земельних ресурсів.	Зміни в сортах і введення сільськогосподарських культур, стійких до біотичних і абіотичних загроз, пов'язаних зі зміною клімату (насамперед температурного і водного режимів); вирощування гібридних культур; використання сільськогосподарських культур більш пізнього дозрівання.	Удосконалення технологій та засобів обробітку осушуваних ґрунтів, спрямованих на поліпшення їх водно-фізичних властивостей і акумулюючої здатності на підставі подальшого удосконалення технологій і засобів глибокого розпушення ґрунтів, що дасть змогу ефективно акумулювати вологу в ґрунтовому профілі і на осушуваних масиві в цілому.	Удосконалення технологій та режимів водорегулювання на осушуваних землях, переведення їх на регулярне зволоження, зарегулювання і акумуляція води в межах системи; удосконалення типів і конструкцій ГМС на осушуваних землях; удосконалення методів проектування і розрахунку ДС на основі застосування оптимізаційних методів з дотриманням сучасних економічних і екологічних вимог, широке використання інформаційних та комп'ютерних технологій.	Нове будівництво, реконструкція й модернізація існуючих дренажних систем для ефективного протистояння викликам, які пов'язані з сучасними та прогнозованими змінами клімату.

**1.3.8.** Комплекс адаптивних організаційно-господарських, агротехнічних, агромеліоративних та гідротехнічних заходів дасть змогу мінімізувати негативний вплив змін клімату на ґрунтові процеси та режими, умови вирощування та продуктивність вирощуваних сільськогосподарських культур на осушуваних землях, зокрема шляхом впровадження ресурсозберігаючих технологій з урахуванням сучасних економічних й екологічних вимог.

**1.3.9.** Змістом даних рекомендацій є розгляд науково-методичних підходів щодо удосконалення та впровадження агромеліоративних й гідротехнічних адаптивних заходів при створенні та функціонуванні ДС у змінних кліматичних умовах.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ

### 2.1. Вихідні передумови

**2.1.1.** При проектуванні та експлуатації ДС на всіх стадіях прийняття рішень у часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління об'єктом), надзвичайно важливо правильно (об'єктивно) визначити параметри системи та її складових технічних елементів (регулюючої мережі, провідної мережі, регулюючих гідротехнічних споруд, насосних станцій тощо). Саме вони значною мірою зумовлюють вартість системи, її економічну та екологічну ефективність. У свою чергу, це дасть змогу підвищити вимоги до якості оцінювання, прогнозування й оптимізації управління водним і загальним природно-меліоративним режимами осушуваних земель, як обов'язкової умови розв'язання означеної проблеми.

**2.1.2.** Традиційним шляхом призначення управління та вибору рішень взагалі є оптимізаційний підхід. Він передбачає чітку (кількісно виражену у скалярному вигляді) формалізацію задачі управління, розробку моделей процесів, що протікають в об'єкті, і моделей впливу на об'єкт. Тому оптимізаційний метод разом з системним підходом та системним аналізом за структурою його побудови й реалізації були визнані й прийняті як найбільш перспективний напрям щодо подальшого розвитку та удосконалення методології створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на еколого-економічних засадах у сучасних змінних умовах.

**2.1.3.** Практичне застосування оптимізаційного підходу для визначення параметрів меліоративних систем (МС) і раціональних схем використання водних ресурсів при розробці методів прийняття й обґрунтування технічних розв'язань в проектах будівництва й реконструкції водогосподарських і меліоративних об'єктів, що досить інтенсивно розроблялись в 70-80-ті роки минулого століття, мало місце як для зони зрошувальних меліорацій, так і зони осушення перезволожених земель. Він також успішно застосовувався для спроб розв'язування низки окремих задач з управління меліоративними (оптимальний режим зрошення вирощуваних сільськогосподарських культур) та агротехнічними заходами (оптимальні структури посівів, дози внесення добрив й ін.).

**2.1.4.** Для визначення параметрів МС та режимів їх роботи найбільш перспективним був прийнятий економіко-математичний метод, що поєднує в собі переваги традиційних гідромеханічного та емпіричного методів і ґрунтується на реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків.

**2.1.5.** Розроблені на той момент часу методи і моделі оптимізації розглядались та використовувались, переважно, для обґрунтування локальних одиничних рішень щодо окремих елементів системи або технологій водорегулювання, зокрема оптимальних параметрів магістрального каналу, гідротехнічних споруд, дренажу тощо.

**2.1.6.** При цьому виявилось, що в сучасних умовах переходу на ринкові відносини в країні даний метод, як спрощений оптимізаційний, у тому вигляді як він був реалізований, розглядав тільки економічну складову оптимізації і не враховував екологічну ефективність при визначенні оптимальних технічних й технологічних рішень та їх параметрів, що не відповідає сучасним вимогам.

А саме:

- незабезпеченості порівняння варіантів проектних рішень (ПР) за обсягом та якістю отриманої сільськогосподарської продукції;
- умовності та відповідної відносності реалізації даного методу щодо терміну визначення втрат урожайності та обґрунтованості проектних величин цієї врожайності;
- неможливості диференційовано визначати оптимальні параметри технічних й технологічних рішень з водорегулювання щодо різних рівнів продуктивності вирощуваних культур з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального

об'єкта;

– недотримання сучасних еколого-економічних вимог.

**2.1.7.** Тому, у подальшому було удосконалено методи та моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах шляхом:

– переходу від усталеної практики розгляду меліоративних об'єктів не тільки як технічних, а як складних природно-технічних систем;

– визначення наявності в такій системі структурного зв'язку *ефект*  $\Leftrightarrow$  *режим*  $\Leftrightarrow$  *технологія*  $\Leftrightarrow$  *конструкція*;

– розробки принципів побудови й реалізації комплексної моделі оптимізації режимно-технологічних та конструктивних рішень з водорегулювання осушуваних земель, які включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом, а її екологічна складова, як обмеження, визначає прийнятність оптимального економічного рішення;

– обґрунтовано критерії економічної та екологічної оптимізації щодо різних рівнів прийняття управлінських рішень в часі;

– розроблено комплекс прогнозно-імітаційних моделей з прогновної оцінки на довготерміновій основі змінних умов щодо схематизованих погодно-кліматичних умов, водного режиму та технологій водорегулювання, продуктивності (врожайності) вирощуваних сільськогосподарських культур.

**2.1.8.** За такими принципами та науково-методичними підходами було розроблено на відміну від класичного економіко-математичного, метод та методика з обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу при осушенні земель з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог.

**2.1.9.** У подальшому виходячи з різних визначень загального поняття гідромеліоративної системи (ГМС), які у свій час було представлено різними дослідниками як: *метеоролого-економічна система, складна природно-технічна система, організована еколого-економічна система, соціо-природно-технічна система, складна природно-технічна еколого-економічна система* – було встановлено взаємозалежні зв'язки між різнорідними елементами та притаманних таким системам характерних технологічних, економічних та екологічних ознак, запропоновано ДС, як невід'ємну складову сучасного водогосподарського-меліоративного комплексу або водної галузі країни, розглядати як водогосподарсько-меліоративну систему (ВМС), та, відповідно, також як *складну природно-технічну еколого-економічну систему* (СПТЕЕС).

**2.1.10.** Необхідною умовою є знаходження загального (глобального) оптимуму в таких системах тільки на основі застосування системної оптимізації, суть якої полягає в знаходженні проміжних локальних оптимумів для всіх її основних складових різнорідних елементів у їх взаємозв'язку. При цьому, для сучасного рівня розвитку водогосподарсько-меліоративної та аграрної науки, системна оптимізація з обґрунтування оптимальних ПР щодо типу, конструкції й параметрів ДС та складових її технічних елементів здійснюється на наявний, визначений або заданий рівень економічної (врожайність сільськогосподарських культур) та екологічної ефективності функціонування досліджуваного об'єкта.

**2.1.11.** В таких системах також має місце взаємозалежний зв'язок між різнорідними елементами виду

*параметри ефекту*  $\Leftrightarrow$  *параметри режиму*  $\Leftrightarrow$  *параметри технологій*  $\Leftrightarrow$  *параметри конструкцій*,

який описується складною складеною функцією, що немає явного розв'язку

$$y_i = f_1(f_2(f_3(x_i))), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (2.1)$$

Тут  $y_i$  – параметри загального еколого-економічного ефекту  $FE_i$ , який складається відповідно з параметрів продуктивності меліорованих угідь  $FY_k$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$  та

параметрів створюваного екологічного ефекту  $FZ_{ji}$ ,  $j = \overline{1, n_j}$ ;  $i = \overline{1, n_i}$ ;  $f_1$  – функція, що залежить від параметрів природно-меліоративного режиму (ПМР) осушуваних земель  $FR_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;  $f_2$  – функція, що залежить від параметрів застосовуваних технологій водорегулювання  $FS_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;  $f_3$  – функція аргументів  $x_i$ , яка залежить від параметрів конструктивних рішень МС  $FK_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  щодо реалізації відповідних технологій водорегулювання;  $i$  – сукупність  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  можливих варіантів функціонування МС як складної природно-технічної системи (ПТС), тобто реалізації відповідних технічних та технологічних рішень (ТТР) з водорегулювання осушуваних земель у відповідних природно-агро-меліоративних умовах реального об'єкта.

## 2.2. Принципи побудови загальних моделей системної оптимізації

**2.2.1.** Виклики сучасності та зміни клімату визначають за необхідне розробку нових підходів, методів та моделей на основі розвитку загальної теорії оптимізації щодо застосування системної оптимізації для обґрунтування оптимальних типу, конструкції та параметрів ДС на еколого-економічних засадах з урахуванням змінних кліматичних умов.

**2.2.2.** Вирішення такого завдання потребує, 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, формуються загальний еколого-економічний ефект від їх сполученості та значення показників, що його характеризують.

**2.2.3.** Відповідно ДС як 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 представлено у такому вигляді (рис. 2.1).

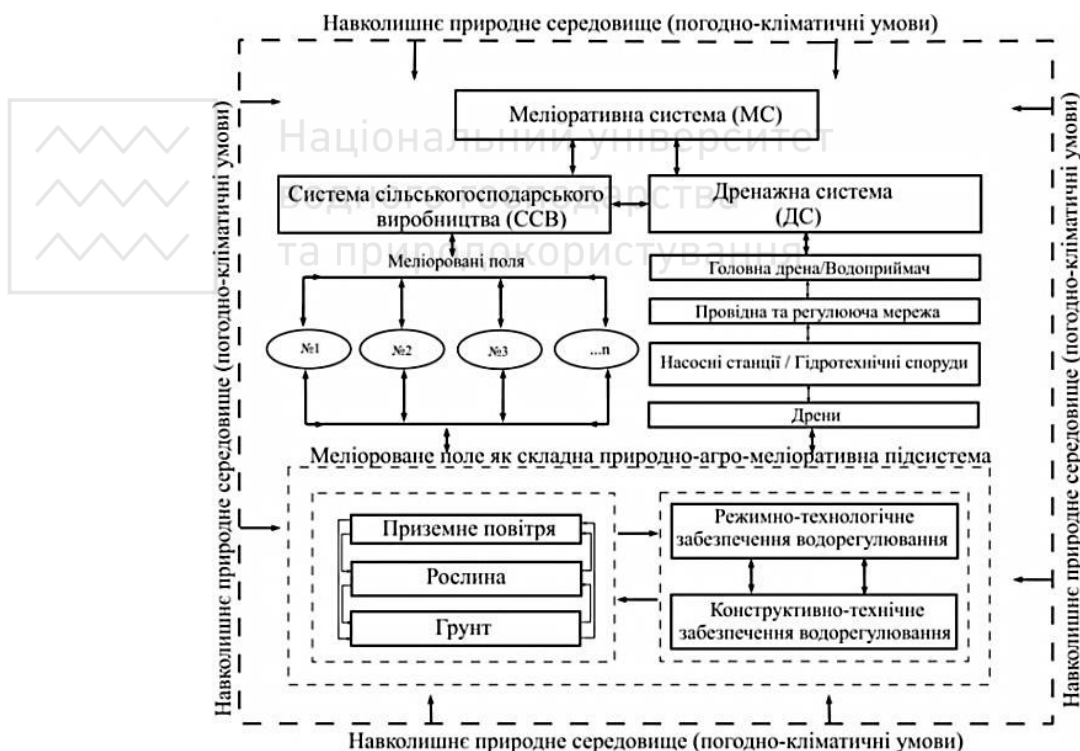


Рис. 2.1. Структурно-логічна схема взаємозв'язку основних різнорідних складових та елементів ДС як СПТЕЕС



**2.2.4.** Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємопов'язані між собою як різнірідні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем. В представленій системі в рамках кожного окремо взятого меліорованого поля ССВ реалізується водний режим осушуваних земель, який забезпечують регулюючі елементи ДС, вирощуються певні сільськогосподарські культури та формується загальний еколого-економічний ефект в межах полів та ДС в цілому у змінному часі та просторі.

**2.2.5.** Сумарний (інтегральний) еколого-економічний ефект, який відповідає оптимальному рівню технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності роботи ДС, що створюється при її функціонуванні в часі ( $\tau$ ) та просторі ( $f$ ), у загальному випадку може бути визначений за моделлю виду

$$Y^o = \int_0^{T_{np}} \int_0^{F_s} y_i^o(T_i, F_i) d\tau df, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.2)$$

де  $Y^o$  – оптимальний інтегральний еколого-економічний ефект, створений при функціонуванні системи відповідно до діючих вимог;  $y_i^o$  – параметри оптимального загального еколого-економічного ефекту, який створюється від дії та взаємодії взаємозв'язаних між собою різнірідних складових елементів ДС сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  та оточуючим середовищем;  $T_i$ ,  $T_{np}$  – відповідні періоди функціонування за  $i$ -ми різнірідними елементами та системи в цілому;  $F_i$ ,  $F_s$  – відповідні площі за  $i$ -ми різнірідними елементами та системи в цілому.

**2.2.6.** Зв'язок між складовими якого через абсолютно різнірідні за своєю природою явища і процеси (біологічні, хімічні, фізичні, технологічні, технічні тощо), що розглядаються, доцільно представити на функціональному рівні, відповідно між параметрами ефекту, режиму, технології та конструкції

$$y_i^o = f_1^*(f_2^*(f_3^*(z_i^o))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.3)$$

де  $f_1^*$  – функція оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму  $\theta R_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  у межах системи;  $f_2^*$  – функція оптимізації параметрів технологій водорегулювання  $\theta S_i$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  на системі;  $f_3^*$  – функція оптимізації параметрів конструктивних рішень щодо ДС  $\theta K_i$ ;  $z_i^o$  – оптимальні параметри відповідно різнірідних елементів системи, що розглядаються, сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , які взаємопов'язані між собою та оточуючим середовищем.

**2.2.7.** Пошук оптимальних параметрів складових складеної функції (2.3) і, в першу чергу, параметрів режимів та пов'язаних з ними технологічних рішень щодо технологій водорегулювання і технічних рішень щодо типу, конструкції та параметрів системи, що їх забезпечують, а також складових їх технічних елементів, залежно від створюваного загального еколого-економічного ефекту, формально може бути здійснений послідовно через відповідні обернені функції:

- щодо оптимальних параметрів режимів водорегулювання  $z_2^o$ ,

$$z_2^o = f_1^{*-1}(\hat{y}_i), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (2.4)$$

- щодо оптимальних параметрів технологій  $z_3^o$ ,

$$z_3^o = f_2^{*-1}(f_1^{*-1}(\hat{y}_i)), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (2.5)$$

- щодо оптимальних параметрів конструкції  $z_4^o$ ,

$$z_4^o = f_3^{*-1}(f_2^{*-1}(f_1^{*-1}(\hat{y}_i))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.6)$$

де  $\hat{y}_i$  – задані або прийняті параметри загального еколого-економічного ефекту за відповідними різнірідними елементами системи.

**2.2.8.** Управлінська модель оптимізації, що покладена в основу реалізації оптимізаційного підходу за економіко-математичним методом в загальному вигляді представляється як

$$Z_i^0 = \text{extr}_{\{m_i\}} (Z_{m_i}), \quad m_i = \overline{1, n_{m_i}}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.7)$$

де  $Z_i^0$  – екстремальні значення за прийнятими умовами обраних критеріїв оптимальності, що відповідають множинним оптимальним ТТР за сукупністю різнорідних елементів  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  та системи в цілому;  $Z_{m_i}$  – значення критеріїв оптимальності за сукупністю можливих альтернативних варіантів реалізації  $i$ -того елемента в межах системи  $\{m_i\}$ ,  $m_i = \overline{1, n_{m_i}}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ .

**2.2.9.** Виходячи з структурної моделі ДС (див. рис. 2.1) та встановленого характеру зв'язків між різнорідними елементами системи взагалі за математичними моделями (2.4)-(2.7), складний внутрішній взаємозв'язок між її різнорідними елементами може бути представлений за такою структурно-ієрархічною схемою (рис. 2.2).

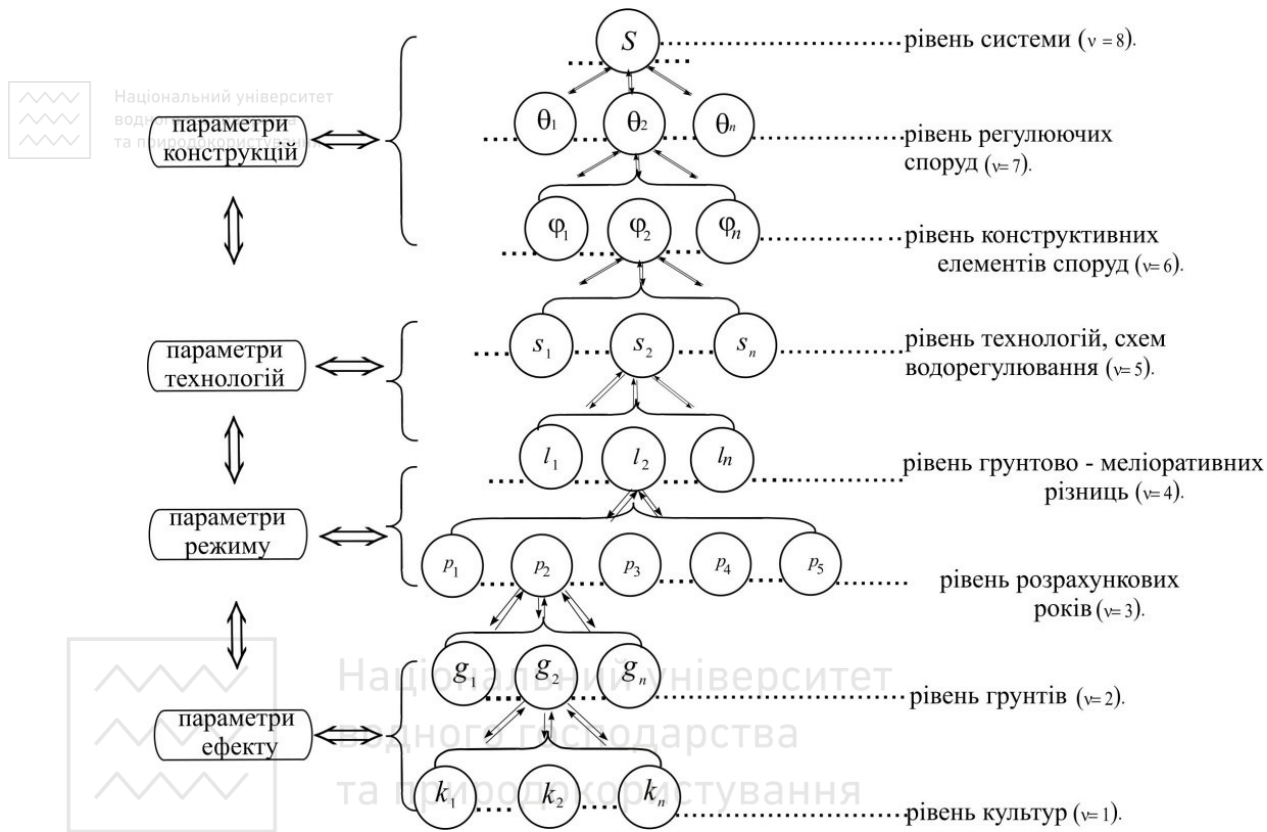


Рис. 2.2. Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку основних складових різнорідних елементів при функціонуванні ДС

**2.2.10.** Комплексна модель системної оптимізації з послідовного обґрунтування режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку при створенні та функціонуванні ДС, з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог, у загальному вигляді може бути представлена як

$$\begin{cases} U_v^0 = \text{extr}_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=l}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \bar{U}_{ikgpls\varphi\theta}^0 \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}; \\ Z_v^0 = \text{extr}_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=l}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} Z_{ikgpls\varphi\theta} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (2.8)$$

де  $U_v^0$ ,  $Z_v^0$  – відповідно екстремальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної  $\bar{U}_{ikgpls\varphi\theta}^0$  та екологічної  $Z_{ikgpls\varphi\theta}$  оптимальності, що відповідають оптимальним



режимним, технологічним та конструктивним параметрам ДС щодо різних рівнів ієрархії прийняття рішень за різномірними елементами системи,  $v = \overline{1, n_v}$ ,  $n_v = 8$ : у загальному випадку на рівні культур проектної сівозміни ( $v = 1$ ), сукупності  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ; на рівні ґрунтів ( $v = 2$ ), сукупності  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ; на рівні розрахункових років ( $v = 3$ ), сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ; на рівні ґрунтово-меліоративних різниць ( $v = 4$ ), сукупності  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ ; на рівні технологій і схем водорегулювання на системі ( $v = 5$ ), сукупності  $\{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ ; на рівні конструктивних елементів споруд ( $v = 6$ ), (на приклад, дренажу - вид, конструкція, матеріал, фільтр та ін.), сукупності  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$ ; на рівні регулюючих споруд системи ( $v = 7$ ) (магістральний канал, канали провідної мережі шлюзи-регулятори, дренаж тощо), сукупності  $\{\theta\}$ ,  $\theta = \overline{1, n_\theta}$  та на рівні системи в цілому ( $v = 8$ );  $f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta$  – частки поширення у межах системи, відповідно щодо: культур проектної сівозміни  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ; ґрунтових умов  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ; розрахункових років  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ; ґрунтово-меліоративних різниць  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ ; конструктивних елементів  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$  регулюючих споруд  $\{\theta\}$ ,  $\theta = \overline{1, n_\theta}$  та системи в цілому  $S$  за відповідними технологіями та схемами водорегулювання.

**2.2.11.** Відповідно послідовний пошук оптимальних значень прийнятих критеріїв оптимізації економічної та екологічної ефективності щодо параметрів різномірних елементів системи ТТР відповідно до багаторівневої ієрархії їх знаходження, починаючи з найнижчого – рівня культури  $k$ ,  $v = 1$ , через проміжні рівні щодо  $g$ ,  $v = 2$ ;  $p$ ,  $v = 3$ ;  $l$ ,  $v = 4$ ;  $s$ ,  $v = 5$ ;  $\varphi$ ,  $v = 6$ ;  $\theta$ ,  $v = 7$  і, зрештою, до найвищого її рівня системи  $S$ ,  $v = 8$ , здійснюється відповідно до необхідного рівня прийняття рішення в часі як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі їх виконання (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління).

**2.2.12.** Отже оптимальне рішення за відповідними значення критерію оптимізації:

– на рівні культур проектної сівозміни сукупності  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ,  $v = 1$

$$U^0_k = \text{extr}_{\{k\}} \sum_{p=1}^{n_p} U_{kgps} \cdot a_p, k = \overline{1, n_k}, g = \overline{1, n_g}, s = \overline{1, n_s}; \quad (2.9)$$

– на рівні ґрунтів у межах системи сукупності  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ,  $v = 2$

$$U^0_g = \text{extr}_{\{g\}} \sum_{k=1}^{n_k} U^0_{kgps} \cdot f_k, k = \overline{1, n_k}, g = \overline{1, n_g}, s = \overline{1, n_s}. \quad (2.10)$$

Розрахунковий рік за оптимальною розрахунковою забезпеченістю на рівні культура – ґрунт з урахуванням множинних змінних природо-агро-меліоративних умов сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ,  $v = 3$

$$p^o_{kgps}(U) = \text{extr}_{\{p\}} U^0_{kgps}, k = \overline{1, n_k}, g = \overline{1, n_g}, p = \overline{1, n_p}, s = \overline{1, n_s}; \quad (2.11)$$

– на рівні ґрунтово-меліоративних різниць сукупності  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ ,  $v = 4$

$$U^0_l = \text{extr}_{\{l\}} \sum_{g=1}^{n_g} U^0_g \cdot f_l, g = \overline{1, n_g} \quad (2.12)$$

– на рівні технологій та схем водорегулювання сукупності  $s = \overline{1, n_s}$ ,  $v = 5$

$$U^0_s = \text{extr}_{\{s\}} \sum_{l=1}^{n_l} U^0_l \cdot f_s; \quad (2.13)$$

– на рівні конструктивних елементів регулюючих споруд системи сукупності  $\{\varphi_{\theta s}\}$ ,  $\varphi = \overline{1, n_{\varphi_{\theta s}}}$ ,  $\theta_s = \overline{1, n_{\theta_s}}$ ,  $v = 6$

$$U_{\varphi_{\theta_s}}^0 = \text{extr}_{\{\varphi_{\theta_s}\}} \sum_{\varphi_{\theta_s}=1}^{n_{\varphi_{\theta_s}}} U_s^0 \cdot f_{\varphi_{\theta_s}} ; \quad (2.14)$$

– на рівні регулюючих споруд сукупності  $\{\theta_s\}$ ,  $\theta_s = \overline{1, n_{\theta_s}}$ ,  $v = 7$

$$U_{\theta_s}^0 = \text{extr}_{\{\theta_s\}} \sum_{\theta_s=1}^{n_{\theta_s}} U_{\varphi_{\theta_s}}^0 \cdot f_{\theta_s} ; \quad (2.15)$$

– на рівні системи  $v = 8$

$$U_S^0 = \text{extr}_{\{\theta_s\}} \sum_{\theta_s=1}^{n_{\theta_s}} U_{\theta_s}^0 . \quad (2.16)$$

**2.2.13.** Загальні принципи побудови та реалізації комплексних моделей системної оптимізації включають в себе модель економічної оптимізації, що побудована за традиційним економіко-математичним підходом та обґрунтовує економічно оптимальне проектне рішення, а також її екологічну складову, як обмеження, що визначає екологічну прийнятність оптимального економічного рішення.

## 2.3. Принципи реалізації загальних моделей системної оптимізації

**2.3.1.** Як показує аналіз, усі складові комплексної моделі, такі як техніко-економічні показники, що входять до складу економіко-математичної моделі (капітальні вкладення, вартість отриманої продукції рослинництва, поточні сільськогосподарські, амортизаційні і меліоративні витрати й ін.), а також екологічний показник (критерій) водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель, визначаються прийнятими параметрами ДС, є змінними і залежать від багатьох чинників, головними з яких є конструктивно-технологічні, природно-кліматичні, ґрунтово-меліоративні, агротехнічні й інші умови об'єкта.

**2.3.2.** Вони схематично можуть бути представлені у вигляді вихідних даних для постановки й розв'язування оптимізаційних задач через сукупності відповідних множинних змінних показників:

– прогнозно-імітаційних множинних змінних досліджуваного об'єкта за сукупностями: метеорологічних режимів  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{1, n_{\omega}}$ ; розрахункових років  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ; культур проектної сівозміни  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ; ґрунтів  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ; ґрунтово-меліоративних різниць  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$ ;

– режимно-технологічних множинних змінних досліджуваного об'єкта щодо технологій та схем водорегулювання за сукупностями  $\{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ ;

– конструктивно-технологічних множинних змінних технічних елементів щодо регулюючих споруд (головна дрена, провідна та регулююча мережа, насосні станції, гідротехнічні споруди тощо) сукупності  $\{\theta\}$ ,  $\theta = \overline{1, n_{\theta}}$ , а також конструктивних елементів цих споруд (вид матеріалу, діаметр, конструкції, параметри фільтрів дренаж тощо) сукупності  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi = \overline{1, n_{\varphi}}$ .

**2.3.3.** Принципи побудови та реалізації комплексної моделі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС ґрунтуються на пов'язаних між собою прогнозно-імітаційному, режимно-технологічному, конструктивно-технологічному, й оптимізаційному блоках моделей для обґрунтування оптимальних типів, конструкції й параметрів їх з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створюваний економічний й екологічний ефект.

**2.3.4.** Узагальнена структура реалізації комплексної моделі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС та її складових технічних елементів на еколого-економічних засадах подана на (рис. 2.3).

**2.3.5.** Характерними особливостями розробленої структури є, по-перше, блочна побудова та послідовна циклічність їх реалізації. При цьому можна виділити такі відносно самостійні узагальнюючі блоки:

– блок формування вихідних даних за сукупностями основних природно-кліматичних, ґрунтово-меліоративних, режимно-технологічних, конструктивно-технологічних й інших чинників, які визначально впливають на вибір оптимального типу, конструкції та параметрів ДС (блок 2, рис. 2.3);

– блок формування варіантів ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  за множинними прогнозно-імітаційними, режимно-технологічними та конструктивно-технологічними змінними параметрами ДС (блок 3, рис. 2.3);

– блок формування прогнозно-імітаційних множинних змінних досліджуваного об'єкта за сукупностями: метеорологічних режимів  $\{\omega\}$ ,  $\omega = \overline{1, n_\omega}$ ; розрахункових років  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ ; культур проектної сівозміни  $\{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$ ; ґрунтів  $\{g\}$ ,  $g = \overline{1, n_g}$ ; ґрунтово-меліоративних різниць  $\{l\}$ ,  $l = \overline{1, n_l}$  (блок 4, рис. 2.3);

– блок прогнозно-імітаційних розрахунків на довготерміновій основі за сукупністю відповідних моделей: метеорологічних умов місцевості, водного режиму і технологій водорегулювання та продуктивності осушуваних земель - за результатами яких визначаються необхідні вартісні техніко-економічні показники, як складові економіко-математичних моделей оптимізації та фізичні показники екологічної ефективності водного і загального природно-меліоративного режимів осушуваних земель на рівні кожного меліорованого поля ССВ (вирощуваної культури), а також диференційовані значення врожайності вирощуваних культур за варіантами ПР (блок 5, рис. 2.3);

– блок формування режимно-технологічних множинних змінних досліджуваного об'єкта щодо технологій та схем водорегулювання за сукупностями  $\{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$  (блок 6, рис. 2.3);

– блок режимно-технологічних розрахунків передбачає визначення технологій та схем водорегулювання в межах ДС за принципом їх дії та впливу на режим вологи ґрунту й РГВ, а також основними технічними характеристиками і параметрами (нормами осушення, елементами техніки зволоження тощо), сукупності  $s = \overline{1, n_s}$  ( $n_s = 6$ ): осушення,  $s = 1$ ; попереджувальне шлюзування,  $s = 2$ ; неперервне зволожувальне шлюзування тривалим підпором рівнів води,  $s = 3$ ; періодичне зволожувальне шлюзування (циклічне підґрунтове зволоження),  $s = 4$ ; зрошення дощуванням на фоні осушення,  $s = 5$ ; зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування,  $s = 6$ , а також можливих їх комбінацій в умовах системи (блок 7, рис. 2.3);

– блок конструктивно-технологічних множинних змінних технічних елементів щодо регулюючих споруд (головна дрена, провідна та регулююча мережа, насосні станції, гідротехнічні споруди тощо) сукупності  $\{\theta\}$ ,  $\theta = \overline{1, n_\theta}$ , а також конструктивних елементів цих споруд (вид матеріалу, діаметр, конструкції, параметри фільтрів дренаж тощо) сукупності  $\{\varphi\}$ ,  $\varphi = \overline{1, n_\varphi}$  (блок 8, рис. 2.3);

– блок конструктивно-технологічних моделей передбачає визначення типу, конструкції та параметрів ДС й складових їх технічних елементів на багатоваріантній основі за відповідними загальноприйнятими формулами на основі розрахункових значень показників витрат, напорів, рівнів води, модулів дренажного стоку, модулів водоподачі тощо (блок 9, рис. 2.3);

– блок формування оптимізаційних множинних змінних сукупності  $\{i_v\}$ ,  $i_v = \overline{1, n_{i_v}}$ ,  $v = \overline{1, n_v}$ , щодо множинних режимно-технологічних та конструктивно-технологічних альтернативних варіантів ПР відповідно до рівня розв'язання поставленої оптимізаційної задачі по системі (блок 10, рис. 2.3);



Рис. 2.3. Узагальнена блок-схема реалізації комплексної моделі системної оптимізації з обґрунтування типу, конструкції та параметрів ДС на еколого-економічних засадах

– блок оптимізаційних розрахунків передбачає послідовний пошук оптимальних значень прийнятих критеріїв оптимізації економічної та екологічної ефективності щодо параметрів різномірних елементів системи (ТТР) відповідно до багаторівневої ієрархії їх знаходження, починаючи з найнижчого – рівня культури  $k$ ,  $v=1$ , через проміжні рівні щодо  $g$ ,  $v=2$ ;  $p$ ,  $v=3$ ;  $l$ ,  $v=4$ ;  $s$ ,  $v=5$ ;  $\varphi$ ,  $v=6$ ;  $\theta$ ,  $v=7$  і, зрештою, до найвищого її рівня системи  $S$ ,  $v=8$ , відповідно до необхідного рівня прийняття рішення в часі як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі їх виконання (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління). За ними реалізується загальна умова системної оптимізації та остаточний вибір оптимального рішення, що здійснюється неформальним шляхом через експертну оцінку відповідним спеціалістом на стадії проекту або планової експлуатації ДС, яке враховує, з одного боку, економічну ефективність, а з іншого – екологічну прийнятність його реалізації (блок 11, рис. 2.3);

– блок формування й виведення будь-яких проміжних (за необхідності) та остаточних результатів прогнозно-оптимізаційних розрахунків на будь-якому етапі їх виконання (блок 12, рис. 2.3).

**2.3.6.** По-друге, це необхідність дотримання визначеного порядку ієрархічно підпорядкованої послідовності виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків за відповідними моделями й узагальнюючими блоками, коли результати, отримані за відповідними моделями на нижчих рівнях ієрархії (зворотний порядок розташування блоків моделей на рис. 2.3), є вихідними даними для виконання подальших розрахунків.

**2.3.7.** Безумовно, що наведена на (рис. 2.3) загальна універсальна структура прогнозно-оптимізаційних розрахунків буде дещо змінюватися у кожному конкретному випадку її застосування в залежно від рівня оптимізаційної задачі, що розв'язується та прийнятої до розгляду, згідно сформульованого завдання,  $n_v$  – рівневої структури їх виконання, конкретних природно-меліоративних й інших умов об'єкта управління.

**2.3.8.** У свою чергу, реалізація комплексних моделей системної оптимізації потребує визначення показників й критеріїв економічної та екологічної ефективності ПР щодо рівнів прийняття їх в часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління об'єктом), що формуються безпосередньо як по окремих різномірних елементах, так і в межах системи в цілому.

## 2.4. Загальні критерії, умови та моделі економічної та екологічної оптимізації проектів дренажних систем

**2.4.1. Критерії, умови та моделі економічної оптимізації ПР щодо рівнів прийняття їх в часі.** Головним питанням при постановці оптимізаційних екстремальних задач є вибір критерію оптимальності, який повинен давати змогу кількісно підходити до аналізу і прогнозування дієвості всіх елементів системи та альтернативних рішень, що розглядаються.

**2.4.1.1.** Обґрунтування економічних критеріїв оптимальності потребує розгляду й формулювання відповідно *глобального* та *локального* критеріїв. Глобальний критерій, який мінімізує сукупні затрати суспільної праці на виробництво суспільно необхідної продукції, служить тим самим мірилом сукупної суспільної ефективності функціонування народного господарства і відповідає вимогам основного економічного закону. В якості локальних критеріїв оптимальності встановлення параметрів систем на практиці найчастіше використовують максимум прибутку і мінімум приведених витрат, інколи – векторну оптимізацію або оптимізаційну модель з векторною цільовою функцією.

**2.4.1.2.** На *стадії проектування* нового будівництва або реконструкції в якості економічного критерію та умови оптимізації технологічних та конструктивних параметрів ДС вважаємо за доцільне розглядати мінімізацію приведених витрат  $ZP_i$  з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику  $R_i$  при відхиленні водного режиму осушуваних



земель від оптимального у розрахунку як у весняний (посівний), так і у вегетаційний періоди роботи ДС на реалізацію відповідних варіантів ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$

$$ZP_i + R_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n_i}. \quad (2.17)$$

**2.4.1.3.** За загальний економічний критерій оптимізації приймаються приведені витрати  $Z$ , зведені до порівняльного вигляду  $ZP$  за обсягом (вартістю)  $V$  отриманої продукції за відповідними варіантами ПР  $\{i\}$

$$ZP_i = \frac{(C_i^{cz} + C_i^m + A_i + E_n \cdot K_i + R_i)}{V_i}, i = \overline{1, n_i}, \quad (2.18)$$

де  $C_i^{cz}$  – сільськогосподарські затрати при вирощуванні сільськогосподарських культур за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га;  $C_i^m$  – меліоративні затрати або затрати на експлуатацію за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га;  $A_i$  – амортизаційні витрати за  $i$ -тим варіантом ПР, грн/га;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень на влаштування дренажу  $K_i$  за  $i$ -м варіантом ПР, грн/га;

**2.4.1.4.** З урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом погодно-кліматичний ризик визначається за формулою

$$\overline{R}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \overline{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}}, i = \overline{1, n}, \quad (2.19)$$

а його відносна міра ( $f_i$ ) за окремим варіантом проекту може бути визначена як

$$f_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \overline{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}}}{\overline{W}_{nm}} = \frac{\overline{R}_i}{\overline{W}_{nm}}, i = \overline{1, n}, \quad (2.20)$$

де  $W_{ij}$  – вартість валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за  $i$ -тим варіантом ПР, грн/га;  $\overline{W}_{nm}$  – вартість валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті, грн/га.

**2.4.1.5.** Реалізація економічної складової комплексної моделі системної оптимізації технологічних та конструктивних параметрів ДС визначається у загальному випадку за прийнятою вісьмирівневою  $v = \overline{1, n_v}$ ,  $n_v = 8$  ієрархічною структурою виконання оптимізаційних розрахунків

$$ZP_v^0 = \min_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\phi\theta=1}^{n_{ikgpls\phi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \overline{ZP}_{ikgpls\phi\theta}^0 \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\phi \cdot f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}, \quad (2.21)$$

де  $ZP_v^0$  – оптимальне (раціональне) значення економічного критерію для кожного рівня ієрархії прийняття рішень за різномірними елементами системи,  $v = \overline{1, n_v}$ ,  $n_v = 8$ ,  $\overline{ZP}_{ikgpls\phi\theta}^0$  – оптимальні значення критерію оптимізації за відповідними варіантами проектних рішень щодо множинних змінних природно-агро-меліоративних умов а також режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС.

**2.4.1.6.** За результатами реалізації моделей (2.17-2.21) отримуємо оптимальні значення економічного критерію  $ZP_0$  для кожного рівня ієрархії  $ZP_v^0$ ,  $v = \overline{1, n_v}$ , у досліджуваних природно-агро-меліоративних умовах.

**2.4.1.7.** На *стадії експлуатації* за економічний критерій оптимізації приймається показник чистого доходу  $D$ , що досягається за рахунок отримання певного об'єму вирощуваної сільськогосподарської продукції на меліорованих землях при застосуванні різних варіантів технологічних та конструктивних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  – можливих щодо типу, конструкції та параметрів способів і схем водорегулювання ДС тощо

$$D_i = W_i - C_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (2.22)$$

У цьому випадку умовою оптимізації виступає максимізація показника чистого доходу

$$D_i \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.23)$$

а функцією цілі буде


$$D_0 = \max_{\{i\}} D_i = \max_{\{i\}} [W_i - (A_i + C_i^{cz} + C_i^M + C_i^e)], \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (2.24)$$

де  $W_i$  – обсяг (вартість) отриманої продукції по варіантах технічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ;  $C_i$  – поточні витрати на отримання продукції по варіантах технічних рішень.

За загальний економічний критерій оптимізації приймається чистий дохід  $D$ , зведений до вигляду

$$D_i = \max_{\{i\}} [W_i - (A_i + C_i^{cz} + C_i^M + C_i^e) - R_i], \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (2.25)$$

**2.4.1.8.** Реалізація економічної складової комплексної моделі системної оптимізації технологічних та конструктивних параметрів ДС у загальному випадку може бути подана у вигляді



$$D_v^0 = \max_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=1}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} D_{ikgpls\varphi\theta}^0 \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, \quad v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}, \quad (2.26)$$

де  $D_v^0$  – максимальне значення показника чистого доходу, що досягається за рахунок отримання певного обсягу вирощуваної сільськогосподарської продукції при застосуванні різних варіантів режимних, технологічних та конструктивних рішень ДС сукупності  $\{i\}$  для кожного рівня ієрархії  $v = \overline{1, n_v}$  (в даному випадку  $n_v = 8$ ).

**2.4.1.9.** За результатами реалізації моделей (2.22–2.26) отримуємо оптимальні значення економічного критерію  $D_0$  для кожного рівня ієрархії  $D_v^0, v = \overline{1, n_v}$  у досліджуваних природно-агро-меліоративних умовах.

**2.4.2. Критерії, умови та моделі екологічної оптимізації ПР щодо рівнів прийняття їх в часі.** В якості критеріїв екологічної оптимальності доцільно використовувати сукупність фізичних показників екологічної ефективності, які висвітлюють різні сторони складного характеру умов формування водного режиму осушуваних земель під дією кліматичних і меліоративних факторів й можуть бути визначені на стадії проекту за довготерміновим прогнозом:  $Hg$  – глибина РГВ (середня за період вегетації), м;  $\beta_g^{wh}$  – відносний (відношення фактичної до оптимальної) показник вологості найбільш активного (розрахункового) шару ґрунту  $h$  (середній за період вегетації);  $N^t$  – показник надійності (тривалості) підтримання сприятливого водного режиму активного шару ґрунту протягом періоду вегетації, %;  $N^k$  – аналогічний показник надійності щодо критичного періоду розвитку (відповідно найбільшого водоспоживання) вирощуваних культур, %;  $WPh + M$  – сумарна за вегетацію величина живлення активного шару ґрунту  $h$  з нижче розташованих шарів й РГВ ( $VPh$ ) та витрат води на зволоження осушуваних земель ( $M$ ) відповідним способом, мм;  $\beta_k^y$  – відносний (відношення фактичного до потенційно можливого або максимально досягнутого врожаю) показник урожаю вирощуваних культур;  $Vh$  – вологообмін активного шару ґрунту  $h$  з нижче розташованими шарами й РГВ (сумарний за вегетацію), мм; ККД ФАР – фактичне значення коефіцієнту корисної дії (ККД) використання фотосинтетично-активної радіації (ФАР) вирощуваною культурою, %;  $fr$  – відносний рівень погодно-кліматичного ризику щодо врожайності.

**2.4.2.1.** Екологічна прийнятність комплексної моделі (2.8) для визначеного економічно оптимального ПР щодо типу, конструкції і параметрів ДС на рівні системи, яка працює тільки в режимі осушення досягається за умови, коли



$$q_s \rightarrow \hat{q}_{\text{екол}}, \quad (2.27)$$

де середньозважене значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну функціонування об'єкта  $q_s$  визначається як

$$q_s = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left[ \sum_{p=1}^{n_p} \left( \sum_{\tau=1}^{n_\tau} q_{kgrp\tau} / n_{p\tau} \right) \cdot \alpha_p \right] \cdot f_k \cdot f_g, \quad (2.28)$$

а середньозважене граничне значення модуля дренажного стоку  $\hat{q}_{\text{екол}_{kgr}}$ , що відповідає екологічному рівню ефективності роботи ДС, визначається аналогічно

$$\hat{q}_{\text{екол}_{kgr}} = \sum_{g=1}^{n_g} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \hat{q}_{kgrp} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_g. \quad (2.29)$$

**2.4.2.2.** Екологічно оптимальний загальний природно-меліоративний режим на ДС в цілому досягається за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності за варіантом МП знаходиться в інтервалі значень

$$0,5 < k_{n_i} \leq 1,0. \quad (2.30)$$

**2.4.2.3.** Коефіцієнт екологічної надійності варіанту меліоративного проекту може бути визначений за формулою

$$k_n = \frac{\sum_{z=1}^N H_z}{N}. \quad (2.31)$$

Характеристика екологічної надійності варіанту МП може бути представлена у вигляді вектора – строки  $H$  з компонентами  $H_z$

$$H = H_z / z = 1, 2, \dots, N / , \quad (2.32)$$

де  $N$  – кількість елементів (факторів), які характеризують екологічну надійність МП (див. п. 2.4.2).

Тут компоненти  $H_z$  приймають відповідні значення за умови, що

$$H_z = \begin{cases} 1, & \text{якщо } H_z \leq H_{nz}; \\ 0, & \text{якщо } H_z > H_{nz}, \end{cases} \quad (2.33)$$

де  $H_{nz}$  – нормативне, критичне або допустиме значення  $z$ -го елементу.

Такий коефіцієнт дає наближену оцінку екологічної стійкості проекту і ступінню урахування факторів екологічної надійності його функціонування, в першу чергу, з точки зору підтримання сприятливих загального природно-меліоративного та ґрунтових режимів у межах проектного терміну.

**2.4.2.4.** Значення коефіцієнтів екологічної надійності меліоративного об'єкту за рекомендованою шкалою наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Шкала коефіцієнтів екологічної надійності

№ з/п	Коефіцієнт екологічної надійності	Найменування градацій рівня екологічної надійності
1	0,0 ... 0,25	<i>ненадійна</i>
2	0,26 ... 0,50	<i>недостатньо надійна</i>
3	0,51 ... 0,75	<i>достатньо надійна</i>
4	0,76...1,0	<i>надійна</i>

**2.4.2.5.** В розвиток та на відміну від розглянутого підходу, де компонента  $H_z$  приймає фіксовані значення  $H_z = 1$  або  $H_z = 0$ , нами пропонується визначати значення компоненти

$H_z$ , коли вона приймає всі можливі значення в інтервалі від 0 до 1, за куполоподібною кривою, яка описується емпіричною формулою

$$H_z = e^{a \cdot H_{\phi z}^2 + b \cdot H_{\phi z} + c}, \quad (2.34)$$

де  $a, b, c$  – емпіричні коефіцієнти, що залежать від нормованих оптимальних значень показників екологічної ефективності осушуваних земель.

**2.4.2.6.** Запропонована схема оцінювання екологічної надійності МП є універсальною, оскільки в якості складових елементів надійності може виступати будь-який комплекс факторів, як кількісних, так і якісних, що характеризують еколого-меліоративний стан території ДС.

**2.4.2.7.** Остаточні вид, кількість критеріїв, умови та моделі екологічної оптимізації, як і в попередньому випадку, визначаються також щодо рівня вирішуваних завдань, загальної структури побудови комплексних моделей, раціональної кількості прийнятих до розгляду альтернативних варіантів ПР та структури прогнозно-оптимізаційних розрахунків щодо технічної й ієрархічної структури побудови ДС.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

### **3. МОДУЛІ ДРЕНАЖНОГО СТОКУ Й ВОДОПОДАЧІ ТА ЇХ ПАРАМЕТРИ ЯК ВИЗНАЧАЛЬНІ ЧИННИКИ ТА ГОЛОВНА УМОВА РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ**

#### **3.1. Вихідні передумови**

**3.1.1.** Внаслідок сучасних змін, що відбуваються, надзвичайно актуальним стає питання щодо зміни підходів і розробки низки відповідних заходів з адаптації до змін клімату при проектуванні та реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів.

**3.1.2.** Це можливо на підставі розробки комплексу адаптивних заходів, до яких невід'ємною складовою відноситься ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляція вологи в ґрунтовому профілі і в межах системи, перехід від традиційного періодичного на реалізацію і забезпечення регулярного зволоження осушуваних земель, удосконалення технологій водорегулювання, типів й конструкцій ДС і їх технічних елементів, методів їх проектування та розрахунку тощо.

**3.1.3.** Водночас, технічний стан побудованих 40-50 років тому ДС погіршився внаслідок зношеності та невиконання необхідного комплексу експлуатаційних заходів, що призвело до деформації та замулювання основних регулюючих елементів таких систем, які працюють в режимі осушення або підґрунтового зволоження. Як наслідок, відбулося відхилення їх параметрів від проектних, порушення режиму та роботи колекторно-дренажної мережі, зниження пропускної здатності, загальної ефективності функціонування таких систем та продуктивності осушуваних земель на 25...50% проти проектної.

**3.1.4.** На осушуваних землях підґрунтове зволоження є традиційним та найбільш поширеним способом водорегулювання в посушливі періоди вегетації. Для підґрунтового зволоження, як і для осушення, використовуються ті ж регулюючі технічні елементи, які, особливо в сучасних змінних умовах, визначають технічну, економічну й екологічну ефективність роботи ДС в цілому. При підґрунтовому зволоженні створюються умови, які забезпечують короткочасне або повне насичення кореневмісного шару ґрунту за рахунок підйому ґрунтових вод до оптимального значення або капілярного підживлення від РГВ.

**3.1.5.** Підґрунтове зволоження, у порівнянні з іншими способами водорегулювання дешевше, оскільки потребує менше затрат енергії та матеріалів, забезпечує підтримання відповідної структури ґрунту, за рахунок близького стояння ґрунтових вод зменшує інтенсивність промивного водного режиму, не призводить до ерозії, сприяє аерації і життєдіяльності ґрунтової мікрофлори, покращує тепловий режим, залишає більш сухим верхній шар ґрунту, й, тим самим, зменшує сумарне випаровування та захворюваність рослин, дозволяє утримувати внесені добрива, не пошкоджує посіви поливною технікою, покращує умови для механічного обробітку ґрунту.

**3.1.6.** Характерною особливістю ДС з підґрунтовим зволоженням є те, що процеси руху водного потоку в регулюючих технічних елементах ДС при роботі її в режимі осушення та підґрунтового зволоження є аналогічними, але взаємопротилежними і реалізуються, використовуючи ті ж самі елементи.

**3.1.7.** Тому, необхідно змінювати підходи до створення й функціонування ДС на осушуваних землях шляхом удосконалення технологій водорегулювання, відповідно типів, конструкції й параметрів ДС та їх технічних елементів при роботі в режимі осушення або підґрунтового зволоження, що адаптовані до означених змін.

**3.1.8.** Вирішення такого надзвичайно складного завдання потребує побудови й реалізації відповідної комплексної моделі системної оптимізації з послідовним обґрунтуванням режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку при створенні та функціонуванні ДС з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог.

**3.1.9.** Тому оптимальні тип, конструкція та параметри регулюючих технічних елементів ДС (дренаж, канали бокової мережі, магістральний канал, шлюзи-регулятори тощо) з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог та урахуванням множинних

змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта визначаються послідовно за комплексною моделлю системної оптимізації, що побудована за відповідними економічним та екологічним критеріями, умовою та функцією оптимізації з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом

$$\begin{cases} ZP_v^0 = \min_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=1}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} \overline{ZP}_{ikgpls\varphi\theta}^0 \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}; \\ Z_v^0 = \min_{\{i\}} \left\{ \sum_{ikgpls\varphi\theta=1}^{n_{ikgpls\varphi\theta}} \right\} \left( \sum_{p=1}^{n_p} Z_{ikgpls\varphi\theta} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_i \cdot f_k \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_l \cdot f_s \cdot f_\varphi \cdot f_\theta, v = \overline{1, n_v}, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (3.1)$$

де  $ZP_v^0$ ,  $Z_v^0$  – відповідні оптимальні значення за прийнятою умовою обраних критеріїв економічної  $\overline{ZP}_{ikgpls\varphi\theta}^0$  та екологічної  $Z_{ikgpls\varphi\theta}$  оптимізації, що відповідають оптимальним режимним, технологічним та конструктивним параметрам ДС щодо прийняття різних рішень в часі на різних рівнях ієрархії за різнорідними елементами системи,  $v = \overline{1, n_v}$ ,  $n_v = 8$  (див. розд. 2. п. 2.2.2).

**3.1.10.** У загальному випадку умовою реалізації моделі оптимізації виступає так звана «виробнича функція», як основа функції оптимізації, яка в нашому випадку має враховувати технологічні, технічні, економічні та екологічні аспекти роботи ДС в цілому у їх взаємозв'язку у змінних часі та просторі.

**3.1.11.** Реалізація економічної складової комплексної моделі системної оптимізації щодо режимних, технологічних та конструктивних рішень ДС може бути реалізована через зв'язок виду

**параметри врожаю ( $Y_i$ )  $\Leftrightarrow$  параметри технології водорегулювання ( $q_{mi}$ )  $\Leftrightarrow$  параметри регулюючих технічних елементів ДС ( $\theta_i$ ),**

де параметри технологій водорегулювання виступають ключовою ланкою такої підсистеми.

**3.1.12.** У випадку роботи регулюючих технічних елементів ДС в режимі осушення або підґрунтового зволоження такими показниками є відповідні модулі дренажного стоку та модулі водоподачі. Ці показники та їх параметри кількісно і якісно відображають ефективність регулювання водного режиму осушуваних ґрунтів в різні за зволоженістю періоди в профілі ґрунту або осушуваного масиву в цілому.

**3.1.13.** Функціональний зв'язок між складовими означеної підсистеми у загальному випадку може бути представлений в неявному вигляді як

$$Y_i = f_1(f_2(f_3(\theta_i))), i = \overline{1, n_i}. \quad (3.2)$$

Функція (3.2) в нашому випадку виступає як основа «виробничої функції» комплексної моделі системної оптимізації, але вона не має явного розв'язку, водночас її елементи та функціональний зв'язок між ними вже мають приклади реалізації на науковому та виробничому рівні, що відображено у відповідних науково-технічних розробках та галузевих нормативах.

**3.1.14.** Функція між параметрами регулюючих технічних елементів ( $\theta_i$ ) та параметрами технологій водорегулювання ( $q_{mi}$ ) може бути представлена як обернена функція виду

$$\theta_i = f_1'(q_{mi}), \quad (3.3)$$

де  $q_{mi}$  – модуль дренажного стоку або модуль водоподачі щодо відповідного режиму роботи ДС.

**3.1.15.** Відповідно функція між параметрами ефекту ( $Y_i$ ) та параметрами технологій водорегулювання ( $q_{mi}$ ) при роботі ДС в режимі осушення або підґрунтового зволоження може бути представлена як

$$Y_i = f_2(q_{mi}). \quad (3.4)$$

**3.1.16.** Таким чином, модулі дренажного стоку й водоподачі та їх параметри є визначальними чинниками та головною умовою реалізації моделей системної оптимізації при створенні та функціонуванні ДС у сучасних змінних умовах з дотриманням економічних та екологічних вимог.

### **3.2. Модуль дренажного стоку як визначальний показник при обґрунтуванні параметрів дренажних систем та їх елементів**

**3.2.1.** На сьогоднішній день існуючі ДС виробили свій ресурс і потребують реконструкції та модернізації для підвищення загальної технологічної, економічної й екологічної ефективності їх функціонування.

**3.2.2.** Одним з найбільш важливих технологічних параметрів ДС при роботі її в режимі осушення є модуль дренажного стоку. Цей показник та його параметри кількісно і якісно відображають ефективність регулювання водного режиму осушуваних ґрунтів.

**3.2.3.** Тому визначальними критеріями при проектуванні реконструкції та модернізації ДС є не тільки їх технологічна, але й економічна та екологічна ефективність, які також визначаються умовами формування модулів дренажного стоку осушуваної території внаслідок її природної і штучної (технічної) дренажності.

**3.2.4.** Дренажність території характеризується модулем дренажного стоку, величина якого забезпечує відведення зайвої води з ґрунту до необхідної норми осушення та осушеного масиву в цілому за визначений термін часу і є одним з визначальних чинників гідрологічної дії дренажу, обґрунтуванні всіх конструктивних параметрів регулюючих елементів (магістральний канал, канали провідної мережі, шлюзи-регулятори, дренаж тощо) ДС при роботі її в режимі осушення.

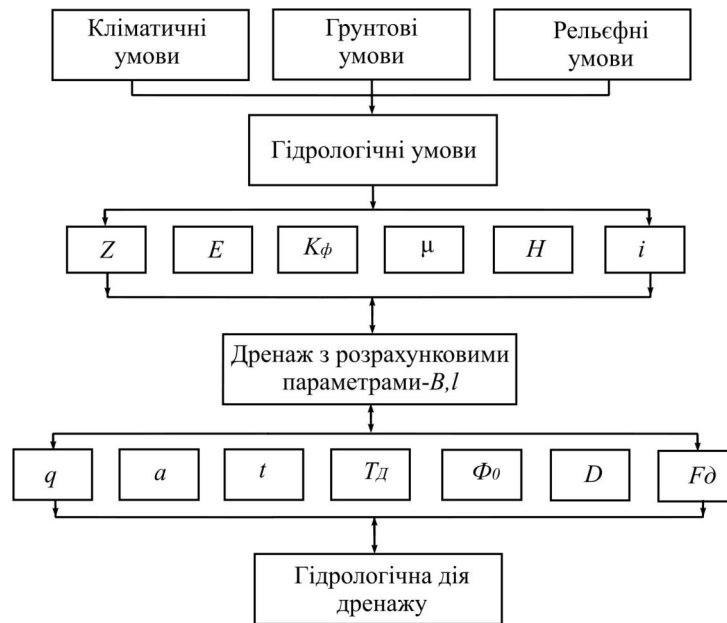
**3.2.5.** Головним регулюючим елементом ДС є сільськогосподарський дренаж, оскільки його конструкція та параметри визначально впливають на тип та конструкцію системи в цілому, її технологічну, економічну й екологічну ефективність. Тому роль модуля дренажного стоку при обґрунтуванні параметрів регулюючих елементів ДС доцільно розглядати на прикладі обґрунтування параметрів дренажу.

**3.2.6.** Найважливішими параметрами сільськогосподарського дренажу є – віддаль між дренами та глибина закладання дрен, які залежать від множинних чинників гідрологічних умов і безпосередньо формуються кліматичними, ґрунтовими, рельєфними та іншими умовами тощо дренажності території.

**3.2.7.** На підставі аналізу й узагальнення наявних найбільш поширених та загальноприйнятих *гідромеханічних* та *емпіричних* підходів до обґрунтування параметрів сільськогосподарського дренажу була сформована й наведена відповідна структурно-логічна схема (рис. 3.1). Вона відображає вплив гідрологічних умов (кліматичні, ґрунтові, рельєфні) та гідрологічної дії дренажу на параметри дренажу осушуваних земель множинних чинників впливу (модуль дренажного стоку, норма осушення, час, протягом якого відводиться шар води з ґрунту, віддалі від осі дрени до водоупору, діаметр дрени та характеристика фільтра дренажу) і є елементами складної багатопараметричної моделі.

**3.2.8.** Для дослідження впливу мінливості основних чинників на віддаль між дренами було використано та застосовано у подальшому методи статистичного моделювання та методи теорії ймовірності, за допомогою яких розроблено математичні моделі для визначення середнього квадратичного відхилення визначального чинника досліджуваної функції.

**3.2.9.** За результатами статистичних досліджень було визначено, що модуль дренажного стоку, який характеризує інтенсивність осушення ґрунту і території, пов'язаний та формується переважно величинами норми осушення, дольова частка якої складає 84...94%, коефіцієнта фільтрації 2...4% та часу відведення надлишкової води і має істотний вплив на величину відстані між дренами, який складає 86%...98%.



Национальний університет  
водного господарства  
та природокористування

Рис. 3.1. Структурно-логічна схема формування гідрологічної дії дренажу:

$k_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації;  $Z$  – шар опадів;  $E$  – шар випаровування;  $\mu$  – коефіцієнт водовіддачі;  $H$  – глибина залягання РГВ;  $i$  – ухил поверхні землі;  $\Phi_0$  – фільтраційні опори за характером розкриття водоносного пласту;  $q$  – модуль дренажного стоку;  $a$  – норма осушення;  $t$  – час впродовж якого відводиться шар води з ґрунту;  $T_{д}$  – віддаль від осі дрени до водоупору;  $D$  – діаметр дрени;  $F_{\delta}$  – характеристика фільтра дренажу

**3.2.10.** Таким чином, модуль дренажного стоку є визначальним показником для обґрунтування параметрів ДС та їх елементів при роботі її в режимі осушення.

**3.2.11.** Традиційно конструкції та параметри регулюючих елементів ДС визначаються за розрахунковим модулем дренажного стоку (витратою або рівнем води), який забезпечує необхідні умови відведення зайвої вологи з активного шару ґрунту та осушеного масиву в цілому у весняний період (як основний розрахунковий) і відповідає певному рівню розрахункової забезпеченості формування гідрографа стоку.

**3.2.12.** Для обґрунтування величини розрахункового модуля дренажного стоку традиційно застосовують *емпіричний, аналітичний, водно-балансовий* методи або приймають його за рекомендаціями без достатнього економічного та екологічного обґрунтування, що не відповідає сучасним вимогам при створенні та функціонуванні такого роду об'єктів.

**3.2.13.** Як показують практика і набутий досвід, при розрахунку параметрів дренажу, як визначального регулюючого елементу ДС, значення модулів дренажного стоку приймались в межах: для мінеральних ґрунтів 0,4...0,6 л/с·га, для торф'яних – 0,2...0,6 л/с·га. Ці рекомендовані значення не виправдали себе щодо змін сучасних умов та вимог до формування економічного і абсолютно-екологічного ефекту в межах системи. Тому виникає необхідність у додатковому вивченні питання щодо умов формування, визначення та обґрунтування модулів розрахункових значень модулів дренажного стоку, які визначально впливають на параметри регулюючих елементів, загальну вартість та ефективність ДС в цілому при проектуванні її реконструкції, модернізації та будівництва.

### 3.3. Формування модулів дренажного стоку та їх параметрів у змінних кліматичних та агроеліоративних умовах

**3.3.1.** Проведені дослідження на основі прогнозно-імітаційного моделювання за відповідним комплексом моделей щодо кліматичних умов місцевості, водного режиму, технологій водорегулювання (осушення) та продуктивності осушуваних земель для



схематизованих метеорологічних режимів розрахункових щодо тепло й вологозабезпеченості років, природних, агротехнічних, агроеліоративних умов розташування ДС показали, що відбувається значна зміна в часі та просторі динаміки поточних та середньозважених, середньодекадних значень модулів дренажного стоку при різних погодно-кліматичних умовах, вирощуванні різних сільськогосподарських культур на різних ґрунтах зони Західного Полісся України (рис. 3.2).

**3.3.2.** Так поточні максимальні середньодекадні значення модулів дренажного стоку у весняний посівний період для зернових та багаторічних трав на мінеральних ґрунтах змінюються в інтервалі 0,38...0,68 л/с·га, а на торфових – 0,65...0,94 л/с·га, відповідно для картоплі 0,40...0,62 л/с·га та 0,38...0,96 л/с·га. Упродовж періоду вегетації динаміка та значення модулів дренажного стоку для мінерального ґрунту вони в середньому складають 0,25...0,020 л/с·га; для торфового – 0,30...0,015 л/с·га.

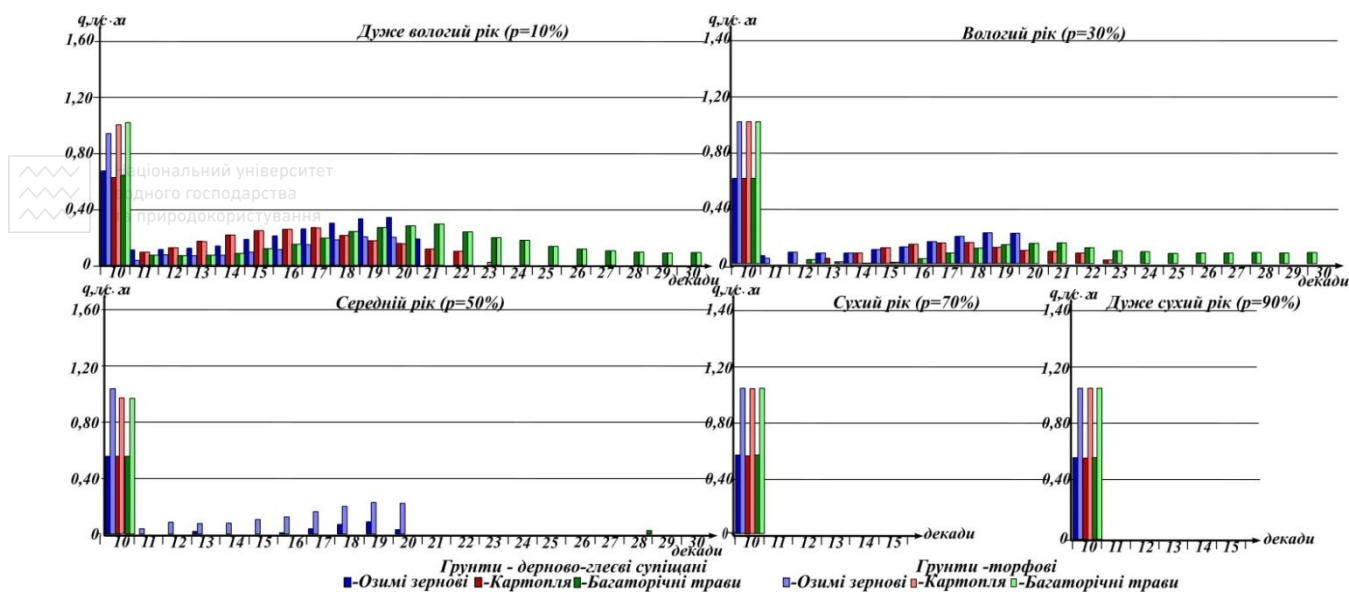


Рис. 3.2. Поточні максимальні середньодекадні значення модулів дренажного стоку, які формуються в період роботи ДС по основних культурах на мінеральних та торфових ґрунтах у змінних кліматичних умовах зони Західного Полісся України

**3.3.3.** Узагальнені результати щодо мінливості усереднених середньодекадних значень модулів дренажного стоку за змінними погодно-кліматичними, ґрунтовими, агроеліоративними умовами та по системі в цілому в зоні Західного Полісся України подані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Усереднені значення модулів дренажного стоку, які формуються в період роботи ДС змінними погодно-кліматичними, ґрунтовими та агроеліоративними умовами зони Західного Полісся України

Культура	Частка культури в сівозміні	Розрахункові роки за забезпеченістю, p, %					Середньозважені значення л/с·га
		10	30	50	70	90	
Середньодекадні модулі дренажного стоку, л/с·га							
Мінеральні ґрунти							
Озимі зернові	0,2	<u>0,62-0,17</u> 0,41	<u>0,52-0,18</u> 0,32	<u>0,46-0,02</u> 0,16	<u>0,45-0</u> 0,11	<u>0,40-0</u> 0,06	<b><u>0,41-0,03</u></b> <b>0,21</b>
Картопля	0,3	<u>0,57-0,09</u> 0,38	<u>0,52-0,02</u> 0,28	<u>0,46-0,02</u> 0,11	<u>0,45-0</u> 0,10	<u>0,40-0</u> 0,06	<b><u>0,41-0,01</u></b> <b>0,19</b>
Багаторічні трави	0,5	<u>0,59-0,08</u> 0,51	<u>0,53-0,06</u> 0,35	<u>0,47-0,02</u> 0,12	<u>0,44-0</u> 0,10	<u>0,41-0</u> 0,06	<b><u>0,42-0,01</u></b> <b>0,23</b>



продовження табл. 3.1

По системі в цілому	1,0	<u>0,59-0,10</u> 0,45	<u>0,52-0,06</u> 0,32	<u>0,47-0,02</u> 0,12	<u>0,44-0</u> 0,10	<u>0,41-0</u> 0,06	<u>0,48-0,03</u> 0,21
Торфові ґрунти							
Озимі зернові	0,2	<u>0,96-0,17</u> 0,46	<u>0,86-0,18</u> 0,39	<u>0,81-0,02</u> 0,25	<u>0,75-0</u> 0,18	<u>0,74-0</u> 0,11	<u>0,82-0,07</u> 0,28
Картопля	0,3	<u>0,92-0,09</u> 0,43	<u>0,86-0,02</u> 0,35	<u>0,84-0</u> 0,20	<u>0,81-0</u> 0,18	<u>0,74-0</u> 0,12	<u>0,83-0,02</u> 0,26
Багаторічні трави	0,5	<u>0,93-0,08</u> 0,56	<u>0,86-0,06</u> 0,42	<u>0,84-0</u> 0,20	<u>0,81-0</u> 0,18	<u>0,74-0</u> 0,12	<u>0,84-0,03</u> 0,30
По системі в цілому	1,0	<u>0,94-0,10</u> 0,50	<u>0,86-0,07</u> 0,39	<u>0,83-0,05</u> 0,21	<u>0,80-0</u> 0,19	<u>0,74-0</u> 0,12	<u>0,83-0,03</u> 0,28

Примітка: 0,62-0,17 – максимальні та мінімальні значення модулів дренажного стоку;  
0,41 – середньозважені значення модулів дренажного стоку.

**3.3.4.** Наведені результати свідчать, що значення модулів дренажного стоку, як по виділених основних факторах так і по системі в цілому значно (більш ніж в кілька разів) відрізняються, перш за все, як від їх максимальних поточних 0,41–0,94 л/с·га, так і середньовеgetаційних значень від 0,10–0,50 л/с·га, що істотно не відповідають рекомендованим розрахунковим їх значенням.

**3.3.5.** За статистично опрацьованими результатами імітаційного моделювання, що розглянуті вище, побудовано криві забезпеченості для усереднених максимальних середньодекадних значень модулів дренажного стоку на початку польових робіт (рис. 3.3).

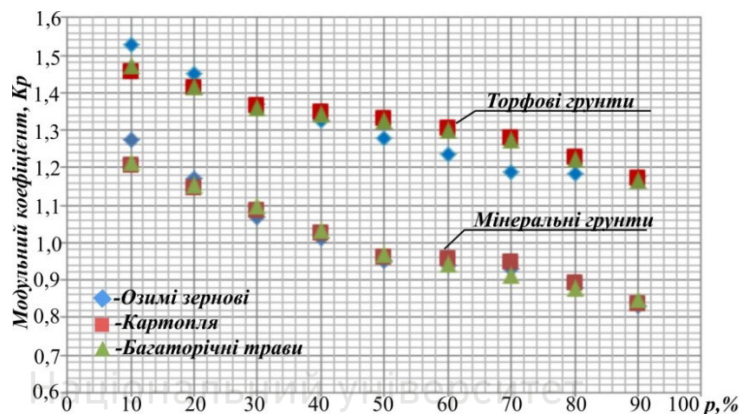


Рис. 3.3. Криві забезпеченості усереднених максимальних середньодекадних модулів дренажного стоку по основних культурах на мінеральних та торфових ґрунтах зони Західного Полісся України

**3.3.6.** Для досліджуваних умов криві розподілу значень модулю дренажного стоку найбільш точно описуються біноміальною кривою Пірсона III типу

$$y = y_m \cdot (1 + x/a)^{a/d} \cdot \exp(-x/d), \quad (3.5)$$

де  $y$  – відповідне значення частоти (ординати кривої розподілу);  $y_m$  – модульна ордината (найбільша частота);  $x$  – змінне значення гідрологічної характеристики, що розглядається (абсциса кривої розподілу);  $d$  – радіус асиметрії (відстань між модою й центром розподілу);  $a$  – відстань від початку кривої розподілу до моди.

Відповідні величини параметрів  $a$  і  $d$  за розглянутими змінними умовами залежать від коефіцієнтів варіації  $C_v$  та коефіцієнта асиметрії  $C_s$  (табл. 3.2).

Характеристика варіації  $C_v$  та асиметрії  $C_s$  для максимальних середньодадних значень модулів дренажного стоку

Культура	Коефіцієнти варіації та асиметрії.	
	$C_v$	$C_s$
Озимі зернові	<u>0,17</u>	<u>1,34</u>
	0,37	1,84
Картопля	<u>0,14</u>	<u>0,68</u>
	0,37	1,65
Багаторічні трави	<u>0,15</u>	<u>0,87</u>
	0,38	1,68

Примітка 0,17 – коефіцієнти варіації та асиметрії для мінеральних ґрунтів;  
0,37 – коефіцієнти варіації та асиметрії для торфових ґрунтів.

**3.3.7.** Отримані результати проведених досліджень переконливо свідчать, що як поточні, так і осереднені значення модуля дренажного стоку в досліджуваних умовах мають виражений змінний характер щодо кліматичних умов, виду вирощуваних культур та виду ґрунту. При цьому його величина як щодо виділених основних факторів, так і по ДС в цілому значно відрізняється від традиційно прийнятих розрахункових його значень, що визначає необхідність врахування цього при розробці проектів реконструкції, будівництва та експлуатації такого роду об'єктів.

### 3.4. Обґрунтування розрахункових параметрів модуля дренажного стоку

**3.4.1.** Оскільки основним (розрахунковим) періодом роботи ДС та її основних регулюючих елементів в режимі осушення є весняний період, тому вплив їх роботи на формування врожаю вирощуваних культур може бути оцінений через зв'язок між параметрами ефекту ( $Y_i$ ) і сумою позитивних середньодобових температур повітря, накопиченою після дати оптимального терміну посіву або відновлення вегетації вирощуваної культури, як параметрами відповідного природно-меліоративного режиму ( $\sum \hat{T}_k^e$ )

$$Y_i = f_2(\sum \hat{T}_k^e). \quad (3.6)$$

**3.4.2.** Функція (3.6) у свою чергу може бути виражена як

$$q_{mk}^r = f_2'(U_k^r, \sum \hat{T}_{kr}^e). \quad (3.7)$$

У такому вигляді вона відображає взаємозв'язок між різними рівнями ефективності роботи ДС та її основних регулюючих елементів сукупності  $\{q_r\}$ ,  $\{Q_r\}$   $r = \overline{1, n_r}$  ( $r = 1$  – екологічний,  $r = 2$  – технологічний,  $r = 3$  – економічний) у весняний розрахунковий період та рівнями продуктивності (рентабельності та цінності) вирощуваних культур  $U_k^r = f(Y_k^r)$ , ( $U_k^{(1)}$  – низький,  $U_k^{(2)}$  – середній,  $U_k^{(3)}$  – високий) з відповідними значеннями визначеного нами максимального відхилення суми середньодобових температур повітря, накопичених від дати оптимального терміну посіву або відновлення вегетації  $\sum \hat{T}_{kr}^e$  в зоні їх біологічного оптимуму (рис. 3.4).

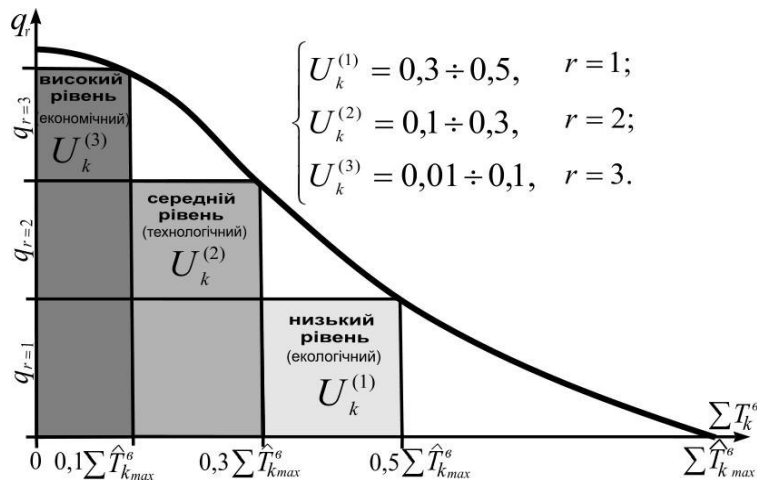


Рис. 3.4. Загальна схема залежності  $q_r$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  від  $\sum \hat{T}_{kr}^e$  для  $k$ -тої культури щодо екологічного, технологічного та економічного рівнів ефективності роботи ДС та її основних регулюючих елементів

**3.4.3.** Виходячи із загальної постановки задачі, знаходження вихідних значень модуля дренажного стоку щодо різних рівнів ефективності роботи ДС  $\{q_r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  можуть бути визначені за такою емпіричною залежністю

$$q_r = \left( \frac{A_z \cdot \mu^{0.5}}{\sum \hat{T}_{kr}^e + B_z} \right)^{0.5}, r = \overline{1, n_r}, \quad (3.8)$$

де  $A_z$  і  $B_z$  – зональні емпіричні коефіцієнти, які залежать від місцезнаходження об'єкта;  $\mu$  – коефіцієнт водовіддачі ґрунту;  $\sum \hat{T}_{kr}^e$  – сума позитивних середньодобових температур повітря, накопичена від дати оптимального терміну посіву або відновлення вегетації щодо рівнів ефективності роботи дренажу, а також, продуктивності, рентабельності та цінності вирощуваних сільськогосподарських культур.

**3.4.4.** Розрахункові значення модулів дренажного стоку  $\hat{q}_{rp}$  на рівні кожної вирощуваної культури проектної сівозміни щодо різних рівнів ефективності роботи ДС сукупності  $\{r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  в розрахункові щодо тепло- і вологабезпеченості періодів вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ , можуть бути визначені як

$$\hat{q}_{rp} = q_r \cdot K_{rp}, r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}. \quad (3.9)$$

**3.4.5.** Тут коефіцієнт  $K_{rp}$  враховує умови тепло- й вологабезпеченості періоду вегетації вирощуваної  $k$ -тої культури у  $p$  – рік визначеної розрахункової забезпеченості сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$ , та може бути визначений як

$$K_{rp} = y_m \cdot (1 + p/a)^{a/d} \cdot \exp(-p/d), r = \overline{1, n_r}, p = \overline{1, n_p}. \quad (3.10)$$

Даний коефіцієнт визначається на основі використання відповідних біноміальних кривих Пірсона III типу (див. п. 3.3.4).

**3.4.6.** Виходячи із загальної постановки оптимізаційної задачі щодо параметрів ДС та її основних регулюючих елементів, головною вимогою до функції зв'язку між параметрами ефекту та модулем дренажного стоку є необхідність визначення змінного значення оптимуму щодо відповідного рівня ефективності його роботи.

**3.4.7.** Тоді залежність (3.4) (див. п. 3.1.15) набуде вигляду  $Y_i = f_3(k_d)$  і може бути реалізована аналогічно за відомим підходом, що встановлює зв'язок урожайності вирощуваних культур з визначальними складовими продуктивного процесу (фотосинтез, водоспоживання тощо) та відповідними факторами впливу зовнішнього середовища

(температурний, водно-повітряний режими тощо) в прогнозно-імітаційні моделі продуктивності вирощуваних культур.

**3.4.8.** Тому в загальному випадку, пропонується функцію  $k_{d_i} = f_2(q_i)$  реалізувати як сімейство відповідних нормованих кривих у вигляді складених тригонометричних функцій зі змінним характером визначення точки «оптимальної» (заданої) продуктивності вирощуваної культури проектної сівозміни, коли  $k_d = 1$ , щодо відповідних значень параметрів модуля дренажного стоку за різними рівнями ефективності роботи ДС та її основних регулюючих елементів  $\{q_r\}$ ,  $r = \overline{1, n_r}$  (рис. 3.5).

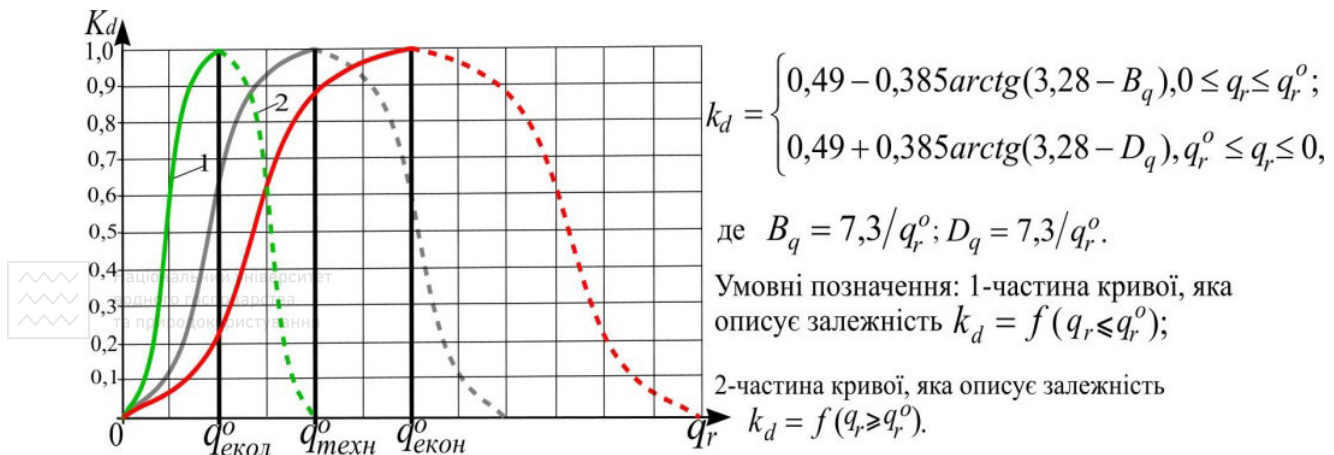


Рис. 3.5. Сімейство кривих, які описують залежність  $k_d = f_2(q_r)$

**3.4.9.** На основі отриманих кривих встановлено зв'язок між параметрами ефекту та модулем дренажного стоку, що дасть змогу в кожному конкретному випадку визначати змінне значення оптимуму щодо ефективності роботи ДС та її основних регулюючих елементів за відповідними рівнями продуктивності вирощуваних культур (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Значення коефіцієнта впливу роботи ДС та її основних регулюючих елементів  $k_d$  при формуванні врожаю від модуля дренажного стоку при різних рівнях її ефективності  $q_r$

		Коефіцієнти впливу роботи ДС та її основних регулюючих елементів при формуванні врожаю ( $k_d$ ).									
№	$q_r$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,05	0,617	0,110	0,053	0,033	0,023	0,017	0,013	0,010	0,008	0,006
2	0,1	1,00	0,617	0,211	0,110	0,072	0,053	0,041	0,033	0,027	0,023
3	0,15		0,924	0,617	0,290	0,163	0,110	0,082	0,064	0,053	0,044
4	0,2		1,00	0,871	0,617	0,347	0,211	0,146	0,110	0,087	0,072
5	0,25			0,957	0,833	0,617	0,390	0,253	0,180	0,137	0,110
6	0,3			1,00	0,924	0,803	0,617	0,422	0,290	0,211	0,163
7	0,35				0,969	0,896	0,780	0,617	0,447	0,321	0,240
8	0,4				1,00	0,945	0,871	0,762	0,617	0,466	0,347
9	0,45					0,975	0,924	0,851	0,748	0,617	0,482
10	0,5					1,00	0,957	0,905	0,833	0,736	0,617
11	0,55						0,979	0,940	0,887	0,817	0,725
12	0,6						1,00	0,964	0,924	0,871	0,803
13	0,65							0,982	0,950	0,909	0,857
14	0,7							1,00	0,969	0,936	0,896
15	0,75								0,984	0,957	0,924
16	0,8								1,00	0,973	0,945
17	0,85									0,985	0,962
18	0,9									1,00	0,975
19	0,95										0,986
20	1,0										1,00

### 3.5. Модуль водоподачі як визначальний показник при обґрунтуванні параметрів осушувальних-зволожувальних систем та їх елементів

**3.5.1.** Як було визначено в п.п. 3.1.1–3.1.7 у сучасних змінних умовах слід переходити на удосконалені конструкції ДС двосторонньої дії з підґрунтовим зволоженням. Для таких систем параметри основних регулюючих елементів (дренаж, канали бокової мережі, магістральний канал, шлюзи-регулятори тощо) мають бути визначені за умовами їх роботи як в режимі осушення, так і підґрунтового зволоження.

**3.5.2.** Оскільки режими роботи ДС двосторонньої дії при роботі її в режимі осушення і підґрунтового зволоження аналогічні, але взаємопротилежні, при їх реалізації, аналогічно до модуля дренажного стоку, були проведені відповідні дослідження щодо модулів водоподачі.

**3.5.3.** На підставі аналізу й узагальнення наявних найбільш поширених та загальноприйнятих *гідромеханічного* та *емпіричного* підходів до обґрунтування параметрів сільськогосподарського дренажу при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель була сформована, аналогічно до модуля дренажного стоку (див. п. 3.2.7), відповідна структурно-логічна схема (рис. 3.6).

Вона відображає вплив основних умов роботи дренажу (кліматичні, ґрунтові, рельєфні та ін.) при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель та множинних факторів впливу (модуль водоподачі, напір над дреною, час зволоження, відстані від осі дрени до водоупору, діаметр дрени та характеристика фільтра дренажу) на його параметри, що також є елементами складної багатопараметричної моделі.

**3.5.4.** За результатами відповідних статистичних досліджень було визначено, що, як і при роботі дренажу в режимі осушення, при підґрунтовому зволоженні на параметри дренажу суттєво (на рівні 73...94%) впливають тиск над дренами (58...82%), коефіцієнт фільтрації ґрунтів та час підняття РГВ (12...18%). Ці ж показники прямо або опосередковано формують модуль водоподачі при проведенні підґрунтового зволоження.

**3.5.5.** Таким чином, модуль водоподачі (аналогічно до модуля дренажного стоку) є визначальним показником для обґрунтування параметрів ДС та їх елементів при роботі в режимі підґрунтового зволоження.

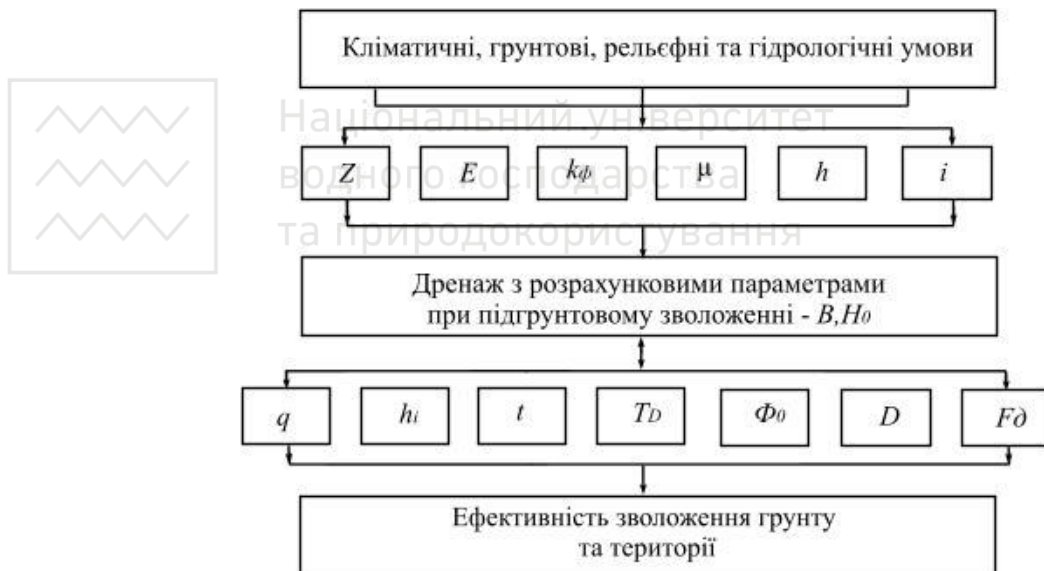


Рис. 3.6. Структурно-логічна схема формування основних чинників впливу на роботу та зволожуючу дію дренажу, який працює в режимі підґрунтового зволоження:

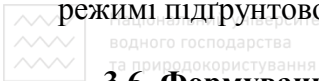
$q$  – модуль водоподачі;  $H_0$  – напір води в дрени;  $t$  – час зволоження

**3.5.6.** Як і для модуля дренажного стоку, для обчислення розрахункового модуля водоподачі при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель аналогічно застосовують *емпіричний, аналітичний, водно-балансовий* методи або задаються чи приймають його



відповідно до рекомендацій без достатнього економічного та екологічного обґрунтування, що не відповідає сучасним вимогам.

**3.5.7.** За узагальненими результатами проведених досліджень для зони Полісся і Лісостепу України при розрахунку параметрів дренажу що працює в режимі підґрунтового зволоження, як визначального регулюючого елементу ДС двобічної дії, значення модулів водоподачі приймалися в межах: для мінеральних ґрунтів 8,0...6,0 л/с·га; відповідно торфових ґрунтів 4,0...6,0 л/с·га. Ці рекомендовані значення, як розрахункові, також, не виправдали себе з тієї точки зору, що встановлені за ними параметри дренажу, як і при осушенні, враховують загалом тільки технологічні умови його роботи. Але при цьому недостатньо враховують технологію зволоження, види вирощуваних культур, мінливість погодно-кліматичних умов, а також умови формування економічного і абсолютно – екологічного ефекту, тобто не є економічно та екологічно оптимальними для розрахунку ДС та її основних регулюючих елементів в режимі підґрунтового зволоження. Тому, як і для модуля дренажного стоку, також виникає необхідність у додатковому вивченні питання щодо умов формування, визначення та обґрунтування модулів водоподачі, які визначально впливають на параметри регулюючих елементів та загальну вартість ДС при роботі її в режимі підґрунтового зволоження.



### **3.6. Формування модулів водоподачі та їх параметрів при зволоженні осушуваних земель у змінних кліматичних та агроеліоративних умовах**

**3.6.1.** Оскільки традиційно умови формування модуля дренажного стоку відбуваються у весняний розрахунковий період (вплив якого важко врахувати на умови формування врожаю сільськогосподарських культур), а модуль водоподачі формується безпосередньо у вегетаційний розрахунковий для нього період, коли відбувається розвиток та формування врожаю сільськогосподарських культур, виникає необхідність у вивченні питання щодо умов формування, визначення та обґрунтування модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель як у сучасних, так і прогнозованих з урахуванням їх можливих змін, погодно-кліматичних умовах.

**3.6.2.** Проведені на основі прогнозно-імітаційного моделювання дослідження за відповідним комплексом моделей щодо кліматичних умов місцевості, водного режиму, технологій водорегулювання (підґрунтове зволоження) та продуктивності осушуваних земель показали, що, як і для модуля дренажного стоку при роботі ДС в режимі осушення відбувається значна зміна в часі та просторі динаміки поточних середньодекадних значень модулів водоподачі, які формуються на системі при проведенні підґрунтового зволоження з тривалим підпором рівнів води в різні розрахункові за умовами тепло-й вологозабезпеченості періоди вегетації, як в сучасних, так і прогнозованих умовах їх реалізації, вирощуванні основних видів сільськогосподарських культур на мінеральних і торфових ґрунтах у зоні Західного Полісся України (рис. 3.7).

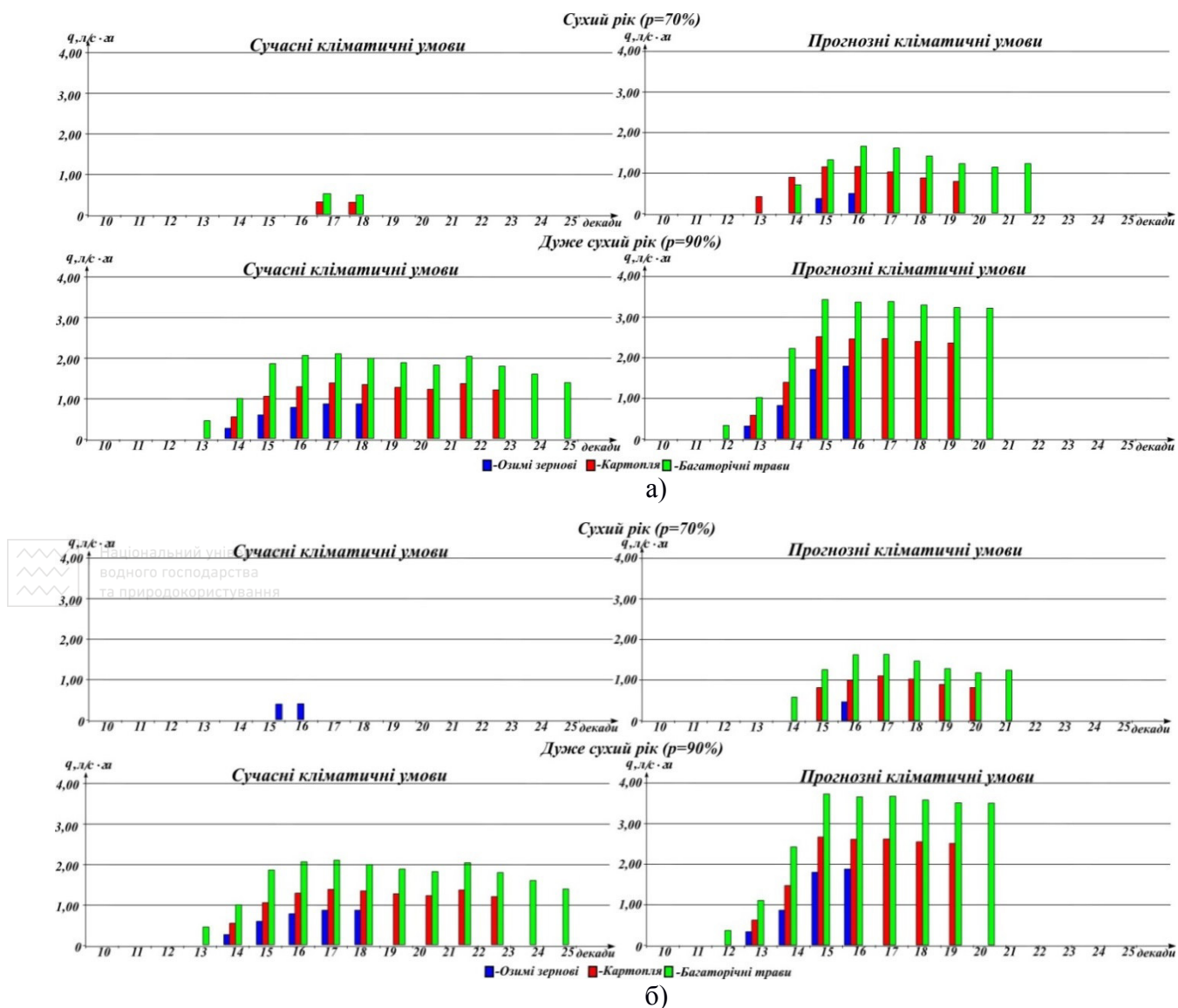


Рис. 3.7. Поточні максимальні середньодекадні значення модулів водоподачі при проведенні підґрунтового зволоження при вирощуванні основних сільськогосподарських культур на осушуваних (а) - мінеральних та (б) торфових ґрунтах у змінних кліматичних умовах зони Західного Полісся України

**3.6.3.** Встановлено, що поточні максимальні середньодекадні значення модуля водоподачі при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель, аналогічно модулю дренажного стоку, також мають виражений мінливий характер. Відбувається значна зміна їх значень щодо сучасних кліматичних умов за їх варіюванням (від 0,55 л/с·га в сухий рік до 2,0 л/с·га в дуже сухий рік), виду вирощуваних культур (від 0,17 л/с·га по зернових до 0,9 л/с·га по травах), виду ґрунту (від 0,5 л/с·га до 2,2 л/с·га). Для прогнозних умов ці зміни складають щодо варіювання кліматичних умов (від 0,55 л/с·га в сухий рік до 3,8 л/с·га в дуже сухий рік), виду вирощуваних культур (від 0,5 л/с·га по зернових до 3,9 л/с·га по травах), виду ґрунту (від 0,5 л/с·га до 3,9 л/с·га). При цьому водопотреба вирощуваних сільськогосподарських культур зростає практично в два-три рази та визначає необхідність їх регулярного зволоження в означеній зоні.

**3.6.4.** Узагальнені результати щодо варіювання та формування усереднених середньодекадних значень модулів водоподачі при проведенні підґрунтового зволоження за змінними сучасними та прогнозними погодно-кліматичними, агроеліоративними умовами та по системі в цілому в зоні Західного Полісся України подані у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Варіювання та усереднені значення модулів водоподачі при проведенні підґрунтового зволоження за змінними сучасними та прогнозними погодно-кліматичними, ґрунтовими, агроеліоративними умовами зони Західного Полісся України

Культура	Частка культур и в сівозміні	Розрахункові модулі водоподачі, л/с·га					
		Сучасні кліматичні умови			Прогнозні кліматичні умови		
		p=70%	p=90%	Середньозважені значення	p=70%	p=90%	Середньозважені значення
Мінеральні ґрунти							
Озимі зернові	0,2	<u>0,00-0,00</u> 0,00	<u>0,86-0,25</u> 0,17	<u>0,12-0,04</u> 0,02	<u>0,49-0,00</u> 0,12	<u>1,79-0,27</u> 0,69	<u>0,39-0,04</u> 0,13
Картопля	0,3	<u>0,32-0,02</u> 0,06	<u>1,35-0,53</u> 1,06	<u>0,28-0,08</u> 0,17	<u>1,16-0,72</u> 0,70	<u>2,66-0,52</u> 1,67	<u>0,68-0,26</u> 0,42
Багаторічні трави	0,5	<u>0,54-0,02</u> 0,06	<u>2,08-0,44</u> 1,32	<u>0,44-0,07</u> 0,21	<u>1,66-0,51</u> 0,86	<u>3,67-0,91</u> 2,13	<u>0,96-0,26</u> 0,53
По системі в цілому	1,0	<u>0,33-0,01</u> 0,04	<u>1,48-0,37</u> 0,90	<u>0,30-0,05</u> 0,14	<u>1,16-0,49</u> 0,59	<u>2,72-0,36</u> 1,53	<u>0,69-0,17</u> 0,37
Торфові ґрунти							
Озимі зернові	0,2	<u>0,00-0,00</u> 0,00	<u>0,86-0,25</u> 0,30	<u>0,13-0,03</u> 0,05	<u>0,41-0,6</u> 0,06	<u>1,75-0,32</u> 0,60	<u>0,37-0,13</u> 0,10
Картопля	0,3	<u>0,00-0,00</u> 0,00	<u>1,35-0,53</u> 0,97	<u>0,20-0,07</u> 0,14	<u>0,97-0,41</u> 0,55	<u>2,73-0,61</u> 1,62	<u>0,65-0,19</u> 0,38
Багаторічні трави	0,5	<u>0,46-0,02</u> 0,05	<u>2,08-0,44</u> 1,04	<u>0,43-0,06</u> 0,17	<u>1,44-0,69</u> 0,76	<u>3,95-0,36</u> 2,51	<u>0,95-0,22</u> 0,57
По системі в цілому	1,0	<u>0,23-0,01</u> 0,03	<u>1,62-0,37</u> 0,87	<u>0,30-0,05</u> 0,14	<u>1,09-0,54</u> 0,56	<u>3,14-0,48</u> 1,86	<u>0,74-0,38</u> 0,42

Примітка: 0,23-0,26 – максимальні та мінімальні значення модулів водоподачі;  
0,03 – середньозважені значення модулів водоподачі.

3.6.5. Наведені результати свідчать, що значення модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні як по виділених основних факторах, так і по системі в цілому, значно (більш ніж в кілька разів) відрізняються, перш за все, як від їх максимальних поточних (сучасні умови від 0,12 л/с·га до 0,44 л/с·га, прогнозні від 0,37 л/с·га до 0,96 л/с·га), так і середньовеgetаційних значень (сучасні умови від 0,04 л/с·га до 0,44 л/с·га, прогнозні від 0,39 л/с·га до 0,96 л/с·га), що істотно відрізняються рекомендованим розрахунковим їх значень.

3.6.6. За статистично опрацьованими результатами імітаційного моделювання, що розглянуті вище, побудовано криві забезпеченості для усереднених максимальних значень модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні в періоди вегетації основних вирощуваних сільськогосподарських культур на осушуваних мінеральних і торфових ґрунтах (рис. 3.8).

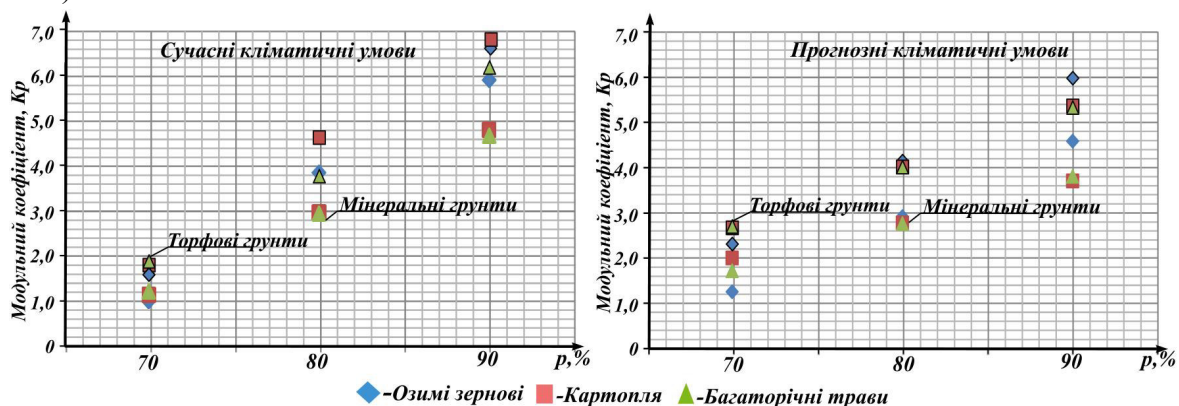


Рис. 3.8. Криві забезпеченості усереднених максимальних середньодекадних модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні для основних сільськогосподарських культур, що вирощуються на осушуваних мінеральних і торфових ґрунтах в умовах Західного Полісся України

**3.6.7.** Для досліджуваних умов криві розподілу значень модулів водоподачі найбільш точно описуються, на відміну від модуля дренажного стоку (п. 3.4.5) біноміальною кривою Пірсона I типу

$$y = y_0 \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{m_1} \cdot \left(1 + \frac{x}{a_2}\right)^{m_2}, \quad (3.11)$$

де коефіцієнти  $a$ ,  $a_2$  та асиметрії  $m_1$ ,  $m_2$  кривої Пірсона I типу, визначені за методом найменших квадратів, представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Характеристика варіації  $a$ ,  $a_2$  та асиметрії  $m_1$ ,  $m_2$  для максимальних значень модулів водоподачі

Коефіцієнти варіації та асиметрії							
Сучасні кліматичні умови				Прогнозні кліматичні умови			
$a$	$a_2$	$m_1$	$m_2$	$a$	$a_2$	$m_1$	$m_2$
<u>2,13</u>	<u>2,25</u>	<u>2,99</u>	<u>1,20</u>	<u>1,33</u>	<u>1,45</u>	<u>2,37</u>	<u>1,28</u>
3,48	3,61	3,82	1,38	2,21	2,47	2,74	1,41

Примітка. 2,13 – коефіцієнти варіації і асиметрії для мінеральних ґрунтів;

3,48 – коефіцієнти варіації і асиметрії для торф'яних ґрунтів.

**3.6.8.** Отримані результати свідчать, що закон розподілу модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні в цілому аналогічний за характером, але протилежний за направленням зміни закону розподілу модуля дренажного стоку при роботі ДС в режимі осушення і відповідає характеру зміни раніше встановлених нами закономірностям розподілу основних кліматичних характеристик (опадів, температури, дефіциту відносної вологості повітря) в досліджуваних умовах і підтверджує визначальну залежність їх формування від них.

**3.6.9.** Отже проведені дослідження та отримані за ними результати визначають необхідність врахування значної мінливості реальних значень модуля водоподачі за змінними природно-агро-меліоративними умовами реального об'єкта при підґрунтовому зволоженні осушуваних земель шляхом удосконалення існуючих методів і підходів до обґрунтування їх розрахункових оптимальних величин при розробці проектів реконструкції, модернізації, будівництва та експлуатації ДС з двобічним регулюванням водного режиму на регулярній основі.

### 3.7. Обґрунтування розрахункових параметрів модуля водоподачі

**3.7.1.** Оскільки розрахунковим періодом роботи ДС та її основних регулюючих елементів в режимі підґрунтового зволоження є вегетаційний період розвитку та формування врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур на осушуваних землях, зв'язок між параметрами ефекту ( $Y_i$ ) та параметрами модуля водоподачі ( $q_m^e$ ) виду (3.4) (див. п. 3.1.15). Для умов досліджуваного реального об'єкту такий зв'язок може бути визначений за результатами імітаційного моделювання за відповідним комплексом прогнозно-імітаційних моделей, методичним та інформаційним забезпеченням з їх реалізації щодо кліматичних умов місцевості чи метеорологічних режимів, водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, а також розвитку й формування врожаю вирощуваних культур. Практичне їх застосування регламентоване відповідними галузевими нормативами Держводагентства України.

**3.7.2.** У разі відсутності такої можливості при розробці проекту ДС означене завдання може бути вирішене шляхом визначення відповідних модулів водоподачі за всім спектром змінних природно-кліматичних та агро-меліоративних умов реального об'єкту на основі застосування закону розподілу відповідних модулів водоподачі при підґрунтовому зволоженні щодо виду вирощуваних культур проектної сівозміни у відповідних ґрунтових

умовах (див. п. 3.6.7) та прийнятих або зданих рівнях їхньої продуктивності (врожайності культур).

**3.7.3.** Визначені за розглянутими удосконаленими підходами розрахункові параметри модуля дренажного стоку та модуля водоподачі, на відміну від наявного традиційного, будуть відповідати сучасним економічним й екологічним вимогам та підвищать об'єктивність проектних рішень щодо сучасних змінних умов та вимог.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## 4. ГЛИБОКЕ РОЗПУШЕННЯ ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ ЯК АДАПТИВНИЙ АГРОМЕЛІОРАТИВНИЙ ЗАХІД З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У ЗМІННИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

### 4.1. Вихідні передумови

**4.1.1.** Глибоке розпушення ґрунту є традиційним агро меліоративним 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.

**4.1.2.** Воно відіграє важливу роль при регулюванні водно-повітряному 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.

**4.1.3.** Глибоке розпушення перезволожених ґрунтів рекомендується проводити тільки у поєднанні з дренажем при дотриманні відповідної технології робіт.

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

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

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

**4.1.7.** *Суцільне глибоке 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.

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

**4.1.9.** 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.

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

**4.1.11.** *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.

**4.1.12.** *Щільвання* – агро меліоративний 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.

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

**4.1.14.** Таким чином, глибоке розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів є ефективним адаптивним заходом у змінних кліматичних умовах (див. п. 3.3), 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.

4.1.15. 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.

## 4.2. Технічні засоби та технології проведення глибокого розпушення ґрунту

4.2.1. Для реалізації глибокого розпушення ґрунту залежно від його умов та виду ґрунту використовуються глибокорозпушувачі різного типу (рис. 4.1).

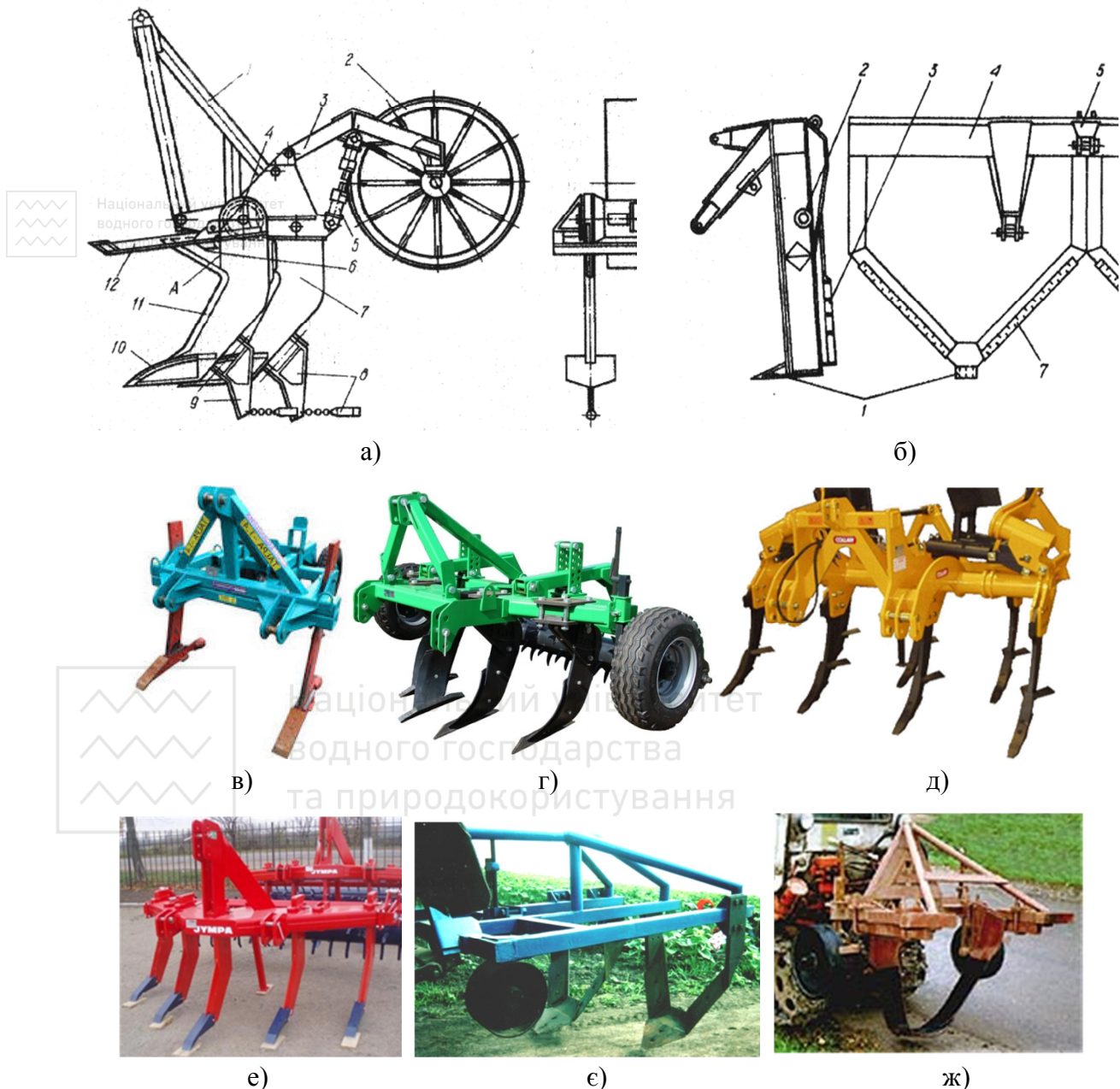


Рис. 4.1. Конструкції пасивних глибокорозпушувачів:

- а), в), г), д), е) – стоякові; б), д), е) – периметрові;
- а) 1 – рама; 2 – колісний хід; 3 – дишло; 4 – обойма; 5 – регулятор глибини; 6 – ножі-дернорізи; 7 – знімні стояки; 8 – кротовачі; 9 – спеціальні ножі; 10 – лемеші; 11 – ножі-стояки; 12 – щит; 13 – трубчаста балка;
- б) 1 – долото; 2 – місце кріплення опорного колеса; 3 – допоміжне пристосування; 4 – несучі балки; 5, 6 – кронштейни кріплення до задньої навіски трактора; 7 – бокові ножі

Вони поділяються: – **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 компоунванням**: рядні, ярусні, стоякові, периметрові, комбіновані; **за кількістю робочих елементів**: 1-, 2-, багатоелементні; **за видом робочого елемента**: полицеві, стрільчасті, жолобовидні, доловидні, скобовидні.

**4.2.2.** Активні та пасивно-активні глибокорозпушувачі значно складніші від пасивних за конструкцією і в експлуатації. Вони ефективні тільки на твердих (скальних) і щільних ґрунтах, а на відносно м'яких не мерзлих ґрунтах переваг перед пасивними практично не мають.

**4.2.3.** Найбільшого розповсюдження набули пасивні глибокорозпушувачі. Вони надійні, прості за конструкцією і в експлуатації, але потребують потужніших тягачів.

**4.2.4.** Технічна характеристика глибокорозпушувачів традиційної конструкції подана в табл. 4.1.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Таблиця 4.1

Технічна характеристика 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

**4.2.5.** Технічна характеристика агрономеліоративних глибокорозпушувачів вітчизняних виробників подана в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Технічна характеристика агрономеліоративних 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

**4.2.6.** Технічна характеристика агрономеліоративних глибокорозпушувачів закордонних виробників подана в табл. 4.3.

**4.2.7.** При виконанні глибокого розпушення 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.

Таблиця 4.3

Технічна характеристика агро меліоративних 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	

**4.2.8.** До технології глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів відносяться підготовчі роботи, виконання глибокого розпушення або глибоке розпушення з внесенням хімічних меліорантів і контроль за якістю проведених робіт.

**4.2.9.** Глибоке розпушення 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.

**4.2.10.** 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 оберту пласта. Внесення добрив і вапна призначають за необхідності згідно агрохімічних даних.

**4.2.11.** 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.

**4.2.12.** Для раціонального використання розпушувача при виконанні глибокого розпушення слід правильно визначати напрямок виконання розпушення, довжину і ширину загонів.

**4.2.13.** Залежно від конкретних умов та типу розпушувача глибоке розпушення проводять за такими відомими трьома основними схемами руху агрегату: човниковою, загінною і перехресною (рис. 4.2).

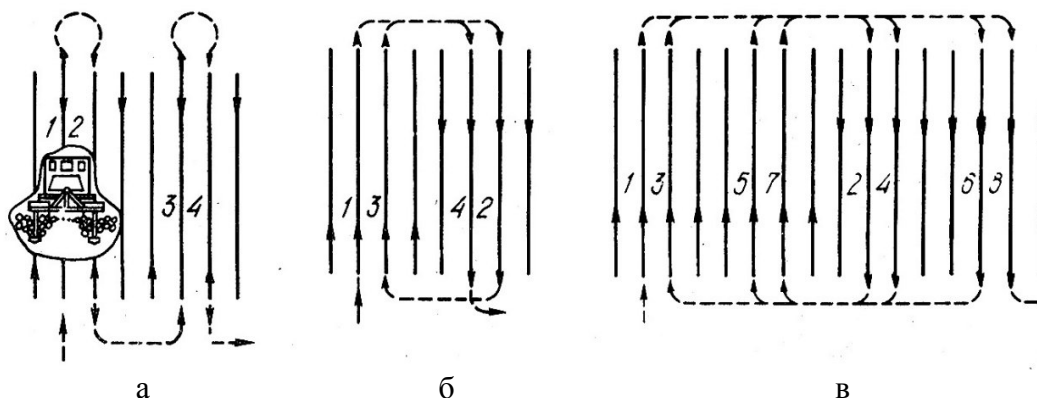


Рис. 4.2. Технологічні схеми руху розпушувача: а – човникова; б – загінна; в – перехресна



**4.2.14.** 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.

### 4.3. Необхідність та шляхи удосконалення глибокого розпушення ґрунту

**4.3.1.** Питання раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель визначає наступні задачі:

– необхідність диференціації ступеня дренажності ґрунту для покращення поверхневого і внутрішньогрунтового стоку, з чим пов'язана направленість і інтенсивність ґрунтових процесів,

– проведення агроеліоративних заходів, одночасно із застосуванням дренажу, спрямованих на збільшення акумулюючої здатності активного шару ґрунту та збагачення його поживними елементами.

**4.3.2.** Конструкції традиційних глибокорозпушувачів не гарантують необхідну якість розпушення ґрунтів, їх оструктурення, 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. 4.3).



Рис. 4.3. Основні недоліки традиційного глибокого розпушення ґрунтів

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

**4.3.4.** 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 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.

**4.3.5.** Утворення зернистої та дрібногрудочкової структури дає можливість максимально ефективно використати вологоакумуляуючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні над плужною підшвою де потенційно розміщуються кореневі системи більшості сільськогосподарських культур.

**4.3.6.** Утворення крупно- та середньогрудочкової 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 середньогрудочкової структури у верхній чверті верхнього шару захищає накопичену дещо нижче вологу від надлишкового випаровування з поверхні і вивітрювання.

**4.3.7.** В результаті в кожному з шарів ґрунту отримується вологоакумуляуюча структура, яка є відповідною до призначення кожного з них: з максимальним потенціалом вологоакумуляування у верхній частині та достатньою водопрopusкною спроможністю з одночасним акумулюванням деякої частини вологи у нижній частині ґрунтового профілю.

**4.3.8.** 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.

**4.3.9.** З метою усунення недоліків традиційних глибокорозпушувачів розроблені і пропонуються до виробничого застосування нові за принципом формування та дії, енергозберігаючі робочі органи для глибокого розпушення ґрунтів – *ярусні робочі органи* (рис. 4.4, табл. 4.4).

*Варіанти компоновки конструкції*



*Повнота розпушення поперечного профілю*

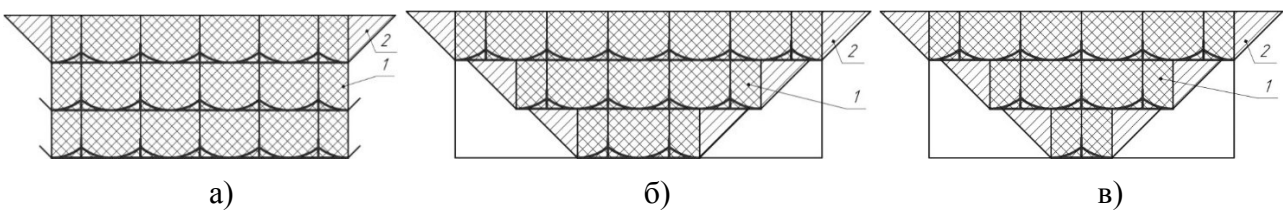


Рис. 4.4. Ярусні глибокорозпушувачі-оструктурювачі: а) – для легких ґрунтів (супіски та легкі суглинки); б) – для середніх ґрунтів (середні суглинки); в) – для важких ґрунтів (важкі суглинки, глини); 1 – повне структурне розпушення; 2 – часткове розпушення сколом

Таблиця 4.4

## Технічна характеристика ярусних глибокорозпушувачів-оструктурювачів

Показники	Значення	Показники	Значення
Тип обладнання	Навісне	Ширина захвату, м	2,0...2,5
Робочий елемент	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

**4.3.10.** 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. При цьому, даний розпушувач-оструктурювач має питомий опір розпушення до 40% менший, ніж у традиційних глибокорозпушувачів.

**4.3.11.** Ефективність застосування 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 органу). 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.

**4.3.12.** Порівняльна характеристика триярусних робочих органів глибокорозпушувачів з умовною шириною захвату на 6 ґрунторозпушувальних елементах однакового розміру представлена в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

## Порівняльна характеристика 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		Питоме відносне зусилля повноти розпушення, ум.*	
				загальна	структурна	загальне	структурне
1	I – прямокутний, рис. 6.4, 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. 6.4, б	рядне	12	0,8	0,67	15,0	17,9
5		клинове	10,5			13,1	15,7
6	III – трикутний, рис. 6.4, в	рядне	9	0,63	0,50	14,3	18,0
7		клинове	7,5			11,9	15,0

**4.3.13.** 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.

**4.3.14.** 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.

**4.3.15.** При виконанні глибокого розпушення важливим є питання щодо вибору типу

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

**4.3.16.** При виборі типу розпушувача можна керуватися рекомендаціями табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Умови використання основних типів розпушувачів

№ з/п	Вид розпушення	Категорія ґрунту	Кам'янистість ґрунту, що розпушується, м <sup>3</sup> /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	Ярусний глибокорозпушувач-оструктурювач



**4.3.17.** Вибір тягача можна проводити за графічними залежностями тягового опору від глибини розпушення при різних формах профілю розпушення, рис. 4.5.

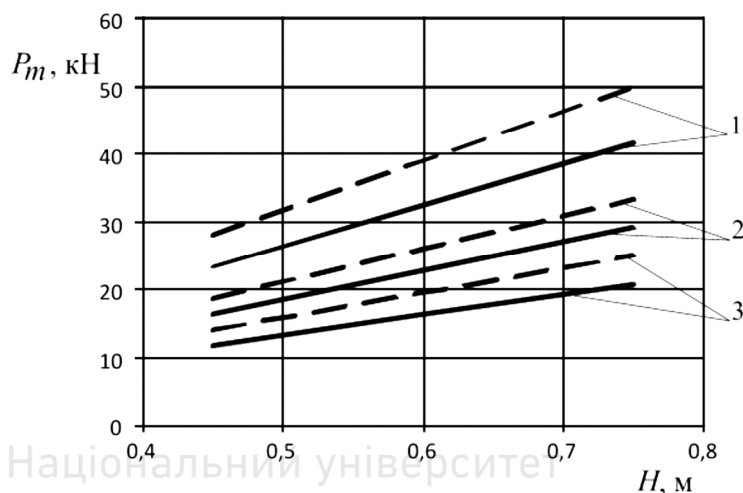


Рис. 4.5. Тяговий опір розробки ґрунту робочим органом триярусного глибокорозпушувача з шириною захвату 2 м: 1 – прямокутний профіль; 2 – трапецієвидний профіль; 3 – трикутний профіль; штрихова лінія – рядне розміщення робочих елементів в ярусі; суцільна лінія – клинове розміщення робочих елементів в ярусі

Як видно із отриманих результатів 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 складе 12...17% виграшу.

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

**4.3.19.** Крім вказаного в сучасних умовах наростаючого дефіциту вологи в агропромисловому комплексі через зміни клімату реалізація диференційованого за глибиною розпушення ярусними робочими органами дає можливість частково адаптуватися до них і

через високу вологоакумулюючу здатність структури розпушеного ґрунту вирішувати задачу концентрації ґрунтової вологи для подальшого ефективного регулювання вологозабезпеченням в період дефіциту водних ресурсів, мінімізувати підтоплення ділянок і втрати дефіцитної вологи випаровуванням, збільшити акумулюючу здатність продуктивних шарів ґрунту до максимальної, зменшити техногенний вплив через суміщення декількох теперішніх технологічних операцій і проходів, мінімізувати питомі енерговитрати технічних засобів для підтримання сприятливого водно-фізичного стану меліорованих ґрунтів на протязі всього вегетаційного періоду.

#### 4.4. Технологічна ефективність інноваційних технологій та засобів глибокого розпушення ґрунту

4.4.1. Для оцінювання порівняльної технологічної ефективності інноваційних технологій та засобів глибокого розпушення 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.

4.4.2. Вивчення впливу різних технологій і засобів глибокого розпушення 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.

4.4.3. Показник якості розпушення визначено у вигляді *коефіцієнта повноти розпушення*, який для об'єктивності порівняльної оцінки за різними технологіями розпушення рис. 4.6. приведений до об'єму ґрунту на масиві площею 1 га (100×100 м) потужністю 1 м (табл. 4.7).

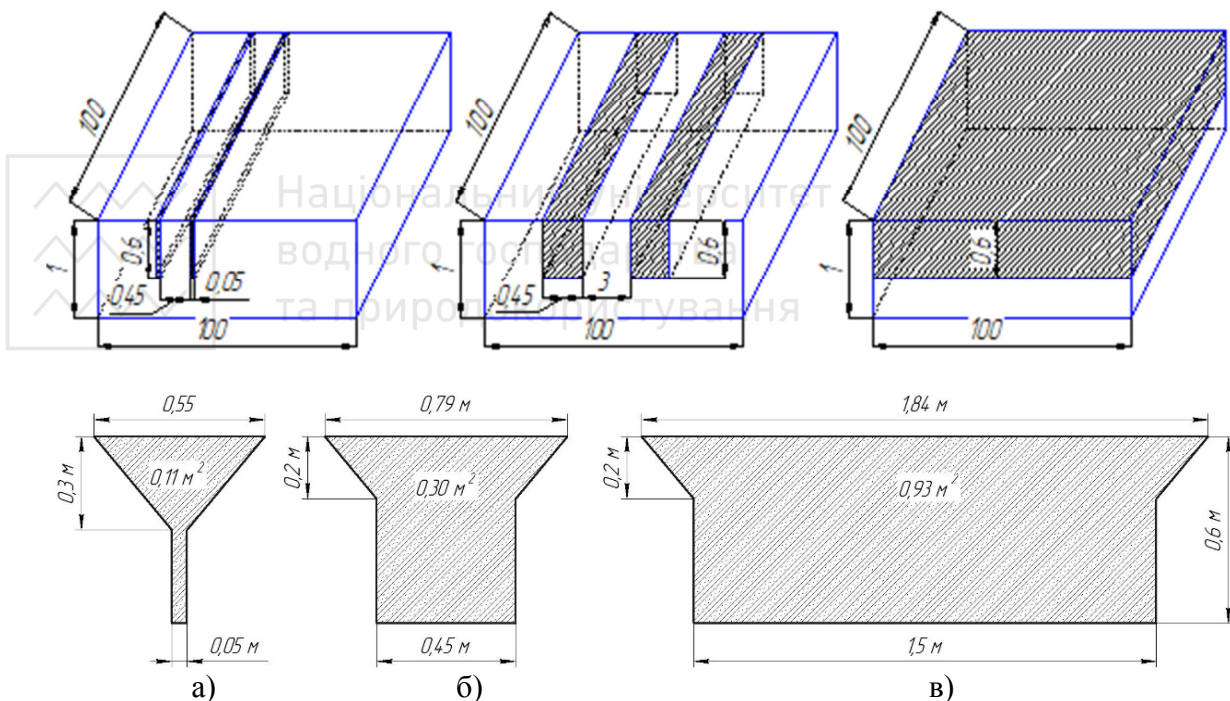


Рис. 4.6. Схеми розпушення ґрунту за площею (зверху) та профілем (знизу) на дослідній ділянці: а) щільне розпушення одностояковим глибокорозпушувачем; б) смугове розпушення трьохстояковим глибокорозпушувачем; в) суцільне диференційоване розпушення багатоярусним глибокорозпушувачем



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, $R_c$
Щілине	11×2	50	0,11
Смугове	30	40	0,12
Суцільне	93	67	0,62

**4.4.4.** Глибоке розпушення приводить до істотного збільшення водопроникності ґрунту за усією глибиною розпушення, головним чином у підорному шарі. Ступінь розпушеності ґрунтів, зміна їх водно-фізичних властивостей та водопроникності залежать від застосованого способу та засобу глибокого розпушення.

**4.4.5.** Відповідно до зміни щільності ґрунту, змінюються пов'язані з нею параметри його водопроникності та водовіддачі.

**4.4.6.** 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 0,6 м шару ґрунту за варіантами розпушення

Варіанти розпушення \ Показники	Коефіцієнт повноти розпушеності ґрунту ( $R_c$ )	Щільність ( $\gamma$ ), т/м <sup>3</sup>			Водопроникність ( $k_{\phi}$ ), м/добу			Акумуляційна здатність ( $Wph_0$ ), м <sup>3</sup> /га		
		абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю	
			т/м <sup>3</sup>	%		м/добу	%		м <sup>3</sup> /га	%
Без розпушення (контроль)	–	1,45	–	–	0,12	–	–	316	–	–
Щілине	0,11	1,41	0,04	2,9	0,25	0,13	206	594	278	30,0
Смугове	0,12	1,32	0,13	8,9	0,36	0,24	296	655	339	45,0
Суцільне	0,62	1,15	0,30	21	0,53	0,41	443	711	395	55,5

**4.4.7.** 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 вологоємкості 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.

**4.4.8.** Узагальнена порівняльна характеристика усереднених значень основних агроеліоративних 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 водно-фізичних властивостей 0,6м шару ґрунту за варіантами розпушення

Варіанти розпушення	Показники	Запас продуктивної вологи ( $W_h$ ), м <sup>3</sup> /га		Продуктивність культур за ККД ФАР, %			
		абсолют. значення, м <sup>3</sup> /га	відхилення від контролю		абсолют. значення, %	відхилення від контролю	
	м <sup>3</sup> /га		м <sup>3</sup> /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

**4.4.9.** На сучасному етапі розвиток осушувальних меліорацій ґрунтується на розробці нових підходів і прогресивних технологій водорегулювання з метою оптимізації природно-меліоративного режиму сільськогосподарських угідь з регульованим водним режимом, поліпшення їх еколого-агро-меліоративного стану, підвищення врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур. Створення більш сприятливого водно-повітряного режиму та поліпшення водно-фізичних і хімічних властивостей осушуваних мінеральних ґрунтів, підвищення їх загальної вологозабезпеченості за рахунок збільшення їх акумулюючої здатності внаслідок глибокого розпушення позитивно впливає на приріст врожаю.

**4.4.10.** Досліджувані технології та засоби глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів по різному впливають на урожай залежно від тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації та виду вирощуваних культур як в польовому, так і машинному експерименті.

**4.4.11.** Порівняльна характеристика прогнозного врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур проектної сівозміни на осушуваних мінеральних ґрунтах за варіантами їх глибокого розпушення наведена в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Прогнозний врожай вирощуваних культур проектної сівозміни за варіантами розпушення

№ з/п	Варіанти розпушення	Культури	Вид продукції	Урожай культур (ц/га) по розрахункових роках, р %					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

Наведені результати щодо врожаю вирощуваних культур адекватно відображають досягнутий ступінь поліпшення умов їх вирощування та забезпечують в середньому їх прирост за варіантами глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів: щілинне – 5...10%; смугове – 10..20%; суцільне – 20...40%.

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

**4.4.13.** Крім поточного як додатковий ефект від застосування глибокого розпушення – підвищується загальна проектна ефективність ДС, в тому числі при їх реконструкції.

**4.4.14.** При цьому, застосування технології та технічного засобу глибокого багатоярусного суцільного розпушення осушеного 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.



Національний університет  
водного та природокористування

#### **4.5. Вплив глибокого розпушення ґрунту на ефективність роботи дренажу**

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

**4.5.2.** 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.

**4.5.3.** Результати розрахунків можливої зміни дренаваності ґрунту щодо наявних параметрів дренажу за різними варіантами розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів Західного Полісся виконаних за викладеною методикою за наявної фактичної відстані між дренами 20 м – представлено в табл. 4.11.

Національний університет  
Таблиця 4.11  
Розрахунки параметрів дренажу за різними варіантами розпушення

Варіанти розпушення	Без розпушення	Щілинне 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

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.

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.

**4.5.4.** 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. 4.12 та рис. 4.7.

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, $л/с \cdot га$									
Без розпушення	<b>0,50</b>	0,36	0,32	0,28	0,22	0,18	0,13	0,10	0,06	0,01
Щілинне розпушення	0,60	0,54	<b>0,50</b>	0,45	0,35	0,32	0,28	0,25	0,20	0,14
Смугове розпушення	0,75	0,7	0,65	0,55	<b>0,50</b>	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	<b>0,50</b>	0,40	0,30

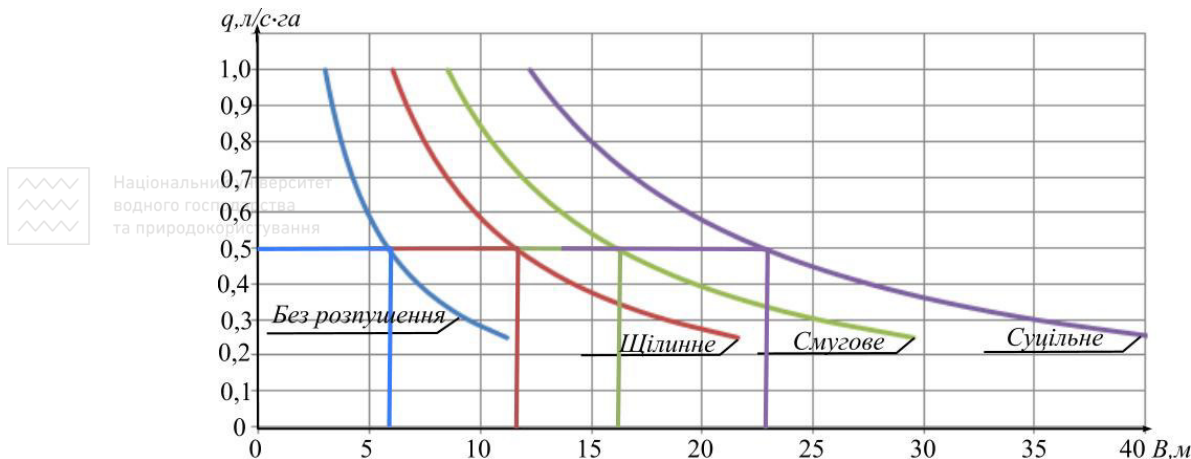


Рис. 4.7. Залежність зміни параметрів відстані між дренами за варіантами розпушення

Наведені результати в цілому відображають визначену тенденцію щодо ступеня збільшення відстані між дренами при глибокому розпушуванні осушуваних мінеральних ґрунтів, 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  $q_0 = 0,5 л/с \cdot га$  для міждренної відстані  $E = 20 м$ .

**4.5.5.** 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 умов Прикарпаття Д.А. Тютюнник (1976), виходячи зі збільшення коефіцієнта фільтрації під впливом глибокого розпушення у 10...20 разів, вважає за можливе 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 Х.Ю. Томсон (1978) рекомендував збільшити междренні відстані в сильно глеюватих ґрунтах на 20% і слабо глеюватих – до 75 %, порівняно з діючими в Естонії нормами проектування;
- у Білорусі нормами проектування передбачено збільшення междренних відстаней при глибокому розпушуванні на 20%, хоча дослідження показали, що ця цифра може бути значно збільшена без помітного впливу на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур;
- за систематичного застосування глибокого розпушення (через 3...4 роки) у північних

районах російського Нечернозем'я рекомендовано збільшувати відстані між дренами на важких ґрунтах у 1,4...1,6 рази;

– за Б.С. Масловим (1981), збільшення відстаней між дренами дасть змогу скоротити капіталовкладення в осушення земель на 20...40%;

– 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.

**4.5.6.** 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 можна збільшити на 35–50%.

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



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## 5. СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПАРАМЕТРІВ РІЗНИХ ТИПІВ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ, ВРАХУВАННЯ ПЕВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКУ

### 5.1. Вихідні передумови

**5.1.1.** Характерною особливістю системної оптимізації є послідовний пошук оптимальних значень прийнятих критеріїв оптимізації економічної та екологічної ефективності щодо параметрів технічних елементів (дренаж, канали бокової мережі, магістральний канал, шлюзи-регулятори тощо) і ДС в цілому відповідно до багаторівневої ієрархії їх знаходження, починаючи з найнижчого – рівня культури  $k$ ,  $v=1$ , через проміжні рівні щодо  $g$ ,  $v=2$ ;  $p$ ,  $v=3$ ;  $l$ ,  $v=4$ ;  $s$ ,  $v=5$ ;  $\varphi$ ,  $v=6$ ;  $\theta$ ,  $v=7$  і, зрештою, до найвищого її рівня системи  $S$ ,  $v=8$ , відповідно до необхідного рівня прийняття рішення в часі як на довготерміновій, так і короткотерміновій основі їх виконання (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління). За ними реалізується загальна умова системної оптимізації та остаточний вибір оптимального рішення, що здійснюється неформальним шляхом через експертну оцінку відповідним спеціалістом на **стадії проектування** або **планової експлуатації** ДС, яке враховує, з одного боку, економічну ефективність, а з іншого – екологічну прийнятність його реалізації (див. розд. 4).

**5.1.2.** На **стадії проектування** нового будівництва або реконструкції існуючої ДС, згідно загальноприйнятих рекомендацій і діючих нормативних документів, за загальний економічний критерій оптимізації приймаються **приведені витрати**  $Z$ , зведені до порівняльного вигляду  $ZP$  за обсягом (вартістю)  $V$  отримуваної продукції за відповідними варіантами ПР  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  – типів і конструкцій ДС

$$ZP_i = Z_i \cdot k_{Z_i}^V = (C_i + E_n K_i) / V_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.1)$$

де  $k_{Z_i}^V$  – коефіцієнт зведення приведених витрат  $Z_i$  за обсягом (вартістю)  $V_i$  отриманої продукції по варіантах технічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ , який визначається оберненим співвідношенням  $1/V_i$ ;  $C_i$  – поточні витрати на отримання продукції по варіантах технічних рішень;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень  $K_i$  за відповідними варіантами технічних рішень.

Умовою оптимізації в цьому випадку виступає мінімізація показника приведених витрат, тобто

$$ZP_i \rightarrow \min, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.2)$$

а функцією цілі

$$ZP_0 = \min_{\{i\}} ZP_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5.3)$$

У виразі (5.1) поточні витрати  $C_i$  на отримання продукції складаються з сільськогосподарських  $C_i^{cz}$  і експлуатаційних  $C_i^e$  витрат. Останні включають відрахування на амортизацію і ремонт  $A_i$ , меліоративні витрати  $C_i^m$  на догляд за системою та витрати на воду  $C_i^g$  для проведення зволожувальних заходів на осушуваних землях.

Тоді вираз (5.1) набуває вигляду

$$ZP_0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} \left\{ \left[ (A_{ip} + C_{ip}^{cz} + C_{ip}^m + C_{ip}^g) + E_n K_i - R_i \right] \cdot a_p / V_i \right\}, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5.4)$$

**5.1.3.** Відповідно оптимальні параметри цих технічних елементів та ДС в цілому можуть бути визначені за **оптимальним рівнем розрахункової забезпеченості** для конкретного



об'єкта з урахуванням наявних природно-агро-меліоративних умов, обґрунтування якої може бути здійснене, в свою чергу, за моделлю

$$p_{ps}^o(ZP) = \min_{\{p\}} ZP_{ps}^o, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad s = \overline{1, n_s}. \quad (5.5)$$

**5.1.4.** За аналогією з викладеним у п. 5.1.2 на *стадії експлуатації* для існуючої ДС за економічний критерій оптимізації приймається показник *чистого доходу*  $D$ , що досягається за рахунок отримання певного об'єму вирощуваної сільськогосподарської продукції на меліорованих землях при застосуванні різних варіантів технологічних рішень сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  – типах і конструкціях ДС

$$D_i = V_i - C_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5.6)$$

У цьому випадку умовою оптимізації виступає максимізація показника чистого доходу, тобто

$$D_i \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.7)$$

а функцією цілі буде

$$D_o = \max_{\{i\}} D_i, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5.8)$$

Тоді вираз (5.6) набуває вигляду

$$D_o = \max_{\{i\}} [V_{ip} - (A_{ip} + C_{ip}^{cc} + C_{ip}^m + C_{ip}^e) - R_{ip}] \cdot a_p, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (5.9)$$

**5.1.5.** Згідно з п. 2.4.2 в якості критерію екологічної оптимальності у загальному випадку та при роботі ДС у режимі підґрунтового зволоження слід використовувати коефіцієнт екологічної надійності  $k_n$ , який характеризує екологічну прийнятність економічно оптимального варіанту меліоративного проекту. Він може бути визначений за сукупністю показників екологічної ефективності різних технологій водорегулювання осушуваних земель за відповідними варіантами їх застосування, значення якого має бути не менше 0,51, що відповідає достатньому рівню екологічної надійності функціонування об'єкта.

**5.1.6.** У разі знаходження оптимальних ПР по технічних елементах та ДС в цілому, яка працює в режимі осушення, критерієм екологічної оптимальності ПР може виступати відхилення середньозваженого значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну функціонування об'єкта  $q_s$  від граничного значення модуля дренажного стоку  $\hat{q}_{екол}$ , що відповідає екологічному рівню ефективності роботи технічних елементів та ДС в цілому у досліджуваних умовах (див. п. 2.4.2.1).

**5.1.7.** При системній оптимізації може виникати ситуація, коли при послідовному пошуку оптимальних рішень щодо типу, конструкції й параметрів ДС в цілому та складових її технічних елементів слід розглядати комплексні моделі оптимізації щодо різних рівнів прийняття рішень в часі (1-проект, 2-планова експлуатація, 3-оперативне управління об'єктом) за відповідними критеріями, умовами та функціями оптимізації.

## 5.2. Системна оптимізація конструкції та параметрів самотічних дренажних систем

**5.2.1.** Системна оптимізація конструкції та параметрів самотічних ДС включає в себе послідовний пошук оптимальних рішень з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог щодо конструкції та параметрів їх основних технічних елементів, до яких відносяться *закрита колекторно-дренажна мережа, відкриті канали бокової мережі, магістральний канал (водоприймач), шлюзи-регулятори* тощо. Такі розрахунки виконуються у випадку, коли ці елементи гідравлічно розраховуються згідно з ДБН В.2.4-1-99.

**5.2.2.** Згідно з п. 3.1.9, для реалізації моделі оптимізації необхідно реалізувати залежність між параметрами регулюючих технічних елементів ( $\theta_i$ ) та параметрами технологій водорегулювання ( $q_{mi}$ ) як обернену функцію виду (3.3).

**5.2.3.** Для цього слід використовувати загальноприйняті формули, за якими визначаються параметри регулюючих технічних елементів самотічних ДС, при їх роботі в режимі осушення або підгрунтового зволоження, що регламентовано відповідним галузевим нормативом ДБН В.2.4-1-99.

**5.2.4.** При цьому слід враховувати, що як показали існуюча практика та накопичений досвід створення і функціонування ДС, які працюють в режимі осушення й підгрунтового зволоження (ОЗС), необхідні параметри регулюючих технічних елементів при їх роботі як в режимі осушення так і підгрунтового зволоження (в режимі тривалого підпору РГВ) не повинні значно відрізнятися. Оскільки визначені робочі параметри модулів дренажного стоку та модулів водоподачі в реальних умовах практично відрізняються не значно (див. п. 3.3 та п. 3.6).

**5.2.5.** Приклади обґрунтування конструктивних параметрів регулюючих технічних елементів самотічних ДС на основі системної оптимізації наведено в додатку В.1.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

### **5.3. Системна оптимізація конструкції та параметрів польдерних систем**

**5.3.1.** Системна оптимізація конструкції та параметрів на стадії експлуатації діючої польдерної ДС включає в себе послідовний пошук оптимальних рішень з урахуванням сучасних економічних та екологічних вимог щодо параметрів **модулів відкачки та водоподачі**, за якими в подальшому на стадії реконструкції обґрунтовуються **конструктивні параметри НС** та інші елементи системи у їх взаємозв'язку.

**5.3.2.** За аналогією з п. 5.1 реалізація економічної складової комплексної моделі системної оптимізації щодо режимних, технологічних та конструктивних рішень ПС може бути реалізована через зв'язок виду

**задані параметри економічного та екологічно ефекту  $\Leftrightarrow$  оптимальні модулі відкачки  $\Leftrightarrow$  оптимальні параметри НС,**

де модуль відкачки або модуль водоподачі виступає ключовою ланкою такої підсистеми, як основний забезпечуючий чинник водорегулювання.

**5.3.3.** Для цього слід використовувати загальноприйняті формули, за якими визначаються параметри модулів відкачки та модулів водоподачі ПС при її роботі в режимі осушення або підгрунтового зволоження, що регламентовано відповідним галузевим нормативом ДБН В.2.4-1-99.

**5.3.4.** Приклади обґрунтування технологічних та конструктивних параметрів ПС на основі системної оптимізації наведено в додатку В.2.

### **5.4. Врахування рельєфу осушуваних земель при розробці проектів дренажних систем**

**5.4.1.** Оцінювання меліоративних проектів потребує урахування значної кількості різноманітних природних та технічних факторів, що суттєво впливають на рівень обґрунтування типу та конструкції ДС у проектах їх будівництва та реконструкції. При наявних темпах та рівнях змін погодно-кліматичних умов слід очікувати погіршення природно-меліоративних умов, що неминуче відобразиться на функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів.

**5.4.2.** На осушуваних територіях погодно-кліматичні, ґрунтові, гідрогеологічні, агротехнічні, рельєфні та інші умови об'єкта безпосередньо приймають участь у формуванні водного режиму ґрунтів та врожаю вирощуваних культур. При цьому рельєф місцевості є одним із визначальних чинників, який впливає на прийняття технології водорегулювання та конструкції ДС.

**5.4.3.** У зв'язку з цим, при обґрунтуванні меліоративних заходів, як правило, виникає значна кількість різних за технологічними та технічними рішеннями варіантів, які визначально впливають як, перш за все, на економічну, так і екологічну ефективність їхньої реалізації.

**5.4.4.** На осушуваних землях з розвиненим рельєфом місцевості, згідно діючого в Україні нормативу ДБН В.2.4-1-99, додаткове зволоження (попереджувальне і зволожувальне шлюзування) застосовується в ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації більше 0,5 м/добу при ухилах поверхні до 0,005 та заляганні РГВ або водоупору до 2 м.

**5.4.5.** Як показують результати досліджень, а також накопичений досвід та практика створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів у гумідній зоні, вже при ухилах більших за 0,002 не досягається необхідний рівень вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту на значній частині осушуваних земель при застосуванні попереджувального та зволожувального шлюзування, що, в свою чергу, впливає на зниження врожаю сільськогосподарських культур та загальної ефективності меліорацій.

**5.4.6.** На території з розвинутим рельєфом заданий РГВ підтримується лише на незначній частині меліорованого масиву. В пониженнях місцевості може мати місце вихід ґрунтових вод на денну поверхню, а на підвищеннях глибина їх залягання значно перевищує норму осушення. У зоні надлишкового зволоження менше заболочені підвищені елементи рельєфу (водорозділи, круті схили), з яких атмосферні опади стікають у вигляді поверхневого стоку, перезволожуючи, тим самим, нижче розташовані території. Найбільш заболочені безстічні, слабо-проточні пониження та безпохилі рівнини, на яких застоюються поверхневі води, особливо при недостатній природній дренажності території.

**5.4.7.** Тому на стадії проектування слід виконувати оцінку нерівномірності рельєфу осушуваних масивів, який, у свою чергу, впливає на водний режим осушуваних земель та ефективність об'єкта в цілому. На основі особливостей рельєфу місцевості та формування водного режиму слід диференційовано визначати площі осушуваного масиву, на яких ДС буде працювати в різних режимах: осушення, попереджувальне шлюзування шляхом зарегулювання частини стоку на спаді весняної повені, підґрунтове зволоження за рахунок періодичного підпору чи підйому РГВ у продовж періоду вегетації – та, відповідно, застосовувати різні технології водорегулювання і конструкції ДС.

**5.4.8.** Характерною особливістю формування водного режиму осушуваних земель з розвиненим рельєфом є також утворення поверхневого стоку, нерівномірний розподіл вологи та глибини залягання РГВ по системі, що має бути враховано в моделі довгострокового прогнозу водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель.

**5.4.9.** Актуальність вирішення даного завдання значно зростає в наслідок змін клімату як на планетарному, так й регіональному рівнях. Сучасні зміни природних умов обумовлені, перш за все, змінами клімату і призводять до зміни вимог щодо раціонального використання водних і земельних ресурсів в зоні осушувальних меліорацій, розробці комплексу адаптивних заходів, направлених на зарегулювання та акумуляцію атмосферних опадів, характер та режим випадіння яких значно змінюється.

**5.4.10.** За загальноприйнятою практикою на стадії розробки проектних рішень щодо типів, конструкцій та параметрів ДС виконується побудова поздовжніх профілів по трасах каналів і колекторів, з яких можна отримати дані по ухилах та перепадах поверхні землі, в цілому по системі та її складових ієрархічних рівнях: на рівні меліорованого поля для культур проектної сівозміни, на рівні ґрунтів у межах системи, на рівні структурних елементів системи за характерними рельєфними умовами тощо.

**5.4.11.** На сучасному етапі розвитку науки і техніки, що передбачає широке впровадження високоінформативних комп'ютерних технологій в усі сфери життя, інтенсивно використовуються системи автоматизованого проектування як універсальний технічний інструмент, який дає змогу удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, насамперед природно-техногенного характеру, а також вирішувати цілу низку супутніх наукових та народногосподарських завдань.

**5.4.12.** Враховуючи складність проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, для автоматизації та оптимізації проектування слід застосовувати сучасні ВІМ-технології, що поєднують використання ГІС-технологій. Потужним програмним комплексом технології інформаційного моделювання є Autodesk Civil 3D, який використовує ГІС-функціонал та дає змогу виконувати роботи в області геодезії, топографії, генплану, геології, вертикального планування і впорядкування території, проектування лінійно протяжних споруд (автомобільні і залізничні дороги, канали, дамби, напірні та безнапірні трубопроводи), виконувати аналіз поверхні землі, моделювати складні водозбори та ін.

**5.4.13.** Тому, на початковій стадії проекту нами пропонується виконувати попередній аналіз поверхні землі та визначати меліоративну ефективність осушуваних земель за допомогою програмного комплексу Autodesk Civil 3D. Дана програма дає змогу дослідити характер поверхні, визначити необхідні показники поверхні та їх значення: висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок, відобразити поверхню як за заданими, так і за автоматично визначеними діапазонами подібних значень відміток та ухилів, а також сформувати у табличній формі відомість відміток, перепадів, ухилів та площ характерних ділянок.

**5.4.14.** За існуючою морфометричною класифікацією рельєф місцевості на осушуваних землях за розміром окремих форм у межах визначеного мезорельєфу можна представити поєднанням мікроформ та наноформ. Тому основними лінійними показниками, що характеризують розвинений рельєф місцевості, виступають ухил поверхні землі ( $i$ ) та перепади поверхні землі: загальний ( $\Delta H_{gi}$ ), за ухилом ( $\Delta H_i$ ) та у локальних підвищеннях або пониженнях ( $\pm \Delta h_g$ ).

**5.4.15.** На підставі аналізу, узагальнення та систематизації рельєфних умов проектів реальних об'єктів, розташованих в зоні достатнього та нестійкого зволоження України, виділено і пропонується розглядати основні чотири схеми їх формування за ухилами та перепадами поверхні землі (рис. 5.1):

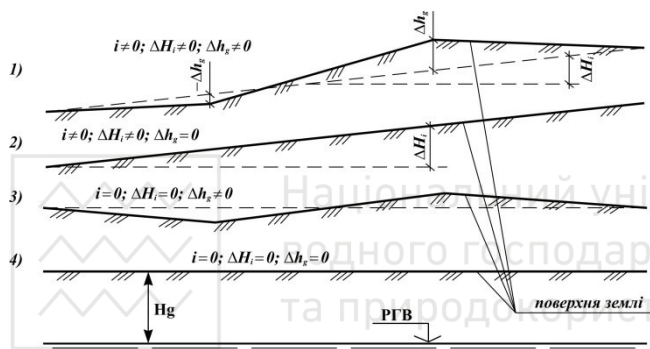


Рис. 5.1. Основні розрахункові схеми рельєфу осушуваних земель

1.  $i \neq 0$ ,  $\Delta H_i \neq 0$ ,  $\Delta h_g \neq 0$  – наявність ухилів, перепадів за ухилами та локальних перепадів поверхні землі;
2.  $i \neq 0$ ,  $\Delta H_i \neq 0$ ,  $\Delta h_g = 0$  – наявність ухилів та перепадів за ухилами, відсутність локальних перепадів поверхні землі;
3.  $i = 0$ ,  $\Delta H_i = 0$ ,  $\Delta h_g \neq 0$  – відсутність ухилів та наявність локальних перепадів поверхні землі (локальні пониження або підвищення);
4.  $i = 0$ ,  $\Delta H_i = 0$ ,  $\Delta h_g = 0$  – відсутність ухилів та перепадів поверхні землі (базові умови).

**5.4.16.** Глибина залягання РГВ у межах осушуваного масиву з урахуванням зміни відповідних форм рельєфу місцевості у загальному випадку  $\bar{H}g'_{gsp}$  може визначатися як

$$\bar{H}g'_{gsp} = \bar{H}g_{gsp} \pm \Delta H_{gi}, \quad (5.10)$$

$$\pm \Delta H_{gi} = \Delta H_i \pm \Delta h_g, \quad (5.11)$$

$$\Delta H_i = i \cdot L, \quad (5.12)$$

де  $\bar{H}g_{gsp}$  – нормована середньовегетаційна глибина РГВ залежно від виду ґрунту ( $g$ ), способу водорегулювання ( $s$ ) і вологозабезпеченості розрахункового періоду вегетації ( $p$ ),

$m$ ;  $\Delta H_{gi}$  – загальний перепад поверхні землі, м;  $\Delta H_i$  – перепад поверхні землі за ухилом  $i$ , м;  $\pm \Delta h_g$  – локальні перепади поверхні землі (підвищення або пониження), м;  $i$  – ухил поверхні;  $L$  – довжина типової ділянки ґрунту, м.

**5.4.17.** На основі побудованих профілів по всіх елементах (від колектора до головної дрени, які проходять по основних стокоутворюючих елементах рельєфу) провідної мережі ДС середньозважені розрахункові значення ухилів ( $i$ ) та перепадів ( $\Delta h_g$ ) поверхні землі пропонується визначати за комплексним лінійно-площинним підходом у межах рельєфної одиниці:

$$\bar{i}^{(кан)} = \sum_{j=1}^{j_{кол}} \left[ \left( \frac{\sum_{n=1}^{n_i} (i_{jn} \cdot L_{jn})}{\sum_{n=1}^{n_i} L_{jn}} \right)_j \cdot f_j^{(кол)} \right]; \quad (5.13)$$

$$\overline{\Delta h_g}^{(кан)} = \sum_{j=1}^{j_{кол}} \left[ \left( \frac{\sum_{n=1}^{n_{\Delta h_g}} (\Delta h_{g_{jn}} \cdot L_{jn})}{\sum_{n=1}^{n_{\Delta h_g}} L_{jn}} \right)_j \cdot f_j^{(кол)} \right], \quad (5.14)$$

де  $f^{(кол)}$  – частка площі, що обслуговується колектором в межах площі обслуговування каналом,  $L$  – довжина типових ділянок ґрунту по довжині відповідного елемента провідної мережі ДС.

**5.4.18.** Середньозважене розрахункове значення ухилу поверхні землі в цілому по системі визначається за формулою

$$\bar{i}^{(c)} = \frac{\sum_{n=1}^{n_i} (i_n \cdot f_n)}{\sum_{n=1}^{n_i} f_n}, \quad (5.15)$$

де  $f$  – площа характерної ділянки поверхні землі (п. 5.4.13), га;  $i$  – ухил поверхні характерної ділянки.

**5.4.19.** Відповідне середньозважене розрахункове значення перепаду поверхні землі в цілому по системі визначається аналогічно

$$\overline{\Delta H_{gi}}^{(c)} = \frac{\sum_{n=1}^{n_i} (\Delta H_{gi_n} \cdot f_n)}{\sum_{n=1}^{n_i} f_n}, \quad (5.16)$$

де  $\Delta H_{gi}$  – загальний перепад поверхні землі в межах характерної ділянки, м.

**5.4.20.** Проведеними дослідженнями встановлено, що характер впливу рельєфу місцевості на формування водного режиму та врожаю вирощуваних культур при різних технологіях водорегулювання має виражений оптимум, який диференційовано формується залежно від множинних природних та агроеліоративних умов реального об'єкта. При цьому продуктивність меліорованих земель в умовах розвинутого рельєфу місцевості в порівнянні з рівнинним рельєфом може змінюватися в значних межах (до  $\pm 60\%$ ).

**5.4.21.** За результатами проведених досліджень була виконана схематизація і розроблена класифікація осушуваних земель на основі показника *меліоративної ефективності рельєфу*, яка залежить від ступеня розвиненості рельєфу за ухилами та перепадами поверхні землі.

**5.4.22.** Цей показник є відносною величиною, який визначений відношенням продуктивності земель (врожайності культур) з різним ступенем розвиненості рельєфу ( $i \neq 0$ ,  $\Delta H_{gi} \neq 0, м$ ) до його значень в рівнинних умовах ( $i = 0$ ,  $\Delta H_{gi} = 0, м$ ), і характеризує можливий рівень продуктивності меліорованих земель залежно від ступеня розвиненості рельєфу місцевості (табл. 5.1).



## Меліоративна ефективність рельєфу осушуваних земель

Ступінь розвиненості рельєфу	Кількісні показники рельєфу		Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	$i$	$\Delta H_{gi}, M$		
Слабо розвинений	$< 0,001$	$< 0,2$	1,0...1,2	<i>Висока</i>
Середньо розвинений	0,001...0,004	0,2...0,6	0,8...1,0	<i>Середня</i>
Сильно розвинений	$> 0,004$	$> 0,6$	0,4...0,8	<i>Низька</i>

**5.4.23.** Уточнені значення меліоративної ефективності рельєфу при певних природних та агроеліоративних умовах, ухилах і перепадах поверхні землі, як для кожної характерної ділянки, так і системи в цілому реального об'єкту можуть бути визначені за відповідними прогнозно-імітаційними розрахунками.

**5.4.24.** Приклад оцінювання меліоративної ефективності рельєфу осушуваних земель для умов реального об'єкту наведено в дод. В.3.

**5.4.25.** Визначені середньозважені ухили та перепади поверхні землі є вихідними даними для виконання розрахунків за моделлю довготермінового прогнозу водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель з урахуванням рельєфу місцевості. Вона ґрунтується на реалізації рівняння водного балансу активного кореневого шару ґрунту з урахуванням утворення поверхневого стоку та рівняння балансу РГВ, що враховує перепади поверхні землі. У свою чергу, результати такого прогнозно-імітаційного моделювання є вихідними даними для обґрунтування оптимального типу, конструкції та параметрів ДС з урахуванням рельєфу місцевості (приклад розрахунку наведено в дод. Г.1.3 та Г.3.3).

### 5.5. Удосконалення розрахунку параметрів дренажу з урахуванням глибокого розпушення ґрунту

**5.5.1.** 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 агроеліоративних заходів, спрямованих на збільшення акумуляційної здатності активного шару ґрунту, покращання поверхневого і внутрішньоґрунтового 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 (див. п. 5.6).

**5.5.2.** 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 (див. п. 5.6). 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.

**5.5.3.** У загальному випадку, для розрахунку параметрів дренажу (відстані між дренажами), згідно ДБН В.2.4-1-99, рекомендовано використовувати загальноприйнятту формулу з

урахуванням розробок О.Я. Олійника та О.І. Мурашко для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення (див. дод. Б.1), 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 водоупору (рис. 5.2)

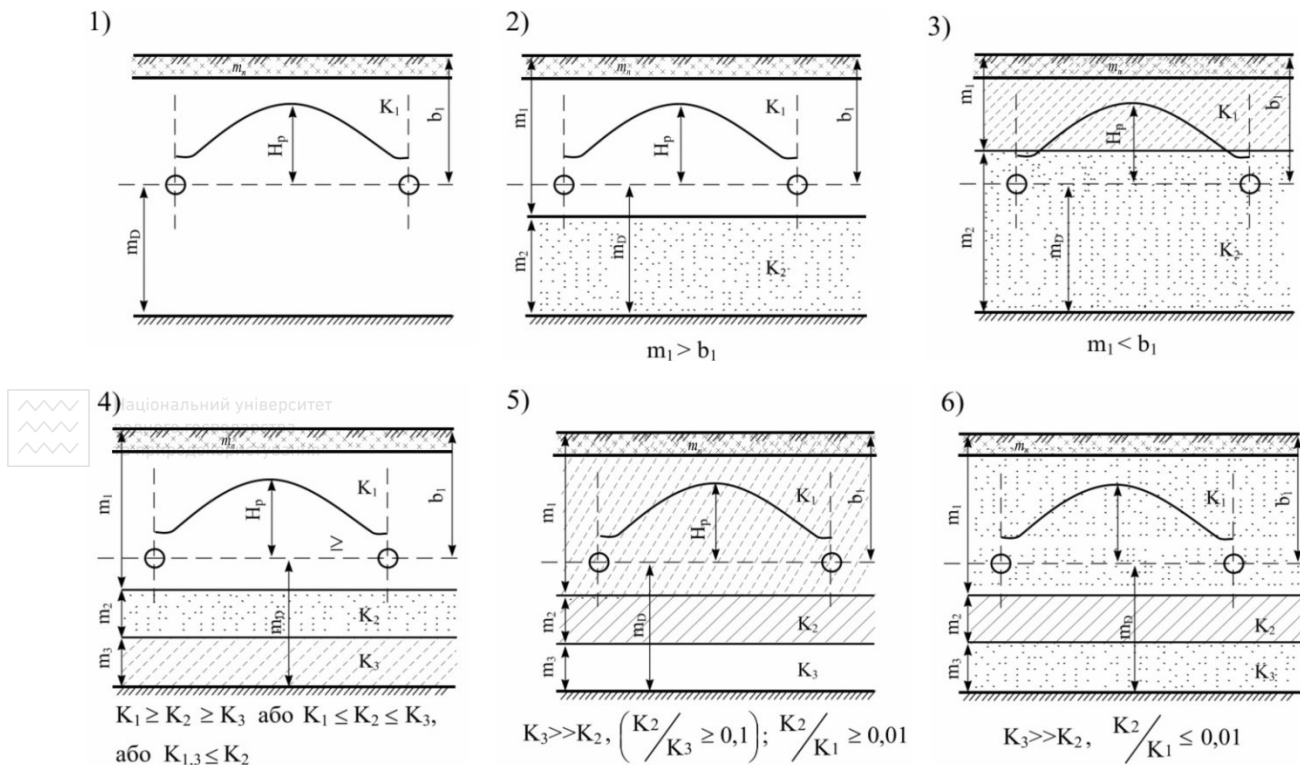


Рис. 5.2. Розрахункові схеми роботи дренажу

Залежно від ґрунтових та гідрогеологічних умов роботи ДС розрахунки виконуються за такими основними розрахунковими схемами, поданими на рис. 5.2: 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  $K_2/K_1 \leq 0,01$ .

**5.5.4.** 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 (див. розд.6.). А нижній пласт характеризується природною водопровідністю  $K_4$  з можливою структурною його шаруватістю та різною глибиною залягання водоупору ( $m_{Dn}$ ).

**5.5.5.** Тому на відміну від розглянутого раніше підходу (див. п. 5.5.3), в даному разі можна розглядати одну універсальну розрахункову схему роботи дренажу при наявності глибокого розпушення ґрунту за відповідною технологією (рис. 5.3)

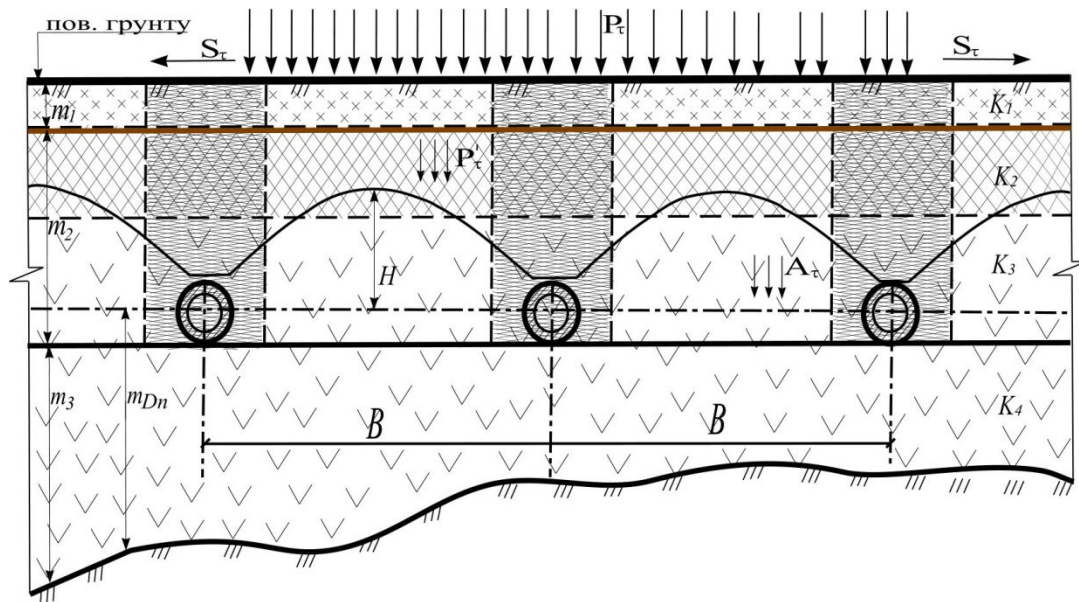


Рис 5.3. Розрахункова схема роботи дренажу при наявності глибокого розпушення ґрунту:  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – коефіцієнти фільтрації, м/добу;  $P_\tau$  – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм;  $S_\tau$  – поверхневий стік за час  $\tau$ ,  $P'_\tau$  – частина опадів добового максимуму опадів, що попадає в розпушений ґрунт, мм;  $A_\tau$  – акумулююча здатність розпушеного ґрунту в зоні аерації, залежно від вихідної вологості, мм

5.5.6. 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 (див. п. 5.4).

5.5.7. Відповідно до запропонованої розрахункової схеми роботи дренажу при глибокому розпушенні ґрунту (див. рис. 5.3), 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 ділянках осушуваного масиву (див. п. 5.4) можна визначити за аналогічним підходом, який у загальному випадку має вигляд

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i \cdot h_i \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \cdot f_i)}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5.17)$$

де  $X_i$  – відповідні значення показників водно-фізичних властивостей ґрунтів щодо коефіцієнту фільтрації  $K_i$ , коефіцієнту водовіддачі  $\mu_i$  тощо для відповідних водопроникних 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 (див. п. 5.4).

5.5.8. При цьому, для шарів ґрунту з підвищеною штучною водопроникністю необхідно врахувати ефективність застосування різних технологій глибокого розпушення через відповідні коефіцієнти повноти розпушеності ґрунту  $R_c$  (див. п. 4.5.3).

5.5.9. 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

$$K_i = 1,60 - \frac{0,117}{R_c}, \text{ м/добу.} \quad (5.18)$$

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

**5.5.10.** Відповідно, залежність максимального запасу продуктивної вологи ґрунту  $Wh^\circ$  від коефіцієнту повноти розпушеності  $R_c$  в шарі ґрунту 0,6 м визначається за формулою

$$Wh^\circ = \frac{R_c}{0,0003 + 0,0014 \cdot R_c}, \text{ м}^3 / \text{га}. \quad (5.19)$$

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

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

$$A_\tau = 0,0214 \frac{P_e^2}{Wh^\circ}, \text{ м}^3 / \text{га}. \quad (5.20)$$

**5.5.11.** За визначеними значеннями максимального продуктивного вологозапасу розрахункового шару ґрунту до та після його розпушення визначається показник *додаткової вологоємності*, 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

$$\Delta Wh_p^0 = Wh_p^0 - Wh_n^0, \text{ м}^3 / \text{га}, \quad (5.21)$$

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

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

**5.5.12.** 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 аналогічно до п. 5.5.7 за формулою

$$\overline{m_{Dn}} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_{Dn_i} \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n f_i}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5.22)$$

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. 5.4).

**5.5.13.** 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.

**5.5.14.** В розвиток підходу та відповідних формул щодо визначення міждренної відстані, представлених в ДБН В.2.4-1-99, Олійником О.Я. та Поляковим В.Л. запропоновано удосконалений метод її розрахунку в умовах застосування глибокого розпушення осушувального ґрунту, в якому при відомій нормі осушення на заданий період часу або відомій відстані між дренами, визначається тривалість періоду осушення.



Для двошарової схеми (див. рис. 5.2 – 2), розрахунок відстані між дренами в залежності від співвідношення потужності верхнього шару  $m_1$  і норми осушення  $h$  розраховується за формулами:

при  $h \leq m_1$

$$L = \sqrt{4\Phi^2 + \frac{k_2 t_0}{\mu_1 P_2}} - 2\Phi; \quad (5.23)$$

при  $h > m_1$

$$L = \sqrt{4\Phi^2 + \frac{t_0}{\mu_1 P_2^0 + \mu_2 P_1}} - 2\Phi, \quad (5.24)$$

де  $t_0$  – тривалість осушення до норми  $h$ ;  $\mu_1$  – коефіцієнт осередненої водовіддачі верхнього шару;  $\mu_2$  – коефіцієнт осередненої водовіддачі нижнього шару.

Для визначення коефіцієнтів  $\mu$  може бути використана формула Еркіна

$$\mu = 0,056 \sqrt{k^3 \sqrt{h}}, \quad (5.25)$$

де  $\Phi$  – фільтраційний опір на гідродинамічну недосконалість дрена, який визначається за формулою

$$\Phi = 0,73 m_2 \lg \frac{m_2}{\pi \times r_0}, \quad (5.26)$$

де  $P$  – показник, який визначається за формулами, в залежності від постійної –  $\delta$ , яка вираховується за виразом

$$\delta = k_2(k_1 - k_2)m_2^2 - k_1 k_2 m_0^2; \quad \lambda = k_2/k_1; \quad \beta = (\lambda - 1)m_2, \quad (5.27)$$

при  $\delta > 0$

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{\delta}} \left( \arctg \frac{T_2}{\sqrt{\delta}} - \arctg \frac{T_2 - k_1 h}{\sqrt{\delta}} \right); \quad (5.28)$$

при  $\delta < 0$

$$P_2 = \frac{1}{2\sqrt{-\delta}} \ln \left( \frac{T_2 - \sqrt{-\delta}}{T_2 + \sqrt{-\delta}} \frac{T_2 + \sqrt{-\delta} - k_1 h}{T_2 - \sqrt{-\delta} - k_1 h} \right), \quad (5.29)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт фільтрації верхнього шару, м/добу;  $k_2$  – коефіцієнт фільтрації нижнього шару, м/добу;  $m_0$  – висота дрена над водоупором, м;  $m_1$  – потужність верхнього шару, м;  $m_2$  – потужність нижнього шару, м;  $h, h_0$  – кінцева (на кінець періоду осушення) і початкова глибина потоку на міждренні, м.

Показник  $P_1$  визначається при цьому за формулою

$$P_1 = \frac{1}{2k_2 m_0} \ln \left( \frac{m_2 - m_0}{m_2 + m_0} \frac{M + m_0 - h}{M - m_0 - h} \right), \quad (5.30)$$

де  $M$  – загальна потужність водоносного горизонту, м;  $T_2$  – провідність водоносного шару, м<sup>2</sup>/добу;  $T_2 = k_1 m_1 + k_2 m_2$

Розрахунок дренажу у випадку застосування глибокого розпушення ґрунту виконується за вище наведеними формулами, в яких в якості верхнього шару ґрунту прийнятий розпушений шар, що має параметри  $k_p; m_p; \mu_p$  (замість  $k_1; m_1; \mu_1$ ).

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

**5.6.1.** 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 ефективного накопичення вологи ґрунту, що призводить до критичних умов формування їх водного режиму (рис. 5.4).

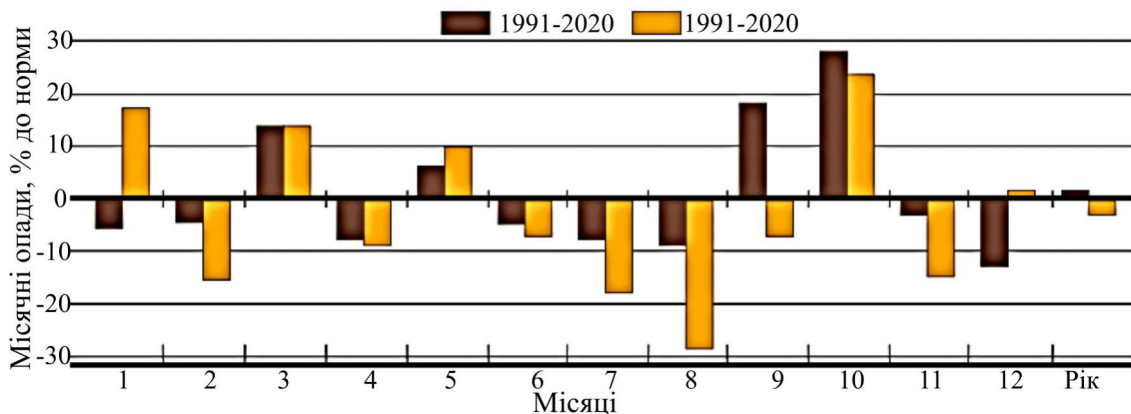


Рис. 5.4. Зміна кількості опадів по місяцях за період 1991–2020 років та за період 2010–2020 років відносно норми

Национальний університет  
водного господарства  
та природокористування

**5.6.2.** 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 запроєктований дренаж може не справитися з відведенням зайвої вологи в ґрунті, відбувається допустиме або критичне перезволоження ґрунту, що призведе до втрат врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур.

**5.6.3.** 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.

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

$$t = \frac{P'_\tau}{86,4 \cdot q_i} \text{ днів}, \quad (5.31)$$

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

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. 5.3), за виразом

$$P'_\tau = P_\tau - S_\tau - A_\tau, \text{ мм}, \quad (5.32)$$

де  $P_\tau$  – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм;  $S_\tau$  – поверхневий стік за час  $\tau$ , який визначається за аналогією з формулою А.М. Янголя як

$$S_\tau = P_\tau \cdot k_s, \text{ мм}, \quad (5.33)$$

де  $k_s$  – коефіцієнт поверхневого стоку.

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 ( $i$ )

$$k_s = \left( 1 - 0,07 \cdot \frac{K_i}{K_{i_0}} \right) \cdot i^{0,17 \left( 1 + \frac{K_i}{K_{i_0}} \right)}, \quad (5.34)$$

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

Приймальна здатність дренажу на стадії експлуатації  $q'_n$ , в тому числі з урахуванням глибокого розпушення, може бути визначена за виразом, що отриманий з загальноприйнятої формули ДБН В.2.4-1-99 з урахуванням розробок О.Я. Олійника та А.І. Мурашко

$$q'_n = \frac{HT}{2 \left( \frac{E_i}{4} + L_{fi} \right)^2 - L_{fi}^2}, \text{ м/добу}, \quad (5.35)$$

де  $H$  – розрахунковий напір, м;  $T$  – водопровідність пласта з урахуванням різних технологій розпушення ґрунту  $T = f(K_i)$ , м<sup>2</sup>/добу;  $E_i$  – відстань між дренами, м;  $L_{fi}$  – загальні фільтраційні опори за ступенем та характером розкриття пласта, м.

**5.6.4.** Приклад розрахунку спільної дії дренажу та глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у критичних умовах на прикладі досліджуваного об'єкта (див. дод. В.1) за наявності ухилу поверхні  $i=0,002$  наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

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

Значення показників	Розрахункова забезпеченість добових максимумів опадів						
	$p, \%$	5%	10%	30%	50%	70%	90%
Без розпушення $K_i=0,12$ м/добу; $Wh^\circ=316$ м <sup>3</sup> /га;	$P_\tau$ , мм	89,0	73,0	49,0	42,0	31,0	21,0
	$S_\tau$ , мм	23,68	19,42	13,04	11,17	8,25	5,58
	$A_\tau$ , мм	12,17	8,77	3,95	2,90	1,58	0,72
	$P'_\tau$ , мм	53,14	44,79	32,00	27,91	21,16	14,68
Щілине $K_i=0,25$ м/добу; $Wh^\circ=594$ м <sup>3</sup> /га;	$t$ (діб)	4,19	3,11	1,95	1,62	1,13	0,72
	$S_\tau$ , мм	20,14	16,52	11,09	9,50	7,01	4,75
	$A_\tau$ , мм	16,90	11,37	5,12	3,76	2,05	0,94
	$P'_\tau$ , мм	51,94	45,09	32,78	28,72	21,93	15,30
Смугове $K_i=0,36$ м/добу; $Wh^\circ=655$ м <sup>3</sup> /га;	$t$ (діб)	3,86	3,14	2,01	1,68	1,18	0,76
	$S_\tau$ , мм	17,56	14,40	9,67	8,29	6,11	4,14
	$A_\tau$ , мм	24,26	16,32	7,35	5,40	2,91	1,35
	$P'_\tau$ , мм	47,16	42,26	31,97	28,30	21,93	15,50
Суцільне $K_i=0,53$ м/добу; $Wh^\circ=711$ м <sup>3</sup> /га;	$t$ (діб)	3,35	2,86	1,94	1,65	1,18	0,77
	$S_\tau$ , мм	14,21	11,65	7,82	6,70	4,9	3,35
	$A_\tau$ , мм	34,19	23,00	10,36	7,61	4,14	1,90
	$P'_\tau$ , 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 · га, а на стадії експлуатації в сучасних умовах, визначена за формулою (5.35), становить  $q'_n=0,4$  л/с · га.

2. Усереднені значення критичних періодів перезволоження для вирощуваних сільськогосподарських культур становлять 3–7 діб.

**5.6.5.** 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%.

**5.6.6.** 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.

### 5.7. Фільтраційний розрахунок осушувальної та зволожувальної дії параметрів дренажу осушуваних ґрунтів

**5.7.1.** Досить перспективною для розрахунку відстані між дренами  $L$  при проектуванні самотічної дренажної системи (СДС), яка працює в режимі осушення, представляється формула В.Л. Полякова, отримана ним в результаті подальших досліджень

$$L = \sqrt{\frac{3k_e m_c t_o}{\mu_c (M - S_o) \ln \frac{\Delta m}{M - S_o - m_d}} + 9\Phi^2} - 3\Phi, \quad (5.36)$$

де  $m_c$  – осереднена потужність фільтраційного потоку в зоні впливу дрени, яка дорівнює  $(m_o + m_d)/2$  (або потужність напірного горизонту);  $m_d$  – відмітки дрени над водоупором;  $S_o$  – норма осушення;  $t_o$  – час осушення;  $M$  – повна потужність ґрунтової товщі (від водоупору до поверхні землі);

$\mu_c$  – середні значення коефіцієнта осередненої водовіддачі (або нестачі насичення);  $\Phi$  – фільтраційний опір;  $\Delta m = m_o - m_d$   $m_o$  – відмітки початкового РГВ;  $k_e$  – коефіцієнт фільтрації.

**5.7.2.** На стадії проектування СДС при роботі її в режимі підґрунтового зволоження особливий інтерес представляє обґрунтування відстані між дренами-зволожувачами, а при її експлуатації – регулюючий напір. Відповідна формула В.Л. Полякова для  $L_w$  має наступний вигляд

$$L_w = \sqrt{\frac{3k_e m_c t_w}{\mu_w (S_w) \ln \frac{\Delta m_w}{m_w - M + S_w}} + 9\Phi_w^2} - 3\Phi_w,$$

(5.37) де основний конструктивний параметр обчислюється, виходячи із заданих часу  $t_w$  і норми  $S_w$  (оптимальна глибина РГВ в кінці зволожувального заходу) зволоження;  $\mu_w$  – середнє значення коефіцієнта осередненої нестачі насичення;  $m_w$  – напір в дренах;  $\Phi_w$  – фільтраційний опір, індекс "w"

означає, що характеристика (коефіцієнт, параметр), до якої він належить, відповідає зволожувальному процесу.

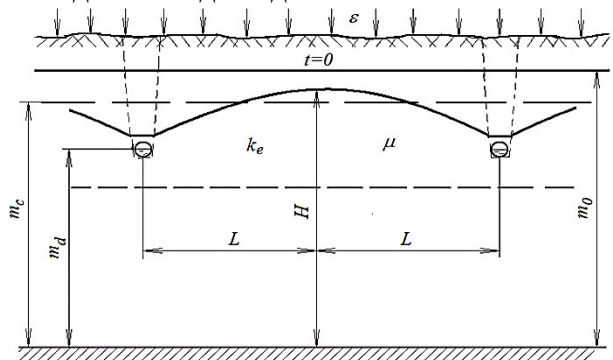


Рис. 5.5. Фільтраційна схема до розрахунку систематичного дренажу

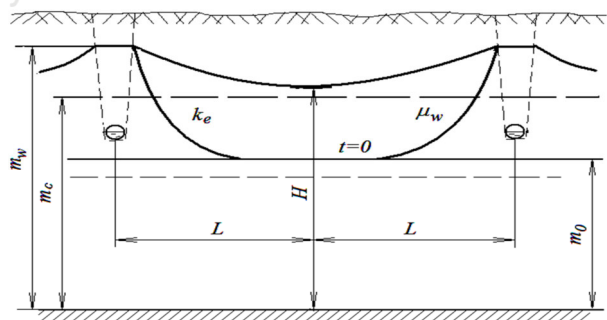


Рис. 5.6. Фільтраційна схема до розрахунку систематичного дренажу при підґрунтовому зволоженні

## 5.8. Необхідність та шляхи подальшого удосконалення розрахунку закритої колекторно-дренажної мережі дренажних систем щодо сучасних умов та вимог

**5.8.1.** Виклики сучасності та зміни клімату, а також наявне спрацювання ресурсу ДС, визначають за необхідне удосконалення технологій водорегулювання, відповідно типів, конструкції й параметрів ДС та їх технічних елементів при роботі в режимі осушення та підгрунтового зволоження у проектах їх реконструкції та модернізації.

**5.8.2.** На основі застосування найсучаснішої методології системного підходу та системного аналізу до створення і функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, ДС представляються як складні природно-технічні еколого-економічні системи, в яких має місце структурний взаємозв'язок виду *ефект*  $\Leftrightarrow$  *режим*  $\Leftrightarrow$  *технологія*  $\Leftrightarrow$  *конструкція*, що визначає необхідність більш детальних досліджень закономірностей взаємопов'язаних процесів руху води як в основних елементах, так і в системі в цілому (див. розд. 2).

**5.8.3.** В розвиток такого підходу доцільно виділити та розглянути підсистему виду *грунт*  $\Leftrightarrow$  *режим рівня ґрунтових вод*  $\Leftrightarrow$  *ЗКДМ* як основний регулюючий елемент ДС, елементи якої мають структурний ієрархічний та гідравлічний взаємозв'язок. При цьому, характерною особливістю ДС з двостороннім регулюванням є те, що процеси руху водного потоку в елементах ЗКДМ ДС при роботі її в режимі осушення та підгрунтового зволоження є аналогічними, але взаємопротилежними і реалізуються, використовуючи одну й ту ж КДМ.

**5.8.4.** Зв'язок між режимом РГВ та ЗКДМ в такій підсистемі забезпечується трансформацією фільтраційного руху відносно рівномірного та суцільного потоку в різномірну структуру сукупності відокремлених водних турбулентних потоків в ієрархічно та гідравлічно зв'язаних напірних дренажних трубопроводах як складових елементах ЗКДМ з різними умовами формування їх градієнтів напорів та швидкостей при її роботі в режимі осушення і навпаки – при її роботі в режимі підгрунтового зволоження. Це може бути відображено відповідною підсистемою виду *режим руху ґрунтового потоку*  $\Leftrightarrow$  *режим руху потоку в ЗКДМ*  $\Leftrightarrow$  *режим руху потоку в окремому дренажному трубопроводі* як основному елементі ЗКДМ.

**5.8.5.** 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.

**5.8.6.** На підставі аналізу й узагальнення наявних досліджень розроблена 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 (рис. 5.7).

**5.8.7.** На підставі проведених теоретичних досліджень отримані нові теоретичні положення щодо подальшого розвитку загальної теорії турбулентного руху потоку в напірних трубопроводах, які, на відміну від наявних напівемпіричних теорій, дають змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму побудувати профіль розподілу осередненої швидкості та порівняти зміну профілів осереднених швидкостей руху рідини для різних режимів та їх областей (рис. 5.8)

**5.8.8.** Шляхом застосування методів математичного моделювання гідродинамічної структури турбулентного потоку в напірних трубопроводах з використанням загальноновизнаних диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса було отримано залежність для розрахунку осереднених швидкостей також при турбулентному режимі руху рідини

$$u_{xt} = \frac{\nu Re^2 (r_0^2 - r^2)}{64 \left( (k Re)^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m r_0}, \quad (5.38)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору;  $Re$  – число Рейнольдса;  $\nu$  – кінематичну в'язкість;  $r_0$  – радіус трубопроводу;  $k$ ,  $m$  і  $n$  – постійні параметри для певної області турбулентного режиму руху потоку визначаються за системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} k &= a \lg Re \lg(100\lambda) + b; \\ m &= c \lg Re \lg(100\lambda) + d; \\ n &= 2/m; \\ \nu_s &= \lambda \nu; \end{aligned} \right\}, \quad (5.39)$$

де  $a, b, c, d$  – постійні коефіцієнти, які дорівнюють  $a = -0,000675$ ;  $b = 0,0273$ ;  $c = -0,0195$ ;  $d = 0,915$ .

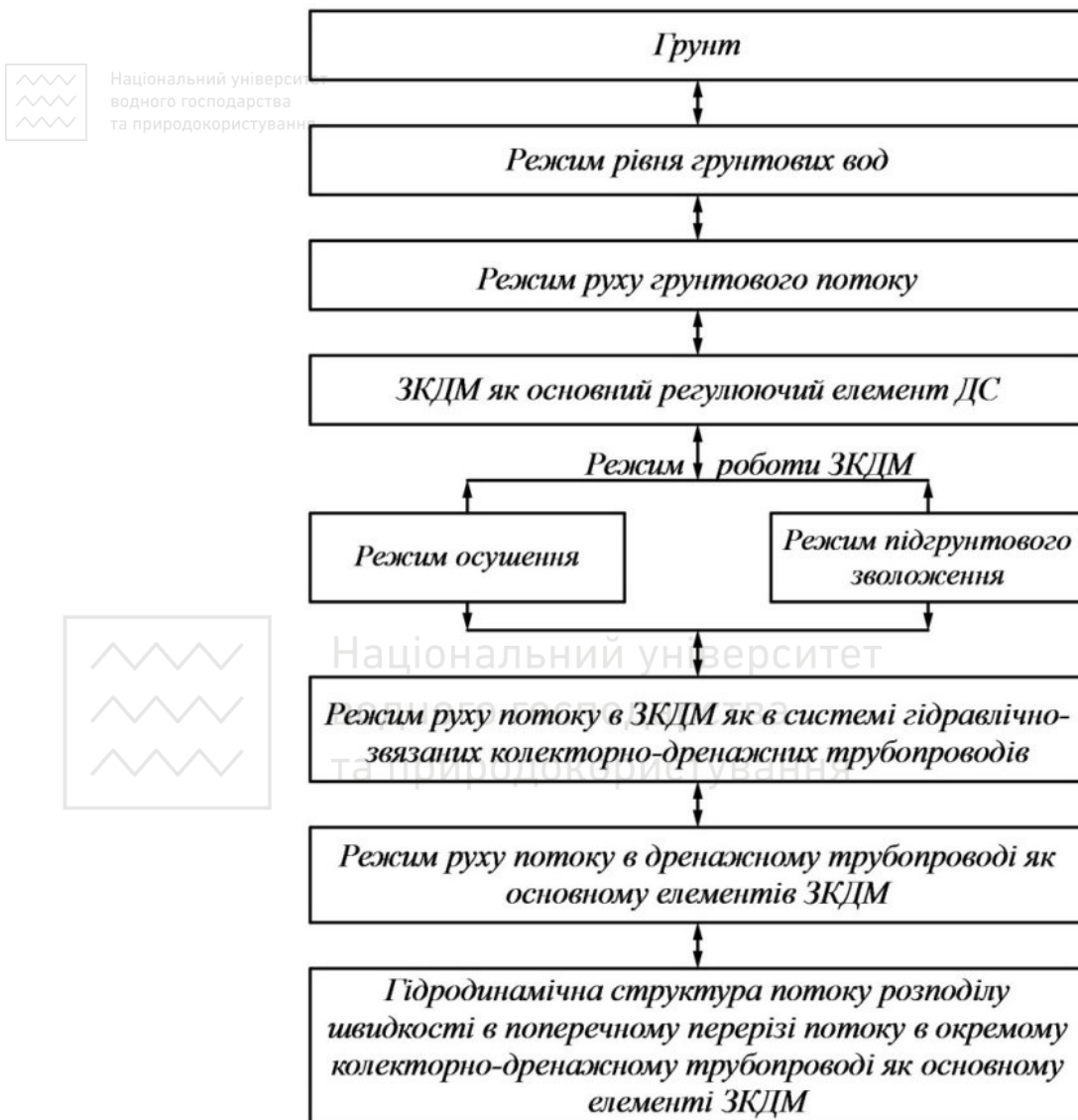


Рис. 5.7. Структурно-логічна схема ієрархічного та гідравлічного взаємозв'язку і впливу режиму роботи ЗКДМ на режим рівня ґрунтових вод меліорованого поля, ефективність чого визначається гідродинамічною структурою розподілу швидкості в поперечному перерізі потоку у дренажному трубопроводі як в окремому елементі регулюючої мережі



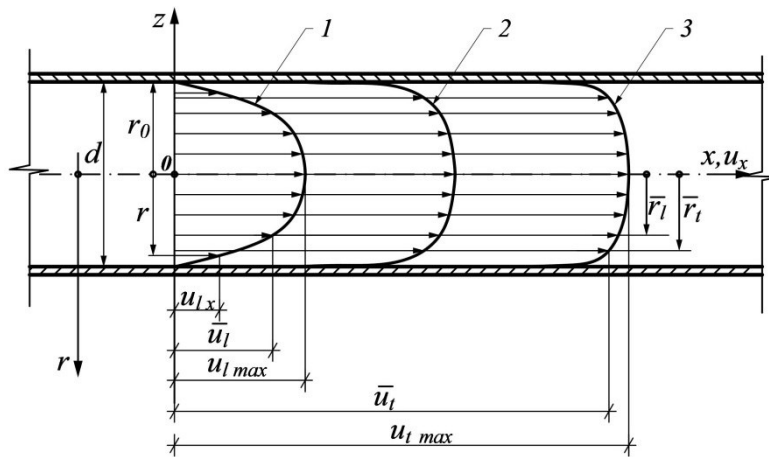


Рис. 5.8. Розподіл осередненої швидкості руху рідини: 1 – для ламінарного режиму руху потоку; 2 – для області гідравлічно гладкого опору при турбулентному режимі за формулою (5.39); 3 – для областей доквадратичного та квадратичного опору при турбулентному режимі за формулою (5.40)

**5.8.9.** Шляхом застосування методів математичного моделювання гідродинамічної структури турбулентного потоку в напірних трубопроводах з використанням загально визначених диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса було отримано залежність для розрахунку осереднених швидкостей також при турбулентному режимі руху рідини

$$u_{xi} = \frac{\nu Re^2 (r_0^2 - r^2)}{64 \left( (k Re)^{1/m} (r_0^n - r^n) + r_0^n \right)^m r_0}, \quad (5.40)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору;  $Re$  – число Рейнольдса;  $\nu$  – кінематичну в'язкість;  $r_0$  – радіус трубопроводу;  $k$ ,  $m$  і  $n$  – постійні параметри для певної області турбулентного режиму руху потоку визначаються за системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} k &= a \lg Re \lg(100\lambda) + b; \\ m &= c \lg Re \lg(100\lambda) + d; \\ n &= 2/m; \\ \nu_s &= \lambda \nu; \end{aligned} \right\}, \quad (5.41)$$

де  $a, b, c, d$  – постійні коефіцієнти, які дорівнюють  $a = -0,000675$ ;  $b = 0,0273$ ;  $c = -0,0195$ ;  $d = 0,915$ .

**5.8.10.** Таким чином, отримані удосконалені теоретичні положення щодо подальшого розвитку загальної теорії, турбулентного руху потоку в напірних трубопроводах. Дані положення, на відміну від наявних напівемпіричних теорій, дають змогу шляхом розкриття повної гідродинамічної структури потоку для всіх областей турбулентного режиму в ньому на основі застосування отриманих універсальних рівнянь побудувати профіль розподілу загальної турбулентної кінематичної в'язкості та осередненої швидкості.

**5.8.11.** Розглянутий підхід дає можливість оцінити ефективність руху потоку як в складових дренажних трубопроводах мережі, так і в ЗКДМ в цілому та в подальшому 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.

## 6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

### 6.1. Вихідні передумови

**6.1.1.** Загострення найбільших викликів сучасності, що стосуються енергетичних, продовольчих та водних криз, під впливом зміни кліматичних та антропогенних чинників як на планетарному, так і регіональних рівнях, що обумовлює необхідність у зміні підходів до створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на осушуваних землях, які адаптовані до цих змін (див. розд. 1).

**6.1.2.** Тому головним стратегічним напрямом подальшого розвитку гідромеліорацій в зоні достатнього та нестійкого зволоження України в умовах змін клімату, що визначений «Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», буде всеохоплююча реконструкція і удосконалення існуючих типів й конструкцій ДС з метою застосування прогресивних, економічно вигідних та екологічно прийнятних технологій і режимів водорегулювання для досягнення проектного рівня ефективності використання наявного фонду осушуваних земель.

**6.1.3.** Традиційно питання обґрунтування типу та конструкції ДС і складових їх технічних елементів вирішувалися на основі застосування *водобалансових, гідромеханічних, емпіричних* методів. При цьому кожен з них має свої переваги та недоліки. Дані методи були високого наукового рівня, отримали всебічне визнання, увійшли у відповідні галузеві нормативи та широко впроваджені на практиці в умовах виробництва (див. розд. 1).

**6.1.4.** В умовах України це завдання традиційно вирішувалося шляхом виконання прогнозних інженерно-меліоративних розрахунків за загальновідомою водобалансовою моделлю А.М. Янголя (1970) на основі оцінювання вегетаційного значення показника водного балансу для середнього (50%), сухого (75%) та гостропосушливого (90%) розрахункових років за умовами забезпеченості опадів. Це дозволяло приймати у досліджуваних умовах реального об'єкта такі технології як осушення, попереджувальне шлюзування та двобічне регулювання водного режиму осушуваних земель з відповідним типом й конструкцією ДС. На той момент часу це було безперечним кроком вперед у теорії і практиці реалізації прогнозних водобалансових розрахунків, які дозволяли з певним рівнем детальності і точності прийняти тип та конструкцію ДС на моноваріантній основі.

**6.1.5.** Однак реалізація даного підходу дозволяла отримати фактично безальтернативний результат щодо оцінки ефективності застосування можливих технологій водорегулювання осушуваних земель в конкретних природно-агро-меліоративних умовах реального об'єкта. Крім того, параметри складових технічних елементів і системи в цілому визначалися на підставі нормування рівня розрахункової забезпеченості, що знижувало об'єктивність обґрунтованість і загальну ефективність даних рішень.

**6.1.6.** Таким чином, водобалансові розрахунки давали змогу уточнити ПР щодо типу, конструкції ДС в заданих умовах. За тим, згідно з базовими проектними процедурами, розроблявся робочий проект ДС за уточненим технічним та технологічним рішенням з водорегулювання осушуваних земель, визначалися їх основні питомі техніко-економічні показники (проектна вартість системи, експлуатаційні витрати тощо), економічна ефективність в цілому та доцільність його реалізації (рис. 6.1).

**6.1.7.** Реалізація такого підходу дозволяла обґрунтувати необхідність періодичного зволоження осушуваних земель у посушливі періоди вегетації, але не давала при цьому конкретної оцінки ефективності застосування різних можливих технологій водорегулювання: від осушення до попереджувального шлюзування, підґрунтового зволоження чи зрошення дощуванням, або можливих їх комбінацій в межах системи.

**6.1.8.** У подальшому, для усунення цього недоліку та в розвиток існуючого підходу, була розроблена й удосконалена методика оцінювання технологічної ефективності застосування різних можливих технологій водорегулювання залежно від природно-агро-меліоративних

умов об'єкта осушення. Це стало можливо завдяки введенню у водобалансову модель А.М. Янголя показника вологообміну активного кореневмісного шару ґрунту (0,5 м) та її реалізації з помісячним кроком дискретизації щодо розрахункових років.



Рис. 6.1. Структурна блок-схема обґрунтування типу та конструкції ДС на моноваріантній основі

**6.1.9.** Основу удосконаленої методики складають спрощені математичні моделі водного балансу для оцінювання умов вирощування сільськогосподарських культур проектної сівозміни на осушуваних землях при різних технологіях водорегулювання, що реалізуються

за потенційно можливими (кліматично забезпеченими) значеннями їх складових, отримані шляхом удосконалення наявного методу і моделі А.М. Янголя. Через значний об'єм необхідних вихідних даних і виконаних розрахунків останні реалізуються на ЕОМ. Але введені удосконалення у методику водобалансових розрахунків та можливість уточнення щодо типу та конструкції ДС в заданих умовах все ж не дозволяють обґрунтувати ПР відповідно до сучасних умов та вимог щодо еколого-економічної ефективності їх створення та функціонування.

**6.1.10.** Тому у подальшому, за допомогою більш детальних прогнозно-імітаційних розрахунків за відповідними моделями при реалізації оптимізаційного методу (див. розд. 2), можуть бути визначені реальні рівні загальної технічної, технологічної та еколого-економічної ефективності кожного з варіантів та вибраний до реалізації оптимальний з них залежно від множинних змінних природно-кліматичних, рельєфних, ґрунтових, гідрогеологічних, агротехнічних та інших умов функціонування об'єкта у їх взаємозв'язку.

**6.1.11.** Враховуючи складність проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів та зміни принципу проектування і розрахунку ДС за комплексом оптимізаційних та прогнозно-імітаційних моделей, який включає врахування множинних природно-агро-меліоративних умов як в часі, так і в просторі, слід переходити на просторову постановку та реалізацію вирішення такого роду завдань в цілому по об'єкту, що спирається на застосування сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій, АСУ, САПР, ВІМ та ГІС-технологій. Останні поєднують спільне та взаємне використання даних.

**6.1.12.** Отже, перехід на оптимізаційні методи визначає необхідність зміни та удосконалення технології проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів на основі поєднання та послідовної реалізації різнорідних багатоваріантних підходів, методів системної оптимізації, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій. Це дозволить підвищити обґрунтованість і загальну технічну, технологічну та еколого-економічну ефективність їх створення та функціонування відповідно до сучасних вимог та умов.

## **6.2. Удосконалення методів оцінювання варіантів проектних рішень при створенні та функціонуванні дренажних систем**

**6.2.1.** Шляхи підвищення ефективності осушувальних меліорацій полягають у розвитку, удосконаленні й застосуванні оптимізаційних методів проектування і розрахунку ДС та їх елементів на еколого-економічних засадах, переходу на багатоваріантність при обґрунтуванні ПР – пошук оптимального ПР з вибраної сукупності можливих альтернативних варіантів. Головна мета порівняльного оцінювання полягає у виборі більш економічно та екологічно прийнятних варіантів інвестування, тобто в забезпеченні максимального ефекту меліоративних заходів при найменших витратах на їх реалізацію.

**6.2.2.** Як в минулі роки, так і зараз на практиці процедура розробки альтернативних варіантів ПР та вибору найкращого з них відсутня, хоча ДБН В. 2.4-1-99 передбачено, що технічні рішення щодо схем та конструкцій основних меліоративних споруд слід приймати на основі порівняння основних техніко-економічних показників різних варіантів між собою. Проте на практиці на початковому етапі після проведення необхідних досліджень та вишукувань проектною організацією розробляється якийсь один технічний варіант проекту, який в подальшому просто уточняється або доповнюється. Хоча остаточний вибір способів водорегулювання й пов'язаних з ними типу, конструкції і схеми роботи ДС можуть бути виконані тільки на підставі техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) оптимальних рішень шляхом порівняння можливих їх альтернативних варіантів (способів і схем водорегулювання) на об'єкті, що розглядається.

**6.2.3.** Варіанти технічних і технологічних рішень при проектуванні нового будівництва, реконструкції чи модернізації ДС на осушуваних землях можуть бути сформовані за такими основними напрямками:

- 1) технологічні рішення щодо способів, режимів та схем водорегулювання;
- 2) конструктивні рішення за елементами системи щодо дренажу, каналів бокової мережі,

магістрального каналу, шлюзів-регуляторів тощо;

3) конструктивні рішення за системою в цілому щодо її типу, конструкції та параметрів.

**6.2.4.** Крім того, також можуть розглядатись варіанти за напрямками сільськогосподарського використання осушуваних земель щодо проектних видів, структури посівних площ та врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур. Всі ці варіанти ПР забезпечують відповідну кількість та якість отримуваної сільськогосподарської продукції, тобто економічний ефект від реалізації гідромеліоративних заходів, а також відповідний екологічний ефект. Тому порівняльна оцінка загального еколого-економічного ефекту дасть змогу вибрати спочатку найкращий варіант з можливих альтернативних рішень та визначити в подальшому абсолютну ефективність проекту в цілому.

**6.2.5.** Реалізація такого підходу передбачає обов'язкове застосування розгляду та оцінювання ПР у три етапи:

1) обґрунтування, вибір й попередня оцінка можливих варіантів ПР щодо природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта на перед проектній стадії;

2) обґрунтування й вибір оптимального варіанту ПР за порівняльною оцінкою альтернативних варіантів на стадії ескізного проектування;

3) остаточна оцінка вибраного ПР за абсолютними техніко-економічними показниками на стадії розробки технічної документації по проекту.

**6.2.6.** Вибір обґрунтованої сукупності можливих варіантів ПР здійснюється наступним чином. Варіанти технічних і технологічних рішень у постановці оптимізаційних задач, що розглядаються, складаються зі схем водорегулювання на системі сукупності  $I = \{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  як комбінації застосування можливих способів водорегулювання сукупності  $S = \{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$  для кожного поля під вирощуваними культурами в сівозміні сукупності  $Q = \{k\}$ ,  $k = \overline{1, n_k}$  і можуть бути представлені, в свою чергу, також прямокутною матрицею  $n_s \times n_k$ .

Звідси витікає, що знаходження оптимального рішення з водорегулювання осушуваних земель при проектуванні та експлуатації ДС потребує в загальному випадку розгляду та аналізу значної кількості альтернативних варіантів. Загальна теоретично можлива їх кількість дорівнює  $n_i = (n_s)^{(n_k)}$  і може визначатися навіть десятками тисяч, що робить випадковий пошук і повне перебирання всіх варіантів принципово непридатним. Разом з тим, така задача може бути розв'язана тільки аналізом альтернативних варіантів можливих інженерних рішень.

**6.2.7.** З огляду на конструктивні особливості ДС на осушуваних землях і зумовленої цим технологічності водорегулювання на них, реальний інтерес з численних можливих варіантів схем водорегулювання, в першу чергу викликають ті, які передбачають регулювання водного режиму за схемами  $i = s$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ , коли для всіх культур сівозміни застосовується один з наявних способів водорегулювання, (осушення, попереджувальне та зволожувальне шлюзування, зрошення дощуванням), а також за схемою  $i = n_s + 1$ , що представляє собою комбіновану схему водорегулювання, складену з оптимальних способів  $s_0$  для кожного поля  $k$  -ї культури проектної сівозміни. Отже, розрахункову кількість варіантів схем водорегулювання на осушуваних землях з теоретично можливої сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  доцільно обмежити до  $i = s$ , де  $s = \overline{1, n_s}$ , та  $i = n_s + 1$  або  $s = \overline{1, (n_s + 1)}$ .

**6.2.8.** В принципі, за необхідності створення особливих умов водорегулювання для окремих культур сівозміни, виходячи з їх пріоритетності або цінності, а також через причини технічного характеру, що пов'язані з неможливістю реалізації того чи іншого способу на системи, можуть бути розглянуті додаткові варіанти комбінованих схем водорегулювання, тоді  $s = n_s + m$ , де  $m$  – необхідна додаткова фіксована кількість комбінованих схем водорегулювання на системі.

**6.2.9.** Одна з головних цілей проектування на багатоваріантній основі полягає в пошуку



оптимального ПР з вибраної сукупності можливих варіантів. Сутність оптимізації при цьому зводиться до пошуку найкращого (з можливих) ПР з урахуванням кліматичних, ландшафтних, ґрунтових, геологічних, агрономічних умов, яке дає мінімум (максимум) деякої цільової функції, що характеризує загальну (комплексну) ефективність об'єкта, що проектується.

**6.2.10.** Загальна модель еколого-економічного оцінювання МП за основними етапами його розробки може бути представлена у вигляді структурної схеми (рис. 6.2).

**6.2.11.** При такому підході МП слід розглядати як певним чином організовану систему ресурсів, інвестицій, технічної та організаційно-фінансової документації, технологічних процесів, об'єктів інженерної інфраструктури і певних дій з метою оптимального (раціонального) й продуктивного розвитку та організації аграрного виробництва на меліорованих землях за рахунок мінімізації впливу несприятливих умов навколишнього природного середовища на створюваний еколого-економічний ефект за певний проміжок часу.

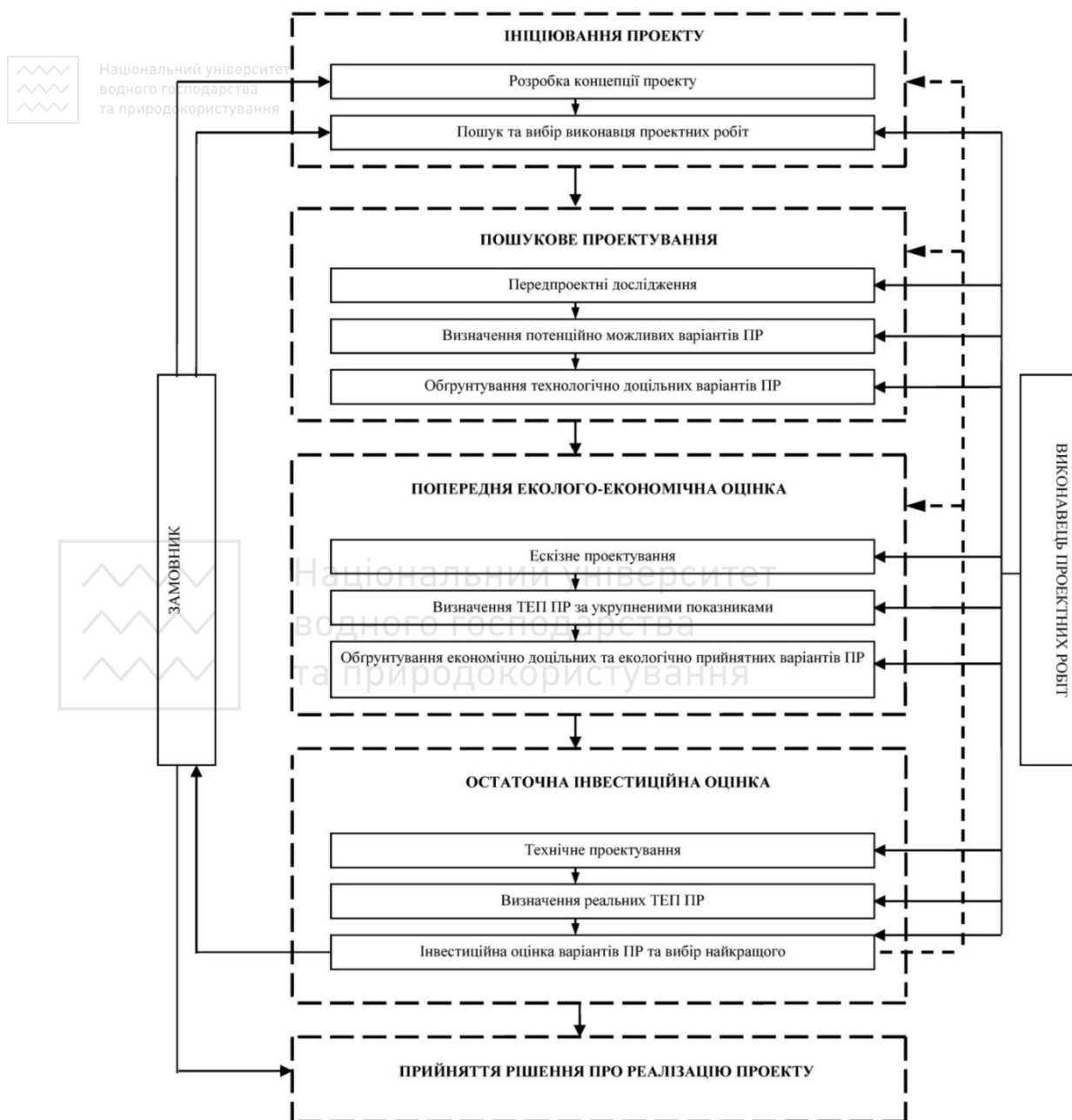


Рис. 6.2. Загальна модель еколого-економічного оцінювання меліоративного проекту

**6.2.12.** Отже, попереднє еколого-економічне оцінювання й вибір екологічно та економічно оптимального для реалізації варіанту МП доцільно проводити за такими основними стадіями і етапами щодо базових проектних процедур розробки проекту:

**I. Ініціювання проекту:**

- 1.1. Розробка концепції проекту.
- 1.2. Пошук та вибір виконавця проектних робіт.

**II. Пошукове проектування:**

- 2.1. Передпроектні дослідження.
- 2.2. Визначення потенційно можливих варіантів ПР.
- 2.3. Обґрунтування технологічно доцільних варіантів ПР.

**III. Попереднє еколого-економічне оцінювання:**

- 3.1. Ескізне проектування.
- 3.2. Визначення ТЕП ПР за укрупненими показниками.
- 3.3. Обґрунтування економічно доцільних та екологічно прийнятних варіантів ПР.

**IV. Остаточне інвестиційне оцінювання:**

- 4.1. Технічне проектування.
- 4.2. Визначення реальних техніко-економічних показників ПР.
- 4.3. Інвестиційне оцінювання варіантів ПР та вибір найкращого з них.

**V. Прийняття рішення про реалізацію проекту**

**6.2.13.** При проектуванні ДС як складних природно-технічних та еколого-економічних систем на багатоваріантній основі необхідно застосовувати поетапне економічне оцінювання з використанням на різних етапах різних підходів і методів розрахунку ефективності здійснення вкладень для підвищення достовірності одержуваних результатів. При цьому таке оцінювання доцільно здійснювати в два етапи:

1. *Попереднє еколого-економічне оцінювання альтернативних варіантів проекту.*
2. *Остаточне інвестиційне оцінювання варіантів ПР та вибір найкращого з них.*

**6.2.14.** Попереднє еколого-економічне оцінювання здійснюється на основі реалізації комплексної моделі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних параметрів ДС, принципи побудови та реалізації якої ґрунтуються на пов'язаних між собою прогнозно-імітаційному, режимно-технологічному, конструктивно-технологічному, й оптимізаційному блоках моделей (див. розд. 2).

**6.2.15.** Головним завданням попереднього еколого-економічного оцінювання є приведення альтернативних варіантів ПР до співставного вигляду за обраними економічними та екологічними критеріями з метою порівняння та вибору одного чи декількох раціональних з них для подальшого інвестиційного оцінювання.

**6.2.16.** Попереднє еколого-економічне оцінювання здійснюється на стадії техніко-економічного обґрунтування, яке включає в себе ескізне проектування та визначення техніко-економічних показників за варіантами проекту.

**6.2.17.** В загальному випадку *ескізні проекти* – це попередні плани рішення поставленого завдання в конкретних умовах і, як правило, вони охоплюють розробку основних питань з невеликою кількістю показників. Етап ескізного проектування розробляється для концептуального визначення вимог до територіальних, функціональних, екологічних вирішень об'єкта, принципового підтвердження можливості і доцільності його створення.

**6.2.18.** Після цього здійснюється порівняльна еколого-економічна ефективність розроблюваних варіантів проекту та екологічних умов порівнюваних варіантів ПР. Загальноприйнятним підходом у сфері вибору оптимальних ПР в галузі меліорації земель є орієнтація на їх *економічну доцільність та екологічну прийнятність*.

**6.2.19.** Тобто у загальному вигляді модель еколого-економічного оцінювання альтернативних варіантів МП за комплексною оптимізаційною моделлю (див. розд. 2) представлено у вигляді двох складових: *економічна складова, екологічна складова*.

**6.2.20.** Таким чином, із сукупності попередньо відібраних за техніко-технологічними параметрами варіантів проекту за визначеними еколого-економічними критеріями обирають

один або декілька близьких за техніко-економічними показниками екологічно прийнятних варіанти ПР для подальшої, вже більш детальної їх розробки та оцінювання.

**6.2.21.** Приклад розрахунку еколого-економічного обґрунтування проекту ДС та ефективність застосування при цьому методу системної оптимізації наведено в додатку Г.1.

**6.2.22.** Остаточне інвестиційне оцінювання альтернативних варіантів МП та вибір найкращого з них здійснюється з використанням сучасних підходів та методів інвестиційного аналізу (методів дисконтування) – індексу доходності інвестицій (*ІДІ*); чистого дисконтованого доходу (*ЧДД*); внутрішньої норми доходності інвестицій (*ВНД*); дисконтованого терміну окупності (*ДТО*).

**6.2.23.** У загальному випадку модель вибору оптимального для реалізації варіанту МП та обґрунтування його ефективності на стадії інвестиційного оцінювання має вигляд

$$ІДІ_0 = \max_{\{i\}} (ІДІ_i), i = \overline{1, n}, \quad (6.1)$$

$$\text{за умови, що} \begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДТО_i \geq T_{np}, \end{cases} \quad (6.2)$$

де  $d_i$  – норма дисконту за варіантом ПР;  $T_{np}$  – прийнятний для інвестора дисконтований термін окупності вкладів.

**6.2.24.** Кожен з показників, що входять до загальної моделі, у свою чергу, розраховується з урахуванням мінливості погодно-кліматичних умов та їх впливу на основні економічні параметри.

Так, наприклад,

$$ІДІ_i = \left[ \sum_{t=0}^T \frac{E_{zi}}{(1+d_i)^t} / \sum_{t=0}^T \frac{I_i}{(1+d_i)^t} \right] + 1, i = \overline{1, n}, \quad (6.3)$$

де  $E_{zi}$  – річний економічний ефект за кожним варіантом водогосподарсько-меліоративного проекту, який розраховується за формулою

$$E_{zi} = \sum_{j=1}^m \Delta ЧД_{ij} \cdot a_{p_j} + \Delta A_i - I_i, i = \overline{1, n}, \quad (6.4)$$

де  $I$  – річна сума інвестицій, грн/га;  $\Delta ЧД$  – приріст річного прогнозного чистого доходу за результатами реалізації інвестиційного проекту, грн/га;  $\Delta A$  – приріст річних амортизаційних відрахувань, пов'язаний з введенням у дію нових основних фондів, грн/га.

**6.2.25.** Аналогічно розраховуються інші складові моделі.

**6.2.26.** Приклад розрахунку економічної ефективності інвестицій варіантів ПР щодо технологічних та конструктивних параметрів самотічних та польдерних ДС наведено в додатках Г.3.1, Г.3.2.

### 6.3. Удосконалення технології проектування дренажних систем на основі системної оптимізації

**6.3.1.** Вирішення складних міждисциплінарних, багатофункціональних і багатопараметричних завдань щодо зміни підходів до створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, удосконалення технологій водорегулювання, відповідно типів, конструкції й параметрів ДС та їх технічних елементів можливе тільки завдяки переходу від традиційних переважно моноваріантних підходів на оптимізаційні методи, які визначають необхідність зміни та удосконалення технології проектування ДС на основі реалізації базових проектних процедур за основними етапами їх розробки з використання різнорідних методів, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій.

**6.3.2.** Сучасною методологічною основою та, одночасно, універсальним технічним

інструментом, який дозволяє удосконалювати практику проектування складних об'єктів і систем, що сьогодні успішно використовуються і розвиваються практично в усіх галузях науки, техніки і промисловості, є традиційні системи автоматизованого проектування (САПР) або сучасні BIM-технології проектування.

**6.3.3.** У структурному відношенні САПР представляє собою організаційно-технічний комплекс, що складається з великої кількості взаємозв'язаних і взаємодіючих компонентів. Головною функцією САПР є здійснення автоматизованого проектування об'єктів та їх складових елементів на основі застосування математичних й інших моделей, автоматизованих проектних процедур і засобів обчислювальної техніки.

**6.3.4.** Застосування САПР при проектуванні ДС потребує, в першу чергу, уточнення базових проектних процедур, що пов'язане з поетапним оцінюванням варіантів ПР, вибором найкращого з них на багатоваріантній основі із застосуванням методів системної оптимізації (рис. 6.3).

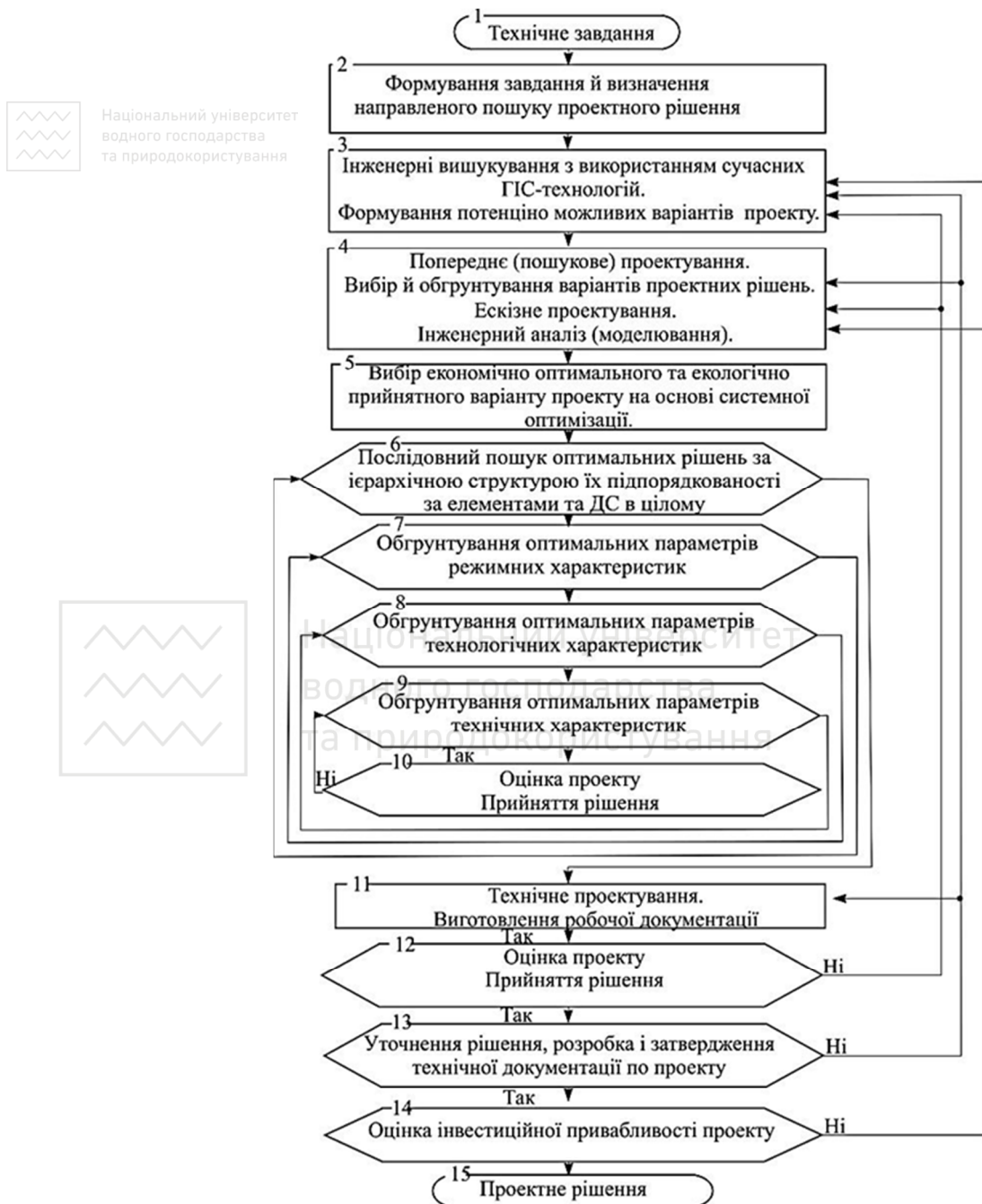


Рис. 6.3. Типова логічна схема процесу проектування за базовими проектними процедурами на багатоваріантній основі за системною оптимізацією

**6.3.5.** Характерними особливостями розробленої логічної схеми є послідовна реалізація базових проектних процедур щодо загальної моделі еколого-економічного оцінювання МП (див. п. 6.2.10 рис. 6.2) таких як ініціювання проекту, що передбачає насамперед, формування ідеї та мети проекту, постановку завдань, формування основних його характеристик та попереднє оцінювання доцільності інвестицій на його реалізацію; попереднє (пошукове) проектування шляхом проведення передпроектних досліджень для подальшого визначення можливих варіантів ПР і вибору з них найбільш обґрунтованих в умовах реального об'єкта.

**6.3.6.** На етапі ескізного проектування здійснюється подальше уточнення і конкретизація загальних структурних схем об'єкту за вибраними до розгляду можливими варіантами. Для ДС на осушуваних землях це, в першу чергу, тип та конструкція системи як компоновка певного набору (кількісного та якісного) відповідних технічних елементів (дренажу, каналів бокової мережі, магістрального каналу, шлюзів-регуляторів тощо). На цьому етапі вирішується завдання інженерного синтезу та аналізу: синтез охоплює формування принципів реалізації і конкретизацію проектних технічних та технологічних рішень, а аналіз включає дослідження (за допомогою математичної моделі чи прототипу) вибраних варіантів та їх оцінку за основними укрупненими техніко-економічними показниками і параметрами.

**6.3.7.** Одна з головних цілей проектування полягає в пошуку економічно оптимального та екологічно прийняттого ПР з вибраної сукупності можливих варіантів на основі системної оптимізації. Сутність системної оптимізації при цьому зводиться до послідовного пошуку за кожним варіантом проекту оптимальних рішень за ієрархічною структурою їх підпорядкованості за елементами та ДС в цілому при послідовному обґрунтуванні їх параметрів режимних, технологічних та технічних характеристик з урахуванням множинних змінних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта, їх впливу на врожай вирощуваних культур та створюваний економічний й екологічний ефект.

**6.3.8.** За вибраними на попередньому етапі перспективними з екологічної та економічної точок зору варіантами проекту розробляється, відповідно до діючих вимог, необхідна робоча документація, уточнюються прийняті конструктивні рішення та їхні технічні параметри, визначаються реальні обсяги основних будівельно-монтажних робіт, потреби в ресурсах тощо. На даному етапі, на основі розрахованих технічних характеристик ПР, визначається кошторисна вартість об'єкту за реальними витратами матеріалів, видами й обсягами будівельно-монтажних робіт, основні техніко-економічні показники, які є, відповідно, основою подальшого інвестиційного оцінювання.

**6.3.9.** На відміну від попередньої стадії, на етапі остаточного інвестиційного оцінювання простих методів визначення економічної доцільності інвестицій вже недостатньо. Тому для інвестиційного оцінювання та остаточного вибору оптимального варіанту МП слід використовувати динамічні методи оцінювання доцільності інвестицій, що відповідають сучасним вимогам проектного аналізу. На даному етапі відбір найкращих варіантів слід здійснювати за відповідним комплексом основних економічних критеріїв, що відповідають цілям та задачам інвесторів.

**6.3.10.** Дана схема наочно відображає принципи переходу від традиційного, переважно моноваріантного підходу до обґрунтування ПР при створенні водогосподарсько-меліоративних об'єктів, до переходу на оптимізаційні методи з вибором оптимального ПР на багатоваріантній основі за методами системної оптимізації.

**6.3.11.** Порівняльна характеристика основних показників та їх параметрів як самотічної, так і польдерної ДС та їх складових основних технічних елементів, що визначені за традиційним підходом до проектування в реальному проекті, а також за удосконаленою технологією проектування на основі системної оптимізації, наведено в додатку Г.4.

**6.3.12.** Таким чином, створення й функціонування ДС відповідно до сучасних умов та вимог потребує переходу від традиційних, переважно моноваріантних підходів, на оптимізаційні методи, які визначають необхідність зміни та удосконалення технології їх проектування на основі реалізації базових проектних процедур за основними етапами їх розробки з використанням поєднання та послідовної реалізації різнорідних методів, сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М. : Сельхозгиз, 1960. 622 с.
2. Осушение : справочник / под ред. Б. С. Маслова. М. : Агропромиздат, 1985. 447 с.
3. Рекомендации по технологии применения импульсного шлюзования на осушительно-увлажнительных системах с автоматизированным водорегулированием / Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Черенков А. В., Шашук В. А., Гус В. М., Муранов В. Г., Хомко В. Е., Доманский Ю. М. Ровно, 1987. 28 с.
4. НТД 33.63-074-87. Руководство по проектированию осушительных систем в Украинской ССР. К. : УкрГИПРОВОДХОЗ, 1987. 526 с.
5. Методические указания по экономико-математическому обоснованию выбора оптимальной расчётной обеспеченности и сечений магистральных каналов осушительных систем / Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Гончаров С. М., Черенков А. В., Дупляк В. Д., Питкевич Э. Г. Ровно, 1988. 20 с.
6. НТД 33-63-090-89. Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчёта при проектировании осушительных систем в Украинской ССР / Лазарчук Н. А., Муранов В. Г., Черенков А. В., Рокочинский А. Н. К. : УкрГИПРОВОДХОЗ, 1989. 26 с.
7. НТД 33.63-089-89. Технические указания по проектированию на ЭВМ расчётных режимов увлажнения сельскохозяйственных культур на системах двустороннего действия Украинской ССР / Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Черенков А. В., Нагорная В. П., Дорошук А. Н. Ровно, 1990. 53 с.
8. НТД 33-04-01-91. Технические указания по разработке с помощью ЭВМ системных планов водопользования для осушительно-увлажнительных систем Украины / Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Гус В. М., Зубик Я. Я., Бежук В. М., Черенкова Л. П., Шашук В. А., Полякова М. И., Нагорная В. П., Дорошук А. Н. К. : УкрГИПРОВОДХОЗ, 1991. 40 с.
9. Технические указания по эксплуатационной гидрометрии на осушительных системах: НТД 33-04-02-91 / Лазарчук Н.А., Рокочинский А.Н., Черенков А.В., Чабан В.И., Кошечев Н.Н., Гус В.М., Шашук В.А. – К.:УкрГИПРОВОДХОЗ, 1991. – 74 с.
10. НТД 33-04-03-92. Технические указания по созданию информационно-советующих систем управления осушительно-увлажнительными системами / Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Черенков А. В., Гус В. М., Шашук В. А., Зубик Я. Я., Бежук В. Н., Черенкова Л. П. К. : УкрГИПРОВОДХОЗ, 1992. 66 с.
11. ДБН В.2.4.-1-99. Меліоративні системи та споруди. К., 2000. 174 с.
12. Обґрунтування ефективної проектної врожайності при будівництві й реконструкції осушувальних систем. *Осушувальні системи* : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / А. М. Рокочинський, С. В. Шалай, В. М. Бежук, В. А. Шашук. Київ-Рівне, 2006. Розділ 3. 50 с.
13. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем. *Осушувальні системи* : посібник до ДБН В.2.4.-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / А. М. Рокочинський, О. І. Галік, В. А. Шашук, Н. А. Фроленкова, В. А. Волощук, Л. В. Зубик, Є. І. Покладньов, Т. В. Савчук, Р. М. Коптюк, П. П. Волк та ін. Рівне, 2008. Розділ 3. 64 с.
14. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водо регулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за редакцією академіка УААН Ромащенко М. І. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с.
15. НТД 33-63-090-89. Технические указания по оптимизации параметров горизонтального дренажа на основании экономико-математического расчёта при проектировании осушительных систем в Украинской ССР / Лазарчук Н. А., Муранов В. Г., Черенков А. В., Рокочинский А. Н. К. : УкрГИПРОВОДХОЗ, 1989. 26 с.
16. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А. М. Рокочинський, В. А. Шашук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова, О. Ю. Тимейчук,

- В. М. Бежук, Л. М. Паллу, Р. М. Коптюк, Я. Я. Зубик, Є. І. Волк, С. П. Мендусь, С. Ю. Громаченко, Л. В. Зубик та ін. Рівне, 2010. 52 с.
17. Тимчасові рекомендації з прогнозої 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, Л. М. Паллу, Р. М. Коптюк, Я. Я. Зубик, Є. І. Покладньов, Т. В. Савчук, П. П. Волк та ін. Рівне, 2011. 54 с.
18. 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, 2013. 34 с.
19. 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, 2013. 46 с.
20. Меліорація та облаштування Українського Полісся: колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с.
21. Рокочинський А. М., Волк П. П. Моделі системної оптимізації для створення й функціонування дренажних систем у сучасних умовах. *Меліорація і водне господарство*. 2021. № 1. С. 75–86. URL: <https://doi.org/10.31073/mivg202101-277> (дата звернення: 10.08.2021).
22. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М. : Колос, 1970. 135 с.
23. Янголь А. М. Рекомендации по увлажнению осушаемых земель. К. : Урожай, 1965. 88 с.
24. Гідровузол для відводу води з польдерної осушувальної системи : пат. № 120514 Україна: МПК E02B 7/18, E02B 11/00; заявл. 14.04.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. С. 4.
25. Розпушувач ґрунту : пат. № 116000 Україна: МПК E02B 13/00; заявл. 22.08.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. С. 2.
26. 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.
27. Регулююча та акамулююча дренажна система : пат. № 147568 Україна: МПК E02B 11/00; заявл. 21.12.2020; опубл. 19.05.2021, Бюл. № 20. С. 2.
28. P. Kovalenko, A. Rokochinskiy, J. Jeznach, P. Volk, R. Koptiuk, N. Prykhodko. Evaluation of climate change in polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41. Issue 1. Pp. 72–82. URL: <https://content.sciendo.com/view/journals/jwld/41/1/article-p77.xml> (дата звернення: 10.08.2021).
29. A. Rokochynskiy, P. Volk, N. Frolenkova, N. Prykhodko, Ie. Gerasimov, O. Pinchuk. Evaluation of climate changes and their accounting for developing the reclamation measures in Western Ukraine. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. April 2019. Vol. 28. Issue 1(83). Pp. 3–13. URL: [http://iks\\_pn.sggw.pl/PN83/A1/zeszyt83art1en.html](http://iks_pn.sggw.pl/PN83/A1/zeszyt83art1en.html) (дата звернення: 10.08.2021).
30. Rokochinskiy A., Jeznach J., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N., Koptiuk R. Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. 2019. Vol. 28. Issue 3(85). Pp. 432–443. URL: [http://iks\\_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html](http://iks_pn.sggw.pl/PN85/A11/zeszyt85art11en.html) (дата звернення: 10.08.2021).
31. Rokochinskiy A., Shevchenko O., Volk P., Turchenyuk V., Koptjuk R., Volk L. Hydrogeological action of drainage and drainage systems of Polissia zone in changing climatic conditions. *Visnyk Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*. 2020. Vol. 4(91). Pp. 74–84.

32. Kovalenko P., Rokochinskiy A., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N., Tykhenko R. Evaluation of ecological and economic efficiency of investment in water management and land reclamation projects. *Journal of Water and Land Development*. 2021. No. 48 (I–III). P. 81–87. DOI 10.24425/jwld.2021.136149. URL: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/136149/edition/119051/content> (дата звернення: 10.08.2021).

33. A. Rokochinskiy, I. Korobiichuk, L. Kuzmych, P. Volk, A. Kuzmych. The System Optimization of Technical, Technological and Construction Parameters of Polder Systems. *Conference on Automation. Automation. Towards Industry of the Future*. 2020. Pp. 78–86. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-40971-5\\_8](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-40971-5_8) (дата звернення: 10.08.2021).

P. Volk, A. Rokochinskiy, O. Shevchenko, R. Koptyuk, V. Turchenyuk, L. Volk. The influence of the assessment of the terrain on the design solutions for water regulation on the drained lands of the Polesie zone. *Geoinformatics 2021. First announcemend*. 11–14 May 2021. Kyiv, Ukraine.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## **ДОДАТКИ**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## Додаток А

### Регулююча та гідроакумулююча дренажна система

Як показують практика та накопичений досвід тривалого функціонування ДС, основними їх недоліками, що особливо проявляється при зміні кліматичних умов, є нерівномірність формування водного і загального природно-меліоративного режимів на осушуваній площі. В більшості випадків це пов'язане з надмірним заглибленням магістрального каналу й каналів провідної та огорожувальної мережі, зумовлює значні об'єми земляних робіт при їх створенні та негативного впливу системи на прилеглі території під час експлуатації.

Запропонована конструкції регулююча та гідроакумулююча ДС складається із дрен, закритих або відкритих колекторів, бічних відкритих каналів, магістрального каналу, водоприймача, облаштовується у гирловій частині магістрального каналу ДС регулюючим та акумулюючим басейном, який підключений до магістрального каналу за допомогою відкритого каналу з шлюзом-регулятором, при цьому дно регулюючого та акумулюючого басейну має бути глибше від глибини залягання дна магістрального каналу для забезпечення самотічного відведення води з осушуваної території (див. рис. А.1, А.2, патент № 147568 від 19.05.2021, Бюл. № 20. – С. 2.

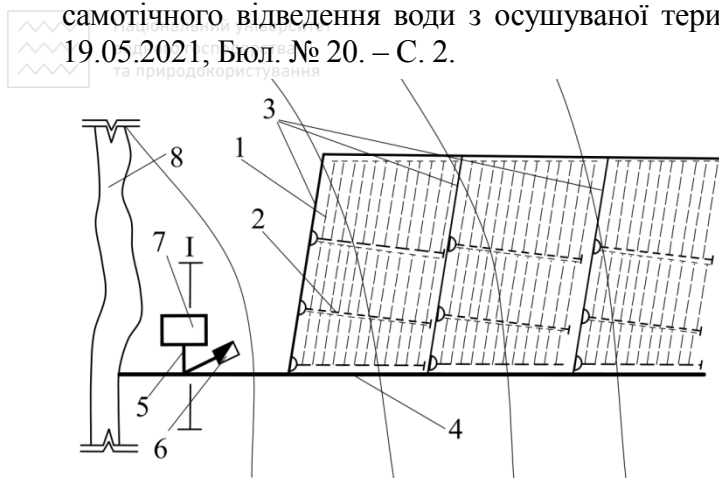


Рис. А.1. План регулюючої та акумулюючої ДС з регулюючим та акумулюючим басейном

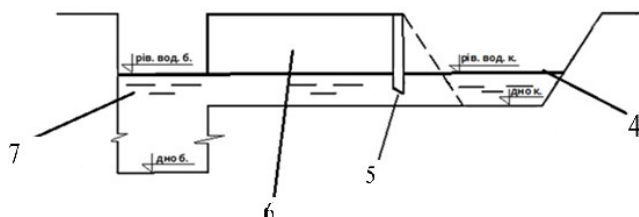


Рис. А.2. Поперечний переріз I-I регулюючої та акумулюючої ДС з регулюючим та акумулюючим басейном

Комплекс включає в себе дрени 1, які підключаються до закритих колекторів 2 і сполучаються з бічними відкритими каналами 3, потім підключаються до магістрального каналу 4, який сполучається з регулюючим та акумулюючим басейном 7 за допомогою відкритого каналу 5 з шлюзом-регулятором 6 і з водоприймачем 8.

Влаштування регулюючого та акумулюючого басейну, який підключений гирловою частиною магістрального каналу за допомогою відкритого каналу з шлюзом-регулятором, забезпечує підвищення акумуляції води в системі та регулювання води в провідній системі і рівномірність водного та загального природно-меліоративного режимів на осушуваному масиві, а заглиблення регулюючого та акумулюючого басейну дасть змогу зменшити надмірне заглиблення магістрального каналу й каналів провідної та огорожувальної мережі, відповідно зменшення об'ємів земляних робіт по влаштуванню системи, вартості системи і збереження заакумульованої води, яка надходить з системи, а також зменшує негативний вплив на прилеглі території, яка забезпечує мінімум природоохоронних витрат та збитків навколишньому природному середовищу. Параметри регулюючого та акумулюючого басейну визначаються з умов пропуску витрат та зарегулювання частини об'єму весняної повені чи літніх паводків відповідної розрахункової забезпеченості.

Перевагою запропонованого комплексу є збереження заакумульованої води з системи, а також зменшення надмірного заглиблення магістрального каналу й каналів провідної і огорожувальної мережі, об'ємів земляних робіт по влаштуванню системи, вартості системи, негативного впливу на прилеглі території й покращення загальної технологічної, економічної та екологічної ефективності роботи ДС в цілому.



**Додаток Б**  
**Результати визначення впливовості мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу**

**Б.1. Вплив мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу при роботі самотічної дренажної системи в режимі осушення**

Для дослідження впливу мінливості основних чинників на відстань між дренами використано та застосовано методи статистичного моделювання та методи теорії ймовірності, на їх основі розроблено математичні моделі для визначення середнього квадратичного відхилення визначального чинника досліджуваної функції.

Проектування об'єктів самотічної ДС базується на детерміністичних залежностях. При цьому визначальний параметр  $Y$ , який характеризує працездатність системи, часто є функцією кількох аргументів  $x_i$ , тобто функцією

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (\text{Б.1})$$

Якщо величини  $x_1, x_2, \dots, x_n$  не корельовані, то дисперсія і середнє квадратичне відхилення функції дорівнюють:

$$D_Y = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 D_{x_i}, \quad (\text{Б.2})$$

$$\sigma_Y^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 \sigma_{x_i}^2. \quad (\text{Б.3})$$

Аналізуючи зв'язки між параметрами, слідує, що

$$B = f(H_D; T_D; k_\phi; a; \Phi_0; t; D). \quad (\text{Б.4})$$

Для виявлення впливовості чинників на параметри величини відстаней між дренами використовується згідно ДБН В.2.4-1-99 загальноприйнята формула з урахуванням розробок О.Я. Олійника та А.І. Мурашка для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення за відповідною розрахунковою схемою (рис. Б.1).

а) для випадку неглибокого водоупору, коли

$$m_D \leq \frac{E}{4} \quad E_i = 4 \left( \sqrt{L_f^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_f \right), i = \overline{1, n_i}; \quad (\text{Б.5})$$

б) для випадку глибокого водоупору, коли

$$m_D > \frac{E}{4} \quad E_i = \frac{2\pi k_\phi H}{q_i [\ln(2E_i/\pi D_i) + \Phi_i]}, i = \overline{1, n_i}, \quad (\text{Б.6})$$

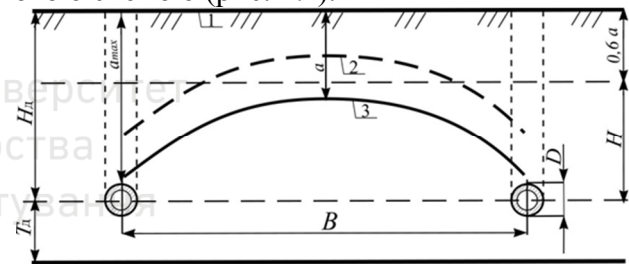


Рис. Б.1. Розрахункова схема відстані між дренами

де  $m_D$  – відстань від осі дрени до водоупору, м;  $B$  – відстань між дренами, м;  $L_f$  – загальні фільтраційні опори за ступенем та характером розкриття пласта;  $H$  – розрахунковий напір, м;  $T$  – водопровідність пласта, м<sup>2</sup>/добу;  $q$  – інтенсивність інфільтраційного живлення, м/добу;  $k_\phi$  – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу;  $D_i$  – зовнішній діаметр дрени, м;  $\Phi_i$  – фільтраційні опори за характером розкриття пласта залежно від конструкції дрен.

Враховуючи формулу (Б.1) та функціональну залежність (Б.5), середнє квадратичне значення відстаней між дренами дорівнює

$$\sigma_B^2 = \underbrace{\left(\frac{\partial B}{\partial H_D} \sigma_{H_D}\right)^2}_{\Pi_{H_D}} + \underbrace{\left(\frac{\partial B}{\partial k_\phi} \sigma_{k_\phi}\right)^2}_{\Pi_{k_\phi}} + \underbrace{\left(\frac{\partial B}{\partial T_D} \sigma_{T_D}\right)^2}_{\Pi_{T_D}} + \underbrace{\left(\frac{\partial B}{\partial a} \sigma_a\right)^2}_{\Pi_a} + \underbrace{\left(\frac{\partial B}{\partial \Phi_0} \sigma_{\Phi_0}\right)^2}_{\Pi_{\Phi_0}}. \quad (Б.7)$$

Для реалізації поставленого завдання сплановано і здійснено статистичне моделювання з використанням узагальнених усереднених даних по найбільш поширеним ґрунтам і умов осушуваних територій.

Аналіз впливовості параметрів показників на величину відстаней між дренами виконано шляхом машинного експерименту за варіантами, які розглядають такі змінні умови:

- за нормою осушення  $a = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 м$ ;
- за тривалістю зниження рівня ґрунтових вод  $t = 2; 4; 7; 10 д\bar{o}б$ ;
- за коефіцієнтом фільтрації  $k_\phi = 0,5; 1,0 м/д\bar{o}бу$ ;
- за глибиною закладання дрени  $H_D = 1 м$ ;
- за віддаллю від осі дрени до водоупору  $T_D = 2 м$ ;
- розглянуто дренаї з гончарних труб;
- зовнішній діаметр яких  $D = 0,055 м$ ;
- фільтраційні опори  $\Phi_0 = 1$ .

За результатами машинного експерименту побудовано гістограму впливовості мінливих природних та конструктивних чинників параметрів дренажу на величину відстаней між дренами (рис. Б.2).

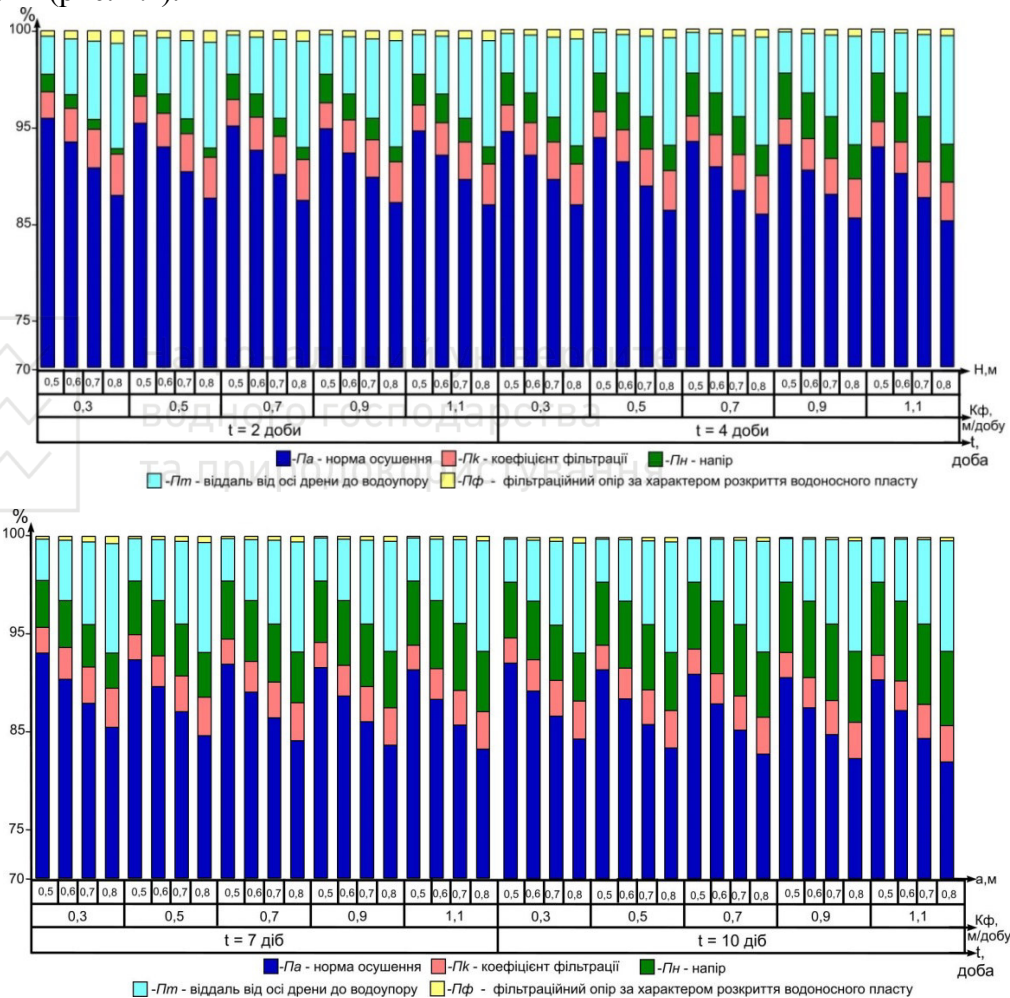


Рис. Б.2. Гістограма впливовості чинників параметрів дренажу на величину відстаней між дренами

Наведені дані (див. рис. Б.2) засвідчують, що найбільш впливовим чинником на величину відстаней між дренами є норма осушення, питома вага якої у  $\sigma_B^2$  досягає 84...94%. При цьому вагомість впливу коефіцієнта фільтрації складає 6...14% та віддалі від осі дрени до водоупору 12...28%.

## Б.2. Вплив мінливих природних та конструктивних чинників на параметри дренажу при роботі дренажної системи в режимі підґрунтового зволоження

Як і у випадку осушення (див. дод. Б.1), для дослідження впливу мінливості основних чинників на відстань між дренами при підґрунтовому зволоженні використано та застосовано методи статистичного моделювання та методи теорії ймовірності, на їх основі розроблено математичні моделі (Б.1–Б.7). для визначення середнього квадратичного відхилення визначального чинника досліджуваної функції.

Для виявлення впливовості чинників на параметри величини відстаней між дренами при підґрунтовому зволоженні використано, згідно ДБН В.2.4-1-99, загальне рівняння, що враховує розробки О.Я. Олійника, А.І. Мурашка та В.Л. Полякова.

Схема для розрахунку відстаней між дренами ОЗС, які працюють в режимі підґрунтового зволоження, для розрахункової залежності (Б.5) подано на рис. Б.3.

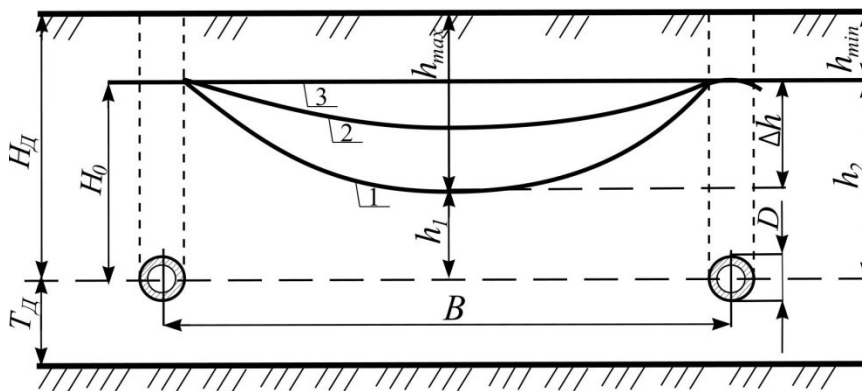


Рис. Б.3. Розрахункова схема відстані між дренами осушувально-зволожувальних систем, що працюють в режимі підґрунтового зволоження:

1; 2; 3 – рівні ґрунтових вод;  $T_d$  – відстань від осі дрени до водоупору;  $H_d$  – глибина від поверхні ґрунту до осі дрени;  $H_0$  – напір води в дрен;  $h_1$  – відстань від осі дрени до РГВ перед зволоженням в середині між дренами;  $h_2$  – відстань від осі дрени до РГВ після зволоження в середині між дренами

Відповідно аналізуючи зв'язки між параметрами, слідує, що

$$B = f(H_d; T_d; k_\phi; h; \Phi_0; t; D). \quad (\text{Б.8})$$

Аналогічно до формули (А.1) та функціональної залежності (А.8), середнє квадратичне значення відстаней між дренами дорівнює

$$\sigma_B^2 = \underbrace{\left( \frac{\partial B}{\partial H_d} \sigma_{H_d} \right)^2}_{\Pi_{H_d}} + \underbrace{\left( \frac{\partial B}{\partial T_d} \sigma_{T_d} \right)^2}_{\Pi_{T_d}} + \underbrace{\left( \frac{\partial B}{\partial k_\phi} \sigma_{k_\phi} \right)^2}_{\Pi_{k_\phi}} + \underbrace{\left( \frac{\partial B}{\partial h} \sigma_h \right)^2}_{\Pi_h} + \underbrace{\left( \frac{\partial B}{\partial \Phi_0} \sigma_{\Phi_0} \right)^2}_{\Pi_{\Phi_0}}. \quad (\text{Б.9})$$

Аналіз впливовості параметрів показників на величину відстаней між дренами при підґрунтовому зволоженні виконано також шляхом машинного експерименту за варіантами, які розглядають такі змінні умови:

- за РГВ  $h = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 \text{ м}$ ;
- за тривалістю зниження рівня ґрунтових вод  $t = 2; 4; 7; 10 \text{ діб}$ ;

- за коефіцієнтом фільтрації  $k_{\phi} = 0,5; 1,0 \text{ м/добу}$ ;
- за глибиною закладання дрени  $H_d = 1 \text{ м}$ ;
- за віддаллю від осі дрени до водоупору  $T_d = 2 \text{ м}$ ;
- розглянуто дрени з гончарних труб;
- зовнішній діаметр яких  $D = 0,055 \text{ м}$ ;
- фільтраційні опори  $\Phi_0 = 1$ .

За результатами машинного експерименту побудовано гістограму впливовості мінливих природних та конструктивних чинників параметрів дренажу на величину відстаней між дренами при підґрунтовому зволоженні, наведено на рис. Б.4.

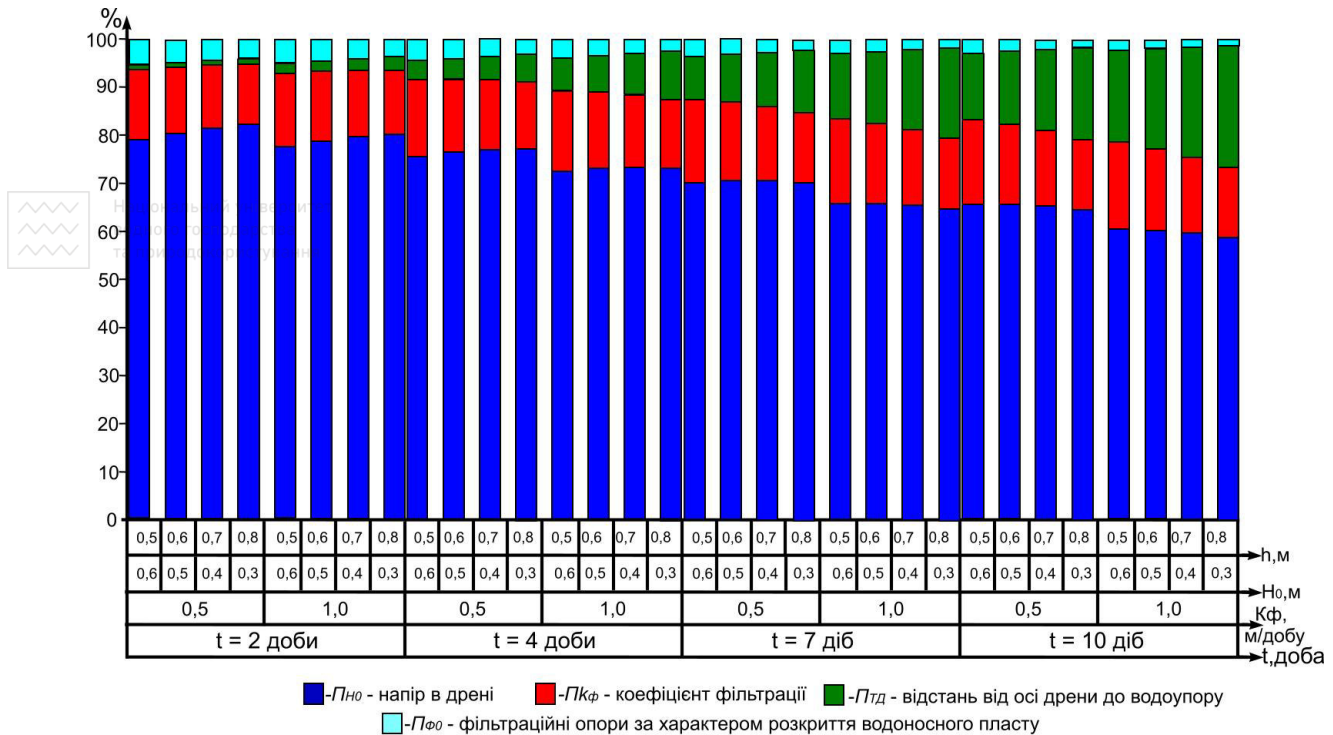


Рис. Б.4. Гістограма впливовості чинників параметрів дренажу на величину відстаней між дренами при підґрунтовому зволоженні

Наведені результати свідчать, що найбільш впливовим чинником на величину відстаней між дренами при підґрунтовому зволоженні є напір над дренами, питома вага якого у  $\sigma_B^2$  досягає 58...79%. При цьому вагомість впливу коефіцієнта фільтрації складає 12,6...18,1%, а віддаль від осі дрена до водоупору 2...28%.

## Додаток В

### Приклади реалізації системної оптимізації щодо конструкцій та параметрів різних типів дренажних систем

#### В.1. Приклад реалізації системної оптимізації щодо конструкції та параметрів самотічних дренажних систем

##### В.1.1. Оптимізація конструкції та параметрів дренажу з урахуванням економічних та екологічних вимог

Приклад розрахунку з обґрунтування оптимальної конструкції й параметрів сільськогосподарського дренажу за сучасними економічними та екологічними вимогами реалізовано для умов реального об'єкта площею 330 га, який розміщений в «КСП Маневицький» Маневицького району Волинської області (рис. В.1).



Рис. В.1. Схема розміщення ДС «КСП Маневицький» Маневицького району Волинської області

Машинний експеримент на основі прогнозно-імітаційного моделювання виконаний за такими природно-агро-меліоративними умовами досліджуваного об'єкта: для розрахункових умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  дуже вологі ( $p=10\%$ ), вологі ( $p=30\%$ ), середні ( $p=50\%$ ), сухі ( $p=70\%$ ), дуже сухі ( $p=90\%$ ); для трьох видів ґрунту: дерново-середньо підзолистими глеевими піщаними на пісках ( $g = 1$ ) з



коефіцієнтом фільтрації ( $k_\phi = 1,2 \text{ м/добу}$ ) та дольовою часткою розповсюдження на системі ( $f_{g_m} = 0,1$ ), дерново-глеєвими супіщаними ( $g = 2$ ), ( $k_\phi = 1,0 \text{ м/добу}$ ,  $f_{g_m} = 0,3$ ) та торф'яниками середньопотужними середньорозкладеними ( $g = 2$ ), ( $k_\phi = 0,4 \text{ м/добу}$ ,  $f_{g_m} = 0,6$ ); для культур проектної сівозміни: овес з проектною врожайністю ( $Y = 36 \text{ ц/га}$ ) та дольовою часткою ( $f_k = 0,12$ ), багаторічні трави на сіно ( $Y = 42 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,25$ ); озима пшениця ( $Y = 30 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,12$ ), кукурудза на силос ( $Y = 320 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,13$ ), картопля ( $Y = 210 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,13$ ); способи водорегулювання сукупності  $\{s\}$ ,  $s = \overline{1, n_s}$ , (у нашому випадку  $s = 1$  – осушення;  $s = 4$  – підґрунтове зволоження). Умови досліджуваного об'єкта є типовими для умов зони Західного Полісся України. Розрахунок виконано для одного варіанту дренажу: діаметр – 0,63 мм; труби пластмасові, конструкція фільтру дрен з круглою перфорацією і піщано-гравійною засипкою.

Оптимальні параметри дренажу на **стадії проекту** визначені за такою комплексною моделлю оптимізації, що побудована з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом та дає змогу визначити економічно доцільні й екологічно прийнятні ПР за відповідними критеріями

$$\begin{cases} ZP_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} ZP_{ip} \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ q_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} |q_s - \hat{q}_{екол}| \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (\text{В.1})$$

де  $ZP_0$  – оптимальне значення критерію за  $i$ -м варіантом ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ,  $гpn/га$ ;  $\alpha_p$  – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$

у межах проектного терміну функціонування об'єкта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;  $q_0$  – оптимальне розрахункове значення модуля дренажного стоку за  $i$ -тим варіантом ПР,  $л/с \cdot га$ ;  $q_s$  – середньозважене значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну функціонування об'єкта за  $i$ -тим варіантом ПР,  $л/с \cdot га$ ;  $\hat{q}_{екол}$  – граничне значення модуля дренажного стоку, що відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу в досліджуваних умовах,  $л/с \cdot га$ ;  $i$  – варіанти ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$  щодо типу, конструкції та параметрів дренажу.

Для визначення параметрів дренажу при роботі ДС в режимі осушення використовується згідно ДБН В.2.4-1-99 загальноприйнята формула для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення (див. дод. Б.1).

Реалізація економічної складової комплексної моделі оптимізації (В.1) визначається у загальному випадку за прийнятою чотирирівневою ( $v = \overline{1, n_v}$ ), ( $v = 4$ ) ієрархічною структурою виконання оптимізаційних розрахунків

$$ZP_{0_v} = \min_{\{i\}} \sum_{m_g=1}^{n_{m_g}} \sum_{m_m=1}^{n_{m_m}} \sum_{k=1}^{n_k} \left( \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ipkg_m m_g} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_k \cdot f_{g_m} \cdot f_{m_g}, i = \overline{1, n_i}, \quad (\text{В.2})$$

де  $ZP_{0_v}$  – оптимальне значення критерію для кожного рівня ієрархії  $v = \overline{1, n_v}$  реалізації моделі відповідно: на рівні культур проектної сівозміни ( $v = 1$ ), ґрунтів ( $v = 2$ ), ґрунтово-меліоративних різниць ( $v = 3$ ) та системи в цілому  $v = 4$ ,  $гpn/га$ ;  $ZP_{ipkg_m m_g}$  – значення критерію оптимізації за відповідними варіантами ПР щодо множинних змінних

природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта,  $grn/za$ ;  $f_k \cdot f_{g_m} \cdot f_{m_g}$  – дольові частки розповсюдження відповідно культур проектної сівозміни, ґрунтових умов, ґрунтово-меліоративних різниць у межах об'єкта.

За результатами реалізації моделі (В.2) отримуємо оптимальні значення критерію оптимізації для кожного рівня ієрархії  $ZP_{0_v}$ ,  $v = \overline{1, n_v}$  у досліджуваних умовах.

Оптимальне ПР щодо параметрів дренажу на рівні системи в цілому матиме такий вигляд

$$i_0 = \{ZP_0, b_0, d_0, \varphi_0, q_0, B_0\}. \quad (B.3)$$

Екологічна прийнятність для визначеного економічно оптимального ПР щодо конструкції і параметрів дренажу на рівні системи досягається за умови, коли

$$q_s \rightarrow \hat{q}_{екол}. \quad (B.4)$$

Узагальнені результати послідовних оптимізаційних розрахунків щодо ієрархічних їх рівнів *культура – ґрунт – ґрунтово-меліоративна різниця – система* для досліджуваного об'єкта за методом системної оптимізації подані в табл. В.1.

Таблиця В.1

Узагальнені результати розрахунку параметрів та конструкції дренажу за комплексним оптимізаційним методом у змінних природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта

Вид ґрунту, $g_m$	Культура $k$	На рівні культури, $v = 1$		На рівні ґрунту, $v = 2$		На рівні ґрунтово-меліоративної різниці, $v = 3$		На рівні системи, $v = 4$	
		$(q_0)$	$(B_0)$	$(q_0)$	$(B_0)$	$(q_0)$	$(B_0)$	$(q_0)$	$(B_0)$
Дерново-середньо-підзолисті глеєві піщані $g = 1$	Овес	0,4	38,00						
	Озима пшениця	0,5	32,00						
	Багаторічні трави	0,6	30,00						
	Кукурудза на силос	0,5	32,00						
	Картопля	0,85	26,00	0,85	26,00	0,85	26,00		
Дерново-глеєві супіщані $g = 2$	Овес	0,45	35,00						
	Озима пшениця	0,55	30,00						
	Багаторічні трави	0,5	28,00						
	Кукурудза на силос	0,5	28,00						
	Картопля	0,8	24,00	0,8	24,00	0,8	24,00		
Торф'яники середньо-потужні середньо-розкладені $g = 3$	Овес	0,4	30,00						
	Озима пшениця	0,45	26,00						
	Багаторічні трави	0,55	22,00						
	Кукурудза на силос	0,5	24,00						
	Картопля	0,6	20,00	0,6	20,00	0,6	20,00	0,6	20,00

Примітка: У даному випадку за умовами досліджуваного об'єкта результати оптимізаційних розрахунків на ієрархічних рівнях ґрунт- ґрунтово-меліоративна різниця співпадають

Отримані результати розрахунку за визначеними рівнями врожайності вирощуваних культур показують, що в заданих умовах оптимальні відстані між дренами на найнижчому рівні ієрархії *культура – ґрунт* змінюються на  $g = 1$  від  $B = 26$  м для картоплі з відповідним економічним критерієм оптимізації  $ZP_0 = 0,91$  до 38 м для зернових з  $ZP_0 = 1,04$  при

відповідній зміні розрахункового модуля дренажного стоку від  $q_{ekol} = 0,4$  л/с·га до  $q_{ekon} = 0,85$  л/с·га; для ґрунту  $g = 2$  відповідно від  $B = 24$ м при  $ZP_0 = 0,88$  до  $B = 35$ м при  $ZP_0 = 0,99$  при зміні  $q_{ekol} = 0,45$  л/с·га до  $q_{ekon} = 0,80$  л/с·га; для ґрунту  $g = 3$  від 20м при  $ZP_0 = 0,82$  до 30м,  $ZP_0 = 0,92$  при  $q_{ekol} = 0,4$  л/с·га до  $q_{ekon} = 0,85$  л/с·га.

На рівні ієрархії їх виконання *культура – ґрунт- ґрунтово-меліоративна різниця* відстані між дренами змінюються від  $B = 20$ м,  $ZP_0 = 0,83$ м для картоплі на торфах до  $B = 38$ м,  $ZP_0 = 1,08$  м при зміні  $q_{ekol} = 0,4$  л/с·га до  $q_{ekon} = 0,8$  л/с·га.

Оптимальне ПР у заданих умовах для системи в цілому, залежно від дольової частки різних за родючістю ґрунтів та продуктивністю вирощуваних культур, складає:  $B_0 = 20$  м при  $ZP_0 = 0,583$ ,  $q_0 = 0,6$  л/с·га.

Оскільки в даному випадку середньозважене значення модуля дренажного стоку  $q_s = 0,42$  л/с·га менше за екологічно допустиме його значення  $q_{ekon} = 0,45$  л/с·га, тобто  $q_s < q_{ekon}$ , то визначене економічне оптимальне ПР щодо конструкції та параметрів дренажу є також екологічно прийнятним у заданих умовах.

Аналогічними оптимізаційними розрахунками встановлено, що оптимальні параметри дренажу при роботі ДС в режимі підґрунтового зволоження у досліджуваних умовах співпадають з оптимальними параметрами дренажу при роботі системи в режимі осушення.

### В.1.2. Оптимізація розрахункової забезпеченості, конструкції та параметрів магістральних каналів дренажних систем

Приклад розрахунку з обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості й параметрів магістрального каналу ДС реалізовано для умов досліджуваного об'єкта (див. дод. В.1 рис. В.1).

Для обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості й параметрів перерізу магістрального каналу ДС оптимізаційний метод реалізується за умовою (2.17) відповідно до інтерпретації економічної складової (2.21), комплексної моделі системної оптимізації виду (2.1) (див. розд. 2).

Відповідно оптимальні параметри магістрального каналу можуть бути визначені за оптимальним рівнем розрахункової забезпеченості розрахункової витрати для конкретного об'єкта з урахуванням наявних природно-агро-меліоративних умов, обґрунтування якої може бути здійснене за моделлю

$$p_{ps}^o(ZP) = \min_{\{p\}} ZP_{ps}^o, \quad p = \overline{1, n_p}, \quad s = \overline{1, n_s}. \quad (B.5)$$

При цьому як альтернативні порівняльні варіанти ПР щодо розрахункової забезпеченості осушувальних гідравлічно розраховуваних каналів, згідно ДБН В.2.4-1-99 відповідає 10% забезпеченості, розглядаються також посівні витрати сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  ( $n_p = 5$ ) відповідно 10, 15, 20, 25 і 30% забезпеченості.

За цим же нормативом при рівномірному русі води в каналах витрата  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) визначається за формулою

$$Q = S \cdot v = S \cdot C \sqrt{R \cdot i}, \quad (B.6)$$

де  $S$  – площа живого перетину, м<sup>2</sup>;  $v$  – швидкість течії води, м/с;  $C$  – коефіцієнт Шезі, м<sup>0,5</sup>/с;  $R$  – гідравлічний радіус, м

$$R = S / f; \quad (B.7)$$

де  $f$  – змочений периметр, м;  $i$  – гідравлічний уклон.

За умовами досліджуваного об'єкта прийнятий найбільш поширений в практиці осушення трапецеїдальний канал.

Розрахункова схема до обґрунтування параметрів каналів за розглянутими умовами подана на рис. В.2.

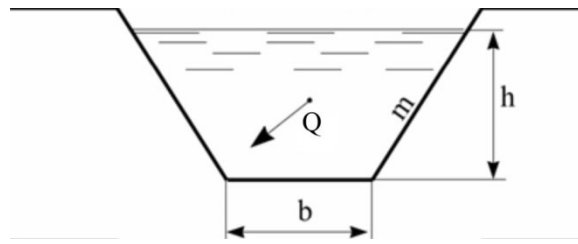


Рис. В.2. Розрахункова схема до гідравлічного розрахунку каналу

Параметри каналу визначаються як:

$$S_{ip} = (b_i + m_i h_{ip}) h_{ip}, \quad i = \overline{1, n_i}; \quad p = \overline{1, n_p}; \quad (B.8)$$

$$f_{ip} = b_i + 2h_{ip} \sqrt{1 + m^2}, \quad i = \overline{1, n_i}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (B.9)$$

де  $b$  – ширина каналу по дну, м;  $m$  – коефіцієнт закладання укосів каналу;  $h$  – глибина наповнення каналу за розрахунковою витратою, м.

Узагальнені результати гідравлічного розрахунку МК «Маневицький», Маневицький район Волинської області наведені в табл. В.2.

Таблиця В.2

Узагальнені результати гідравлічного розрахунку каналу

$p$	$q_0$	$Q_{op}$	$Q_k$	$H$	$b$	$h$	$m$	$w$	$c$	$R$	$C$	$i$	$v$
%	л·с/га	м <sup>3</sup> /с	м <sup>3</sup> /с	м	м	м		м <sup>2</sup>	м	м	м/с		м/с
10	0,912	0,245	0,738	2,000	2,000	0,730	2,000	2,527	5,265	0,480	29,494	0,0002	0,289
15	0,607	0,187	0,502	1,500	1,500	0,659	2,000	1,857	4,447	0,418	28,818	0,0002	0,263
20	0,456	0,151	0,374	1,500	1,000	0,649	2,000	1,491	3,901	0,382	28,395	0,0002	0,248
25	0,368	0,133	0,301	1,500	1,000	0,587	2,000	1,276	3,625	0,352	28,010	0,0002	0,235
30	0,324	0,369	0,266	1,500	1,000	0,548	2,000	1,148	3,450	0,333	27,749	0,0002	0,226

Примітка:  $q_0$  – оптимальне розрахункове значення модуля дренажного стоку при оптимальних параметрах дренажу  $B=20$ м (див.табл.9), л·с/га;  $Q_{op}$  – витрата, що надходить з дренажної мережі у магістральний канал, м<sup>3</sup>/с;  $Q_k$  – загальна витрата магістрального каналу м<sup>3</sup>/с.

Основні результати розрахунку з обґрунтування оптимальної розрахункової забезпеченості параметрів магістрального каналу ДС за розглянутим удосконаленим підходом на основі системної оптимізації для конкретних природно-агро-меліоративних умов досліджуваного об'єкта наведено в табл. В.3.

Таблиця В.3

Основні результати оптимізаційних розрахунків для МК «Маневицький» Маневицькому районі Волинської області

$P, \%$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$K, \text{ грн/га}$	$R, \text{ грн/га}$	$ZP, \text{ грн/га}$	$R, \text{ грн/га}$	$ZP+R/V, \text{ грн/га}$
10%	0,738	1329000	26160,04	309754	26099,66	4,761205
15%	0,489	969000	31563,36	244862,8	22926,28	4,321764
20%	0,374	789000	42668,24	209476,1	16404,37	5,094728
25%	0,301	669000	55675,58	183923,5	8765,138	8,133906
30%	0,266	609000	60506,84	171732,6	5927,732	11,08929

Примітка. Виділені розрахункові: витрата (10% забезпеченості) відповідні значення конструкції та параметри магістрального каналу, які визначені за традиційним підходом, та відповідні значення параметрів щодо оптимальної витрати (15% забезпеченості), що визначені за вдосконаленим методом на основі системної оптимізації

Отримані результати засвідчують, що розглянутий метод дає змогу визначити оптимальний тип, конструкцію та параметри гідравлічно розрахованих каналів ДС за відповідним напрямом та рівнем їхнього сільськогосподарського використання, підвищити обґрунтованість ПР при будівництві і реконструкції меліоративних об'єктів, знизити затрати на їх реалізацію в 1,2...2,0 рази.

## В.2. Приклад реалізації системної оптимізації щодо конструкції та параметрів польдерних дренажних систем

### В.2.1. Обґрунтування оптимальних параметрів модуля відкачки для польдерної дренажної системи

Приклад розрахунку з обґрунтування оптимальних параметрів модуля відкачки реалізовано на польдерній ДС «Бірки» (Володимирецький район Рівненська області), типової для даного регіону і введеної в експлуатацію в 1978 р. Площа системи бруто – 544,9 га, нетто – 516,9 га. Гончарний дренаж закладений на площі 444 га, площа торфовищ становить 89% від площі бруто системи, двостороннє регулювання можливо на площі 177,9 га. Площа польдера з механічним водовідведенням становить 470 га (рис. В.3).

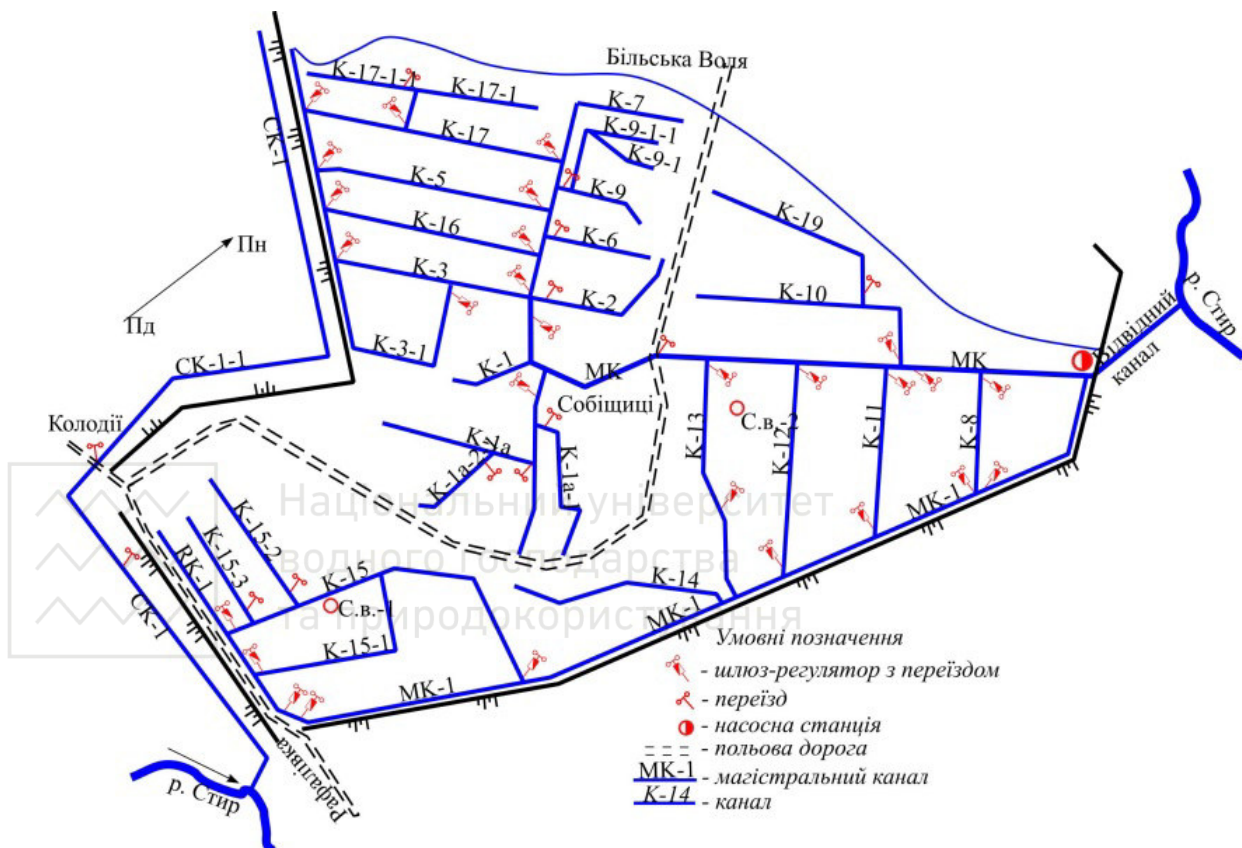


Рис. В.3. Схема осушувально-зволожувальної системи «Бірки»

Водоприймачем системи є річка Стир, яка на даній ділянці є типовою рівнинною річкою. Дамби обвалування польдера є торф'яними (частково можуть підтоплюватися в залежності від водності року). Вони захищають осушені землі від затоплення протягом всього року. Відкриті канали бокової мережі збирають воду і відводять її в провідні канали старшого порядку, які, в свою чергу, подають її в магістральний канал до насосної станції. У посушливі періоди вода з системи не відкачується, а залишається для підґрунтового зволоження. Відведення надлишкової води здійснюється електрифікованою насосною станцією і самопливом.



Характерною особливістю системи «Бірки» є те, що за конструкцією побудови тут є можливість реалізації практично всіх основних технологій водорегулювання осушуваних земель: осушення з механічною відкачуванням і систематичним дренажем, попереджувальне шлюзування і підгрунтове зволоження, також може бути застосовано зрошення дощуванням.

Машинний експеримент на основі прогнозно-імітаційного моделювання виконаний за такими природно-агро-меліоративними умовами досліджуваного об'єкта: для одного виду ґрунту-торф'яні середньої потужності добре розкладені середньої зольності на алювіальних супісках з коефіцієнтом фільтрації ( $k_{\phi} = 0,4 \text{ м/добу}$ ); для культур проектної сівозміни: озима пшениця з проектною врожайністю ( $Y = 40 \text{ ц/га}$ ) та дольвою часткою ( $f_k = 0,2$ ); картопля ( $Y = 400 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,2$ ); овочі ( $Y = 300 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,1$ ); трави ( $Y = 400 \text{ ц/га}$ ,  $f_k = 0,5$ ). Обґрунтування оптимальних параметрів модуля відкачки для діючої системи, виконувалась коли НС з «полкою» (проріз в дамбі для самопливного скидання відкачуваної води) працює в діапазоні від 0 до  $1,0 \text{ л/с} \cdot \text{га}$ .

**На стадії експлуатації** діючої польдерної ДС оптимальні параметри модуля відкачки можуть бути обґрунтовані за такою комплексною оптимізаційною моделлю



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

$$\begin{cases} D_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} D_{ip} \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}; \\ q_0 = \min_{\{i\}} \sum_{n=1}^{n_p} |q_s - \hat{q}_{\text{екол}}| \cdot \alpha_p, i = \overline{1, n_i}, \end{cases} \quad (\text{B.10})$$

де  $D_0$  – оптимальне значення критерію чистого доходу  $D_{ip}$  за  $i$ -м варіантом ПР сукупності  $\{i\}$ ,  $i = \overline{1, n_i}$ ,  $\text{грн/га}$ ;  $\alpha_p$  – відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахункові періоди вегетації сукупності  $\{p\}$ ,  $p = \overline{1, n_p}$  в межах проектного терміну функціонування об'єкта,  $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$ ;

Фрагмент результатів оптимізаційних розрахунків з визначення оптимального модуля відкачки для досліджуваного об'єкта подано в табл. В.4.

Таблиця В.4

Узагальнені результати оптимізаційних розрахунків з визначення оптимального модуля відкачки польдерної ДС

Культури	$f_k$	$q_{\text{ДПС}}$ , л/с·га	$Y_n$ , ц/га	$Y_{\phi}$ , ц/га	$D_i$ , грн/га
$q_{\text{ДПС}} = 0,9 \text{ л/с} \cdot \text{га}$					
Озима пшениця	0,2	0,9	39,0	24,5	10641,4
Картопля	0,2	0,9	390,0	245,7	35894,2
Овочі	0,1	0,9	292,5	184,2	20025,6
Трави	0,5	0,9	390,0	245,7	35936,1
$q_{\text{ДПС}} = 0,95 \text{ л/с} \cdot \text{га}$					
Озима пшениця	0,2	0,95	39,44	24,8	11513,2
Картопля	0,2	0,95	394,4	248,4	38112,3
Овочі	0,1	0,95	295,8	186,3	21273,6
Трави	0,5	0,95	394,4	248,4	38154,9
$q_{\text{ДПС}} = 1,0 \text{ л/с} \cdot \text{га}$					
Озима пшениця	0,2	1,0	40,6	25,5	11287,4
Картопля	0,2	1,0	406,5	256,0	37365,3
Овочі	0,1	1,0	304,9	192,0	20855,7
Трави	0,5	1,0	406,5	256,0	37406,5
На рівні системи	1,0	0,9	-	-	27362,6
		0,95	-	-	29057,8
		1,0	-	-	28487,6

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків визначено, що оптимальний модуль відкачки для польдерної ДС «Бірка» становить  $q_{ПДС} = 0,95 \text{ л/с}\cdot\text{га}$  за показника чистого доходу  $D_i = 29057 \text{ грн/га}$ .

### В.2.2. Обґрунтування оптимальних параметрів вузла відкачки польдерної дренажної системи

Приклад розрахунку з обґрунтування оптимальної конструкції та параметрів вузла відкачки польдерної ДС, який включає в себе діючу НС з «полкою» та додатково запроєктований сифон для розвантаження НС (рис. В.4., патент № 120514 від. 10.11.2017, Бюл. № 21. – С. 4.), реалізовано для умов досліджуваного об'єкта (див. дод. В.2.1, рис. В.3).

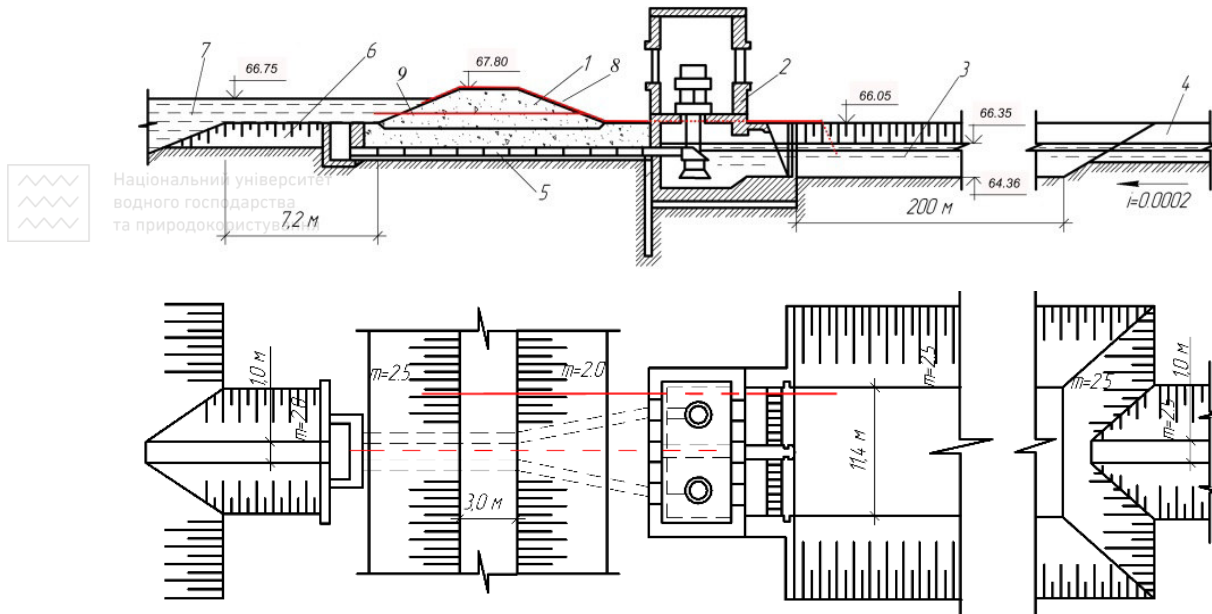


Рис. В.4. Схема насосного гідровузла:

- 1 – дамба; 2 – приміщення насосної станції; 3 – регулюючий басейн; 4 – магістральний канал;  
5 – напірний трубопровід; 6 – відвідний канал; 7 – водоприймач; 8 – сифонний водовипуск;  
9 – полка (проріз в дамбі для самопливного скидання відкачуваної води)

Відповідно на **стадії реконструкції** оптимальні конструкція та параметри вузла відкачки польдерної ДС за сучасними економічними та екологічними вимогами з урахуванням множинних змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта, визначаються за комплексною моделлю оптимізації, що аналогічно до моделі (В.1) і побудована за відповідними економічним та екологічним критеріями з урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом.

Фрагмент результатів відповідних прогнозно-оптимізаційних розрахунків з визначення оптимальної конструкції вузла відкачки польдерної ДС для оптимального модуля відкачки для досліджуваного об'єкта подано в табл. В.5.

Таблиця В.5

Узагальнені результати оптимізаційних розрахунків з визначення оптимальної конструкції вузла відкачки польдерної ДС

Конструкція польдерної ДС	$q_{пдс}$ , л/с·га	$Y_n$ , ц/га	$Y_{ф}$ , ц/га	$V_{Yф}$ , грн/га	$C_{сг}$ , грн/га	$C_m$ , грн/га	$C_{відкачки}$ , грн/га	$A_i$ , грн/га	$ZP_i$ , грн/га	$ZP_i + R_i / V_i$ , грн/га
<b>Озимі зернові</b>										
НС+П	0,80	37,80	23,8	3808	1730,1	1534,6	457,9	203,5	3604,1	0,4609
НС+П+С	0,80	37,80	23,8	3808	1730,1	1390,9	314,0	203,6	3460,5	0,4587
НС+С	0,80	37,80	23,8	3808	1730,1	1416,9	340,2	203,5	3486,3	0,4591
<b>Картопля</b>										
НС+П	0,80	378,0	238,1	9520	4469,5	1534,6	457,9	203,5	6343,5	0,4086
НС+П+С	0,80	378,0	238,1	9520	4469,5	1390,9	314,0	203,6	6199,9	0,4085
НС+С	0,80	378,0	238,1	9520	4469,5	1416,9	340,2	203,5	6225,7	0,4085
<b>Овочі</b>										
НС+П	0,90	292,5	184,2	7617	3098,0	1591,9	515,2	203,5	5029,2	0,3913
НС+П+С	0,90	292,5	184,2	7617	3098,0	1430,2	353,2	203,6	4867,6	0,3911
НС+С	0,90	292,5	184,2	7617	3098,0	1459,4	382,7	203,5	4896,7	0,3911
<b>Трави</b>										
НС+П	0,95	394,4	248,4	8377	3909,9	1620,5	543,8	203,5	5869,7	0,3824
НС+П+С	0,95	394,4	248,4	8377	3909,9	1449,8	372,9	203,6	5699,1	0,3823
НС+С	0,95	394,4	248,4	8377	3909,9	1480,7	403,9	203,5	5729,9	0,3824
<b>На рівні системи</b>										
НС+П										0,4049
НС+П+С										0,4037
НС+С										0,4041

Примітка: НС+П- конструкція та параметри польдерної ДС при роботі насосної станції з полкою; НС+П+С- конструкція та параметри польдерної ДС при роботі насосної станції з полкою та сифоном; НС+С- конструкція та параметри польдерної ДС при роботі насосної станції з сифоном.

У свою чергу, для оптимального модуля відкачки за рахунок реконструкції оптимальна конструкція вузла відкачки польдерної ДС, визначена за оптимізаційною моделлю (В.1) при  $ZP_0 = 0,4037$ , включає в себе НС, «полку» та сифон (див.рис.В.4.) з таким відповідним розподілом розрахункових витрат в цілому по системі та по елементах вузла відкачки відповідно:

$$Q^0_{с} = 0,51 \text{ м}^3/\text{с}; Q^0_{НС} = 0,38 \text{ м}^3/\text{с}; Q^0_{полки} = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}; Q^0_{сифон} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с};$$

Визначені економічно оптимальні технологічні та конструктивні рішення для об'єкта, що розглядається, є екологічно прийнятним у заданих умовах, оскільки середньозважене значення модуля дренажного стоку в межах системи та проектного терміну її функціонування  $q_s = 0,38 \text{ л/с} \cdot \text{га}$ , що відповідає екологічному рівню ефективності роботи дренажу, тобто  $q_s \leq \hat{q}_{екол}$ .

### В.3. Оцінювання меліоративної ефективності рельєфу осушуваних земель при розробці проектів дренажних систем

Для визначення меліоративної ефективності рельєфу за відповідним науково-методичним підходом (див. п. 5.4) ділянки площею 330 га ДС «Іква» Дубенського району Рівненської області, використовуючи програмний комплекс Autodesk Civil 3D, було побудовано модель рельєфу за даними топографічної зйомки, досліджено характер поверхні, визначено необхідні показники та їх значення: висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок (рис. В.5, табл. В.6).

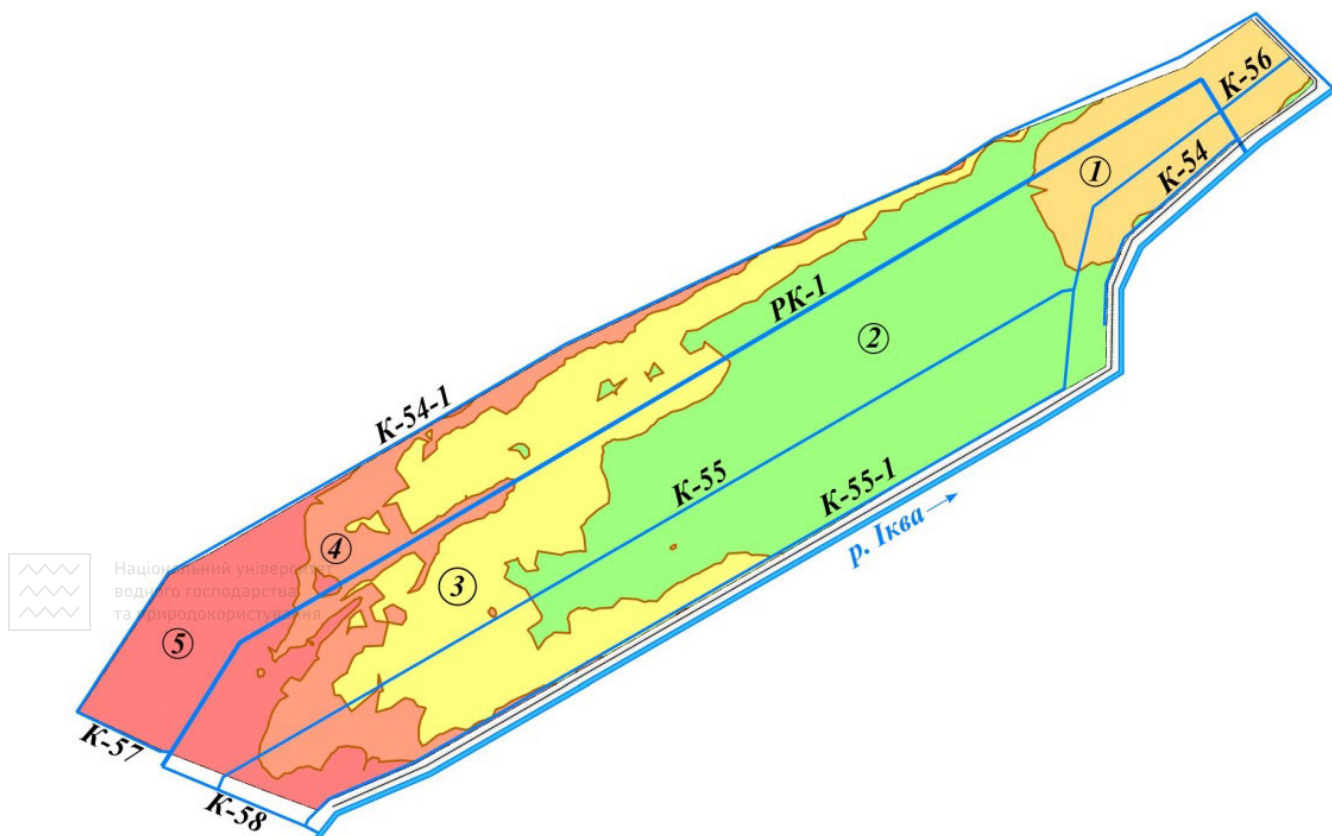


Рис. В.5. Визначення ділянок з характерними рельєфними умовами ДС «Іква» Дубенського району Рівненської області

Таблиця В.6

Узагальнені результати оцінювання меліоративної ефективності рельєфу місцевості ДС «Іква» Дубенського району Рівненської області

№ ділянки	Кількісні показники рельєфу		Площа		Ступінь розвиненості рельєфу	Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	Ухил, $i$	$\Delta H_{gi}$ , м	га	%			
По характерних ділянках рельєфу							
1	0,004	0,5	31,8	9,6	середньо розвин.	0,96	середня
2	0,001	0,2	143,2	43,4	слабо розвин.	1,02	висока
3	0,002	0,3	78,4	23,8	середньо розвин.	0,92	середня
4	0,003	0,4	35,7	10,8	середньо розвин.	0,87	середня
5	0,018	0,9	40,9	12,4	сильно розвин.	0,64	низька
В цілому по системі							
	0,004	0,34	330	100	середньо розвин.	0,93	середня

Виконаний аналіз рельєфу поверхні землі досліджуваної ДС показав, що середньозважений ухил становить 0,004, а загальний середньозважений перепад – 0,34 м. Таким чином, рельєф досліджуваної ДС за ступенем розвиненості є **середньо розвиненим**, а меліоративна ефективність рельєфу – **середня**, показник якої може знаходитись у межах 0,8...1,0.

Врахування рельєфу місцевості в прогнозно-оптимізаційних моделях при виборі оптимальних технологічних та конструктивних рішень з водорегулювання осушуваних земель дасть змогу підвищити обґрунтованість типу та конструкції ДС у проектах їх будівництва і реконструкції щодо сучасних еколого-економічних вимог.

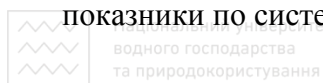
**Додаток Г**  
**Приклади порівняльного оцінювання еколого-економічної та інвестиційної ефективності проектних рішень, різних технологій розробки проектів дренажних систем**

**Г.1. Приклади попереднього порівняльного оцінювання економічної ефективності проектних рішень**

**Г.1.1. Приклад попереднього порівняльного оцінювання економічної ефективності проектних рішень самотічної дренажної системи**

Приклад економічного обґрунтування МП та ефективність застосування оптимізаційного методу представлено для умов «КСП Маневицький» (див. дод. В.1.1) відповідно до реалізації сучасних та прогнозних змінюваних кліматичних умов.

Основні дані з урожайності сільськогосподарських культур та основні економічні показники по системі подані в табл. Г.1, Г.2.



Таблиця Г.1

Основні дані з урожайності сільськогосподарських культур в межах системи

Культура	Фактична врожайність, ц/га		Проектна (потенційна) врожайність, ц/га		Площа, га
	Сучасні умови	Прогнозні умови	Сучасні умови	Прогнозні умови	
Озимі зернові	21,5	33,0	48	60	75
Картопля	164,5	345,0	260	450	125
Багаторічні трави на сіно	18,8	22,5	35	50	130

Таблиця Г.2

Проектна вартість та собівартість продукції, грн/ц

Культура	Планові витрати		Закупівельна ціна
	Сучасні умови	Прогнозні умови	
Озимі зернові	420	390	600
Картопля	840	840	1200
Багаторічні трави на сіно	130	120	200

Оскільки одним з основних принципів вибору економічно й екологічно оптимального ПР є багатоваріантність, тобто необхідно розглянути різні варіанти реконструкції та будівництва самотічної ДС для того, щоб обрати найкращі з них для реалізації.

*1). Вибір альтернативних варіантів меліоративного проекту.*

Для цього, з потенційно можливих варіантів ПР спочатку було обрано найбільш раціональні з них, технологічно можливі для реалізації в конкретних умовах. Саме ці обрані варіанти (ОС – осушення; ПШ – попереджувальне шлюзування; ЗШ – зволожувальне шлюзування; ДП – зрошення дощуванням) стали базою для подальшої еколого-економічної оцінки у природно-агро-меліоративних умовах досліджуваного об'єкта. Капітальні вкладення та меліоративні витрати, що необхідні для реалізації ПР в заданих умовах подані в табл. Г.3.



Таблиця Г.3

## Капітальні вкладення та меліоративні витрати за варіантами ПР, грн/га

Варіанти ПР	$K_i$	$C_m$
Осушення	83300	1583
Попереджувальне шлюзування	87400	1661
Зволожувальне шлюзування	125800	2390
Зрошення дощуванням	163200	3101

2). *Визначення основних техніко-економічних показників альтернативних варіантів меліоративного проекту.*

Основні техніко-економічні показники варіантів ПР з урахуванням впливу метеорологічних умов у різні за тепло- і вологозабезпеченістю групи років та середньозважені їх значення за дольовою часткою розподілу цих груп років у загальному терміні функціонування проекту, розраховані за комплексом прогнозно-імітаційних моделей, представлені в табл. Г.4.



Національний університет  
водного господарства

Таблиця Г.4

Основні ТЕП альтернативних варіантів реконструкції самотічної ДС, що залежать від природно-кліматичних умов об'єкта, грн/га

<i>Сучасні умови</i>							
$C_{с-г}$	$C_e$	$C$	$C_r$	$ЗП$	$Цп$	$Ц$	$ЧП$
<b>ОС</b>							
36137,5	1112,7	37250,2	39749,2	49745,2	76111,5	47586,8	10336,6
<b>ПШ</b>							
38773,5	1469,4	40242,9	42864,9	53352,9	76111,5	51272,5	11029,6
<b>ЗШ</b>							
40187	3207,2	43788,5	50078,5	65174,5	76111,5	54480,3	10691,8
<b>ДП</b>							
40551,5	4472,2	45703,5	53863,5	73447,5	76111,5	58553,4	12849,9
<i>Прогнозні умови</i>							
<b>ОС</b>							
52185,2	1112,7	53297,9	55796,9	65792,9	125625,1	69318,4	16020,5
<b>ПШ</b>							
55860,7	1469,4	57330,2	59952,2	70440,2	125625,1	75543,4	18213,2
<b>ЗШ</b>							
58939,8	3207,2	62884,7	69174,7	84270,7	125625,1	84795	21910,3
<b>ДП</b>							
65645,3	4472,2	71091,4	79251,4	98835,4	125625,1	95915,9	24824,5

3). *Визначення погодно-кліматичного ризику.*

Розрахунок абсолютного та відносного погодно-кліматичного ризику за кожним варіантом МП реалізовано за формулами (2.19) та (2.20) за умови, що потенційно можлива валова продукція на даному об'єкті (визначається за даними табл. Г.6) складає 35690,2 грн/га. При цьому слід мати на увазі, що недобір урожаю за фактичного стану виробництва на меліорованих землях щодо потенційно можливого через низьку агротехніку та вплив несприятливих погодно-кліматичних умов досягає 71%. Це свідчить про повну непридатність існуючої самотічної ДС виконувати свої функції.

Результати розрахунків за всіма варіантами ПР наведені в табл. Г.5.

Таблиця Г.5

Кількісна міра погодно-кліматичного ризику за альтернативними варіантами МП

Варіанти ПР	Абсолютна міра погодно-кліматичного ризику, грн/га	
	Сучасні умови	Прогнозні умови
Осушення	29436,1	58278,3
Попереджувальне шлюзування	25539,6	51433,1
Зволожувальне шлюзування	22154,3	41254,9
Зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування	19462,1	32500,2

Вони підтверджують той факт, що чим технологічно досконаліша конструкція самотічної ДС, тим менший погодно-кліматичний ризик їй відповідає. Тобто, досконаліші та дорожчі технології водорегулювання забезпечують більше зростання врожайності сільськогосподарських культур і зменшують залежність аграрного виробництва від дії непередбачуваних погодних умов. Хоча, навіть найбільш досконала самотічної ДС не може повністю виключити негативний вплив невизначених за своїм характером та циклічних за реалізацією погодно-кліматичних умов на формування врожаїв сільськогосподарських культур.

4). Розрахунок показника критерію оптимізації за альтернативними варіантами меліоративного проекту.

Розрахунок показника приведених витрат для того, щоб обрати найбільш оптимальні технології для подальшого інвестиційного аналізу. При цьому визначимо як для сучасних так і прогнозних умов показник приведених витрат з метою порівняння результатів, та розташуємо результати за зростанням сукупних витрат. Вихідні дані для розрахунку подані в табл. Г.6.

Таблиця Г.6

Зведені дані по основних техніко-економічних показниках альтернативних варіантів меліоративного проекту, грн/га

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання							
		Сучасні умови				Прогнозні умови			
		ОС	ПШ	ЗШ	ДП	ОС	ПШ	ЗШ	ДП
1	Капіталовкладення в реконструкцію	83300	87400	125800	163200	83300	87400	125800	163200
2	Поточні витрати:	39749	42865	49684	53184	55797	59952	68437	78278
	- сільськогосподарські	36138	38774	40187	40552	52185	55861	58940	65645
	- експлуатаційні	1113	1469	3207	4472	1113	1469	3207	4472
	- амортизація основних фондів	2499	2622	6290	8160	2499	2622	6290	8160
3	Валова продукція	47587	51273	54480	58553	69318	75543	84795	95916
4	Чистий дохід	10337	11030	10692	12850	16021	18213	21910	24825

Таким чином, за старою діючою методикою, яка враховує лише прямі затрати на виробництво сільськогосподарської продукції, оптимальним варіантом МП є осушення, яке вважається морально застарілою технологією на сьогоднішній день і дає найменший приріст урожайності. До того ж, за розрахунками, характеризується найбільшим рівнем погодно-кліматичного ризику – майже 40%, що за шкалою оцінки балансує на межі середнього і високого.

Результати розрахунку наведені в табл. Г.7.

Таблиця Г.7

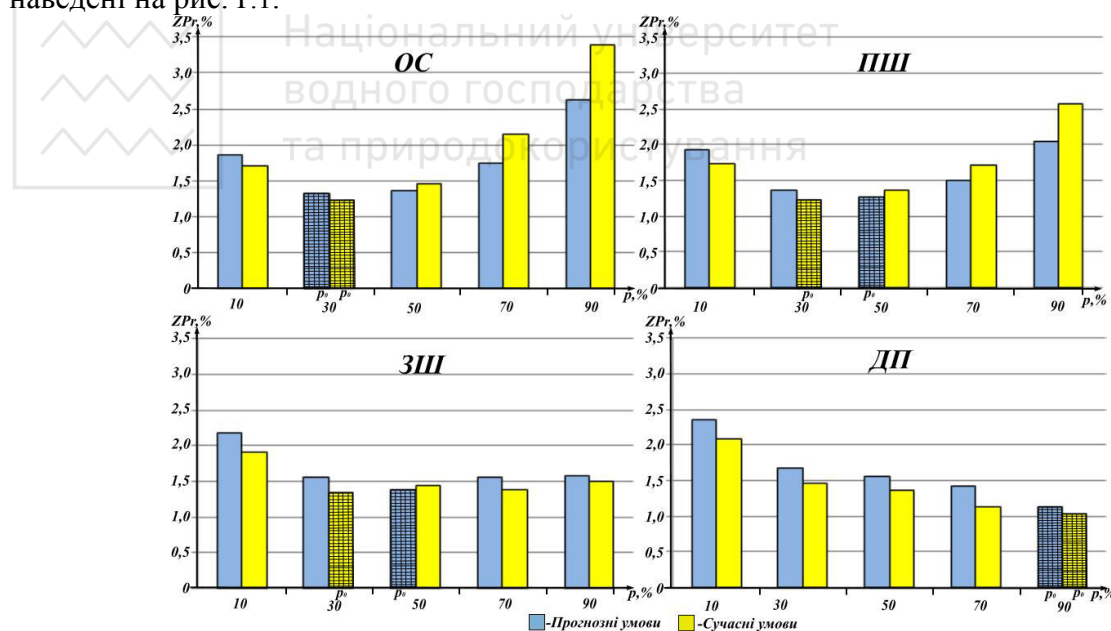
Результати порівняння ефективності технологій водорегулювання за традиційним та модифікованим критеріями мінімізації витрат

Ранг	За традиційним показником приведених витрат			За показником приведених витрат з урахуванням погодно-кліматичного ризику		
	Варіанти ПР	Значення		Варіанти ПР	Значення	
		Сучасні умови	Прогнозні умови		Сучасні умови	Прогнозні умови
1.	Осушення	0,86	1,14	Попереджувальне шлюзування	1,32	1,48
2.	Попереджувальне шлюзування	0,87	1,18	Зволожувальне шлюзування	1,32	1,48
3.	Зволожувальне шлюзування	0,93	1,19	Дощування на фоні попереджувального шлюзування	1,38	1,36
4.	Дощування на фоні попереджувального шлюзування	1,16	1,24	Осушення	1,51	1,59

При використанні нового підходу з урахуванням погодно-кліматичного ризику на перші місця виходять більш технологічно досконалі варіанти ПР. Отримані результати підтверджують те, що модифікований показник приведених витрат дозволяє обрати варіанти МП з оптимальним співвідношенням витрат на реалізацію проекту та втрат від недоотримання продукції в результаті впливу несприятливих природних факторів.

Здійснені розрахунки підтверджують положення, що даний критерій слід використовувати на попередній стадії оцінки варіантів проекту для вибору декількох найперспективніших для подальшого технічного проектування й інвестиційної оцінки, оскільки ставлять на перші місця варіанти з близькими результатами – **зволожувальне шлюзування та попереджувальне шлюзування**.

Визначені за моделлю (2.11) оптимальні значення розрахункової забезпеченості щодо різних способів водорегулювання осушуваних земель для умов досліджуваного об'єкта наведені на рис. Г.1.



Примітка. Оптимальні значення щодо розрахункових забезпеченостей для різних способів водорегулювання для сучасних та прогнозних умов виділені штриховкою.

Рис. Г.1. Визначення оптимальних розрахункових забезпеченостей для різних способів водорегулювання при роботі самотічної ДС на осушуваних землях

Таким чином, за отриманими результатами оптимальні значення розрахункової забезпеченості при різних способах водорегулювання осушуваних земель становлять : для осушення – вологий рік (p=30%), як у сучасних, так і в прогнозних умовах; для попереджувального шлюзування у сучасних умовах – вологий рік (p=30%), в прогнозних – середній рік (p=50%); при зволожувальному шлюзуванні аналогічно; для зрошення дощуванням дуже сухий рік (p=90%), як у сучасних, так і в прогнозних умовах.

### Г 1.2. Приклад попереднього порівняльного оцінювання економічної ефективності проектних рішень для польдерної дренажної системи

Приклад економічного обґрунтування інвестиційних проектів щодо оптимальної конструкції та параметрів вузла відкачки для польдерної ДС (насосна станція з полкою (НС+П), насосна станція з полкою та сифоном (НС+П+С), насосна станція з сифоном (НС+С)) реалізовано для умов реального об'єкта польдерної ДС «Бірки» (див. дод. В.2).

Основні економічні показники для обґрунтування оптимального ПР щодо конструкції та параметрів вузла відкачки польдерної ДС подані в табл. Г.8.

Таблиця Г.8

Основні економічні показники щодо реконструкції конструктивних параметрів польдерної ДС, грн./га

№ з/п	Показник	Конструкція та параметри вузла відкачки польдерної ДС		
		НС+П	НС+П+С	НС+С
1	Капіталовкладення в реконструкцію	723,872	904,84	814,356
2	Амортизація основних фондів	180,968	226,21	203,589
3	Чистий дохід	182,84	312,35	254,48
4	Приведені витрати	0,541	0,458	0,476

Оптимальне ПР щодо конструкції та параметрів вузла відкачки за конструкцією НС+П+С польдерної ДС для різних технологій водорегулювання у сучасних та прогнозних умовах визнається аналогічно до самотічних ДС (див. дод. Г.1.1).

Основні економічні показники для розрахунку у питомому вигляді за відповідними варіантами наведені в табл. Г.9.

Таблиця Г.9

Основні економічні показники по системі, грн/га

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання							
		ОС	ПШ	ЗШ	ДП	ОС	ПШ	ЗШ	ДП
		<i>Сучасні умови</i>				<i>Прогнозні умови</i>			
1	Капіталовкладення в реконструкцію	84260	88360	126760	164160	84260	88360	126760	164160
2	Поточні витрати:	39790	42907	49758	53257	55837	59994	68511	78351
	- сільськогосподарські	36138	38774	40187	40552	52185	55861	58940	65645
	- експлуатаційні	1124	1482	3233	4498	1124	1482	3233	4498
	- амортизація основних фондів	2528	2651	6338	8208	2528	2651	6338	8208
3	Валова продукція	47587	51273	54480	58553	69318	75543	84795	95916
4	Чистий дохід	10325	11017	10666	12824	16009	18200	21885	24799
5	Приведені витрати	1,667	1,542	1,606	1,59	1,79	1,613	1,48	1,369

Таким чином, наведені результати показують, що на попередній стадії оцінювання варіантів ПР оптимальним щодо конструкції вузла відкачки польдерної ДС буде НС+П+С, а з розглянутих різних технологій водорегулювання для сучасних умов є попереджувальне шлюзування, а для прогнозних умов можуть бути зволожувальне шлюзування та зрошення дощуванням.

### Г.1.3. Приклад попереднього порівняльного оцінювання економічної ефективності проектних рішень дренажної системи з урахуванням рельєфу місцевості

Обґрунтування оптимального варіанту щодо типу та конструкції ДС «Іква» за відповідною технологією водорегулювання осушуваних земель (ОС, ПШ, ЗШ) з урахуванням рельєфу місцевості (при середньозважених значеннях ухилів  $i = 0,004$  та перепадів висот  $\Delta h = 0,34$  м) виконано за такими умовами: культури проектної сівозміни – пасовища (дольова частка 0,5), озимі зернові (дольова частка 0,17), кукурудза на зерно (дольова частка 0,17), картопля (дольова частка 0,16); ґрунт – торф середньо розкладений з коефіцієнтом фільтрації 1,2 м/добу; глибина пластмасового дренажу 1,3 м.

Узагальнені результати економічної ефективності розглянутих ПР для досліджуваного об'єкта наведено в табл. Г.10.

Таблиця Г.10

Основні показники загальної економічної ефективності варіантів ПР

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання		
		ОС	ПШ	ЗШ
1.	Капітальні вкладення $K_i$ , грн/га	26526	28592	37126
2.	Сумарні поточні затрати $C_i$ , грн/га	14330	15392	17388
3.	Погодно-кліматичний ризик $R_i$ , грн/га	12628	11154	10424
4.	Показник приведених витрат з урахуванням погодно-кліматичного ризику $ZP_i$	1,66	<b>1,53</b>	1,59

Таким чином, наведені результати наочно ілюструють, що рівень розвитку рельєфу місцевості впливає як на технологічну, так і в цілому економічну ефективність водорегулювання осушуваних земель, що відображається на виборі оптимальних ПР щодо відповідних типу і конструкції ДС на осушуваних землях.

### Г.2. Приклад попереднього порівняльного оцінювання екологічної ефективності проектних рішень

Приклад визначення екологічної ефективності різних технологій водорегулювання осушуваних земель для самотічних ДС за розглянутою методикою (див. п. 2.4.2, п.п.2.4.2.6.) реалізовано для сучасних та прогнозних змінюваних кліматичних умов досліджуваного об'єкта (див. дод. В.1 рис. В.1).

Показники й параметри екологічної ефективності водорегулювання осушуваних земель які досягаються у сучасних та прогнозних умовах функціонування досліджуваного об'єкта визначаються за відповідною сукупністю технологічних показників, за якими визначено за формулою (2.34) універсальний показник комплексного оцінювання у вигляді коефіцієнту екологічної надійності технологій водорегулювання, наведені в табл. Г.11.



## Параметри технологічної й екологічної ефективності варіантів водорегулювання

№ з/п	Показники	Сучасні умови				Прогнозні умови			
		Значення показника $H_{\Phi z}$							
		ПШ	ДП	ЗШ	ОС	ПШ	ДП	ЗШ	ОС
1.	$IW$	0,745	0,882	0,785	0,712	0,654	0,859	0,708	0,611
2.	$n(IW)$	0,77	1	0,88	0,75	0,69	1	0,74	0,66
3.	$VI$	-439	-439	-439	-518	-238	-238	-238	-299
4.	$n(VI)$	0,24	0,24	0,24	0,34	0,15	0,15	0,15	0,26
5.	$VP$	347	271	537	316	535	440	868	464
6.	$n(VP)$	0,76	0,76	0,76	0,66	0,85	0,85	0,85	0,74
7.	$V$	-92	-169	97	-203	296	202	630	165
8.	$IC$	1,133	1,006	1,009	1,176	1,27	1,046	1,024	1,332
9.	$f_r$	0,383	0,32	0,345	0,43	0,413	0,321	0,356	0,457
10.	$a^m$	0,06	0,16	0,12	0	0,07	0,22	0,17	0
11.	ККД ФАР	0,96	1,04	1	0,9	1,45	1,63	1,54	1,37
12.	$k_n$	<b>0,45</b>	<b>0,46</b>	<b>0,59</b>	<b>0,33</b>	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,28</b>

Примітка. Тут як основні показники розглянуті:  $IW$  – рівень вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;  $n(IW)$  – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;  $VI$  – величина інфільтрації за вегетацію,  $m^3/га$ ;  $n(VI)$  – тривалість (частка) інфільтрації за вегетацію;  $VP$  – величина живлення розрахункового шару ґрунту з РГВ за вегетацію,  $m^3/га$ ;  $n(VP)$  – тривалість (частка) живлення розрахункового шару ґрунту з РГВ за вегетацію;  $V$  – величина сумарного вологообміну за вегетацію,  $m^3/га$ ;  $IC$  – комплексний показник вологозабезпеченості ґрунту за вегетацію;  $f_r$  – відносний рівень погодно-кліматичного ризику щодо врожайності;  $a^m$  – дольова частка впливу меліоративного фактору за вегетацію ККД ФАР – фактичне значення ККД використання ФАР вирощуваною культурою;  $k_n$  – коефіцієнт екологічної надійності технологій водорегулювання.

Таким чином, наведені результати підтверджують необхідність підвищення ролі зволожувальних заходів на осушуваних землях як в сучасних, так і прогнозних умовах. При цьому, екологічно оптимальні природно-меліоративні та ґрунтові режими осушуваних земель забезпечуються за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності за варіантом МП знаходиться в інтервалі значень  $0,5 < k_{n_i} \leq 1,0$ .

### Г.3. Приклади порівняльного оцінювання інвестиційної ефективності проектних рішень

#### Г.3.1. Приклад порівняльного оцінювання інвестиційної ефективності проектних рішень щодо створення та функціонування самотічних дренажних систем

Приклад інвестиційного оцінювання проекту реконструкції самотічної ДС в зоні осушувальних меліорацій розглянуто для сучасних та прогнозних змінюваних кліматичних умов «КСП Маневицький» (див. дод. В.1.1) на основі спланованого та реалізованого машинного експерименту.

Основні вихідні економічні показники по системі у питомому вигляді за відповідними варіантами наведені в табл. Г.6 (див. дод. Г.1.1).

Узагальненні результати щодо визначення інвестицій в реконструкцію самотічної ДС на осушуваних землях при обґрунтуванні технологічних та конструктивних параметрів її у змінних кліматичних умовах для об'єкта, що розглядається, подано в табл. Г.12.

## Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання							
		ОС	ПШ	ЗШ	ДП	ОС	ПШ	ЗШ	ДП
		Сучасні умови				Прогнозні умови			
1.	<b>ЧДД, грн/га</b>	20163,7	22641,2	11085,2	6154,2	65979,9	80546,0	101513,8	102677,8
2.	<b>ІДІ, %</b>	1,24	1,25	1,08	1,03	1,79	1,92158	1,80	1,62
3.	<b>ДТО, роки</b>	11	10	13	14	7	6	6	7

Наведені результати ілюструють, що зміни кліматичних умов (сучасні, прогнозні) впливають як на технологічну, так і в цілому економічну ефективність водорегулювання осушуваних земель. Це відображається на виборі оптимальних ПР щодо типу та конструкції самотічної ДС. Так, за всіма показниками економічної ефективності у сучасних умовах – це ДС з попереджувальним шлюзуванням, а у прогнозних умовах – це ДС зі зволожувальним шлюзуванням (осушувально-зволожувальна).

### Г.3.2. Приклад порівняльного оцінювання інвестиційної ефективності проектних рішень щодо створення та функціонування польдерних дренажних систем

Приклад економічного обґрунтування інвестиційного проекту щодо оптимальної конструкції та параметрів вузла відкачки польдерної ДС (НС+П, НС+П+С, НС+С) реалізовано для умов реального об'єкта польдерної ДС «Бірки» (див. дод. В.2).

Основні вихідні економічні показники по системі у питомому вигляді за відповідними варіантами наведені в табл. Г.9. (див. дод. В.1.2).

Узагальнені результати з оцінки інвестиційної ефективності розглянутих ПР для досліджуваного об'єкта наведено в табл. Г.13.

Таблиця Г.13

## Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Конструкція та параметри польдерної ДС		
		НС+П	НС+П+С	НС+С
1.	<b>ЧДД, грн/га</b>	2209	3436	2878
2.	<b>ІДІ, %</b>	4,05	4,80	4,53
3.	<b>ДТО, роки</b>	3	2	4

Отримані результати з інвестиційної оцінки варіантів ПР (див. табл. Г.13) підтверджують як загальноекономічну, так і достатньо високу комерційну ефективність варіанту НС+П+С. Найвищі значення показників індексу доходності 3436 грн/га за варіантом НС+П+С. Термін окупності капіталовкладень для даного варіанту становить 2 роки, що є досить перспективним і забезпечить швидке погашення інвестицій.

Результати остаточних розрахунків щодо визначення інвестицій в реконструкцію польдерної ДС на осушуваних землях при обґрунтуванні різних технологій водорегулювання у сучасних та прогнозних умовах для об'єкта, що розглядається, подано в табл. Г.14.

## Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання							
		ОС	ПШ	ЗШ	ДП	ОС	ПШ	ЗШ	ДП
		<i>Сучасні умови</i>				<i>Прогнозні умови</i>			
1.	<b>ЧДД, грн./га</b>	19342	21810	10306	5376	65158	79715	100734	101898
2.	<b>ІДІ, %</b>	1,23	1,25	1,08	1,03	1,77	1,90	1,79	1,62
3.	<b>ДТО, роки</b>	11	11	13	15	7	6	7	7

Здійснені розрахунки з інвестиційного оцінювання оптимального варіанту ПР показують, що в сучасних умовах це технології водорегулювання – осушення та попереджувальне шлюзування з дисконтованим терміном окупності 11 років. Відповідно в прогнозних умовах це попереджувальне шлюзування з дисконтованим терміном окупності 7 років, що є досить перспективним і забезпечить швидке погашення інвестицій в реконструкцію об'єкта.



### Г.3.3. Приклад порівняльного оцінювання інвестиційної ефективності проектних рішень щодо реконструкції дренажних систем з урахуванням рельєфу місцевості

Приклад економічного обґрунтування інвестиційних проектів різних типів ДС з урахуванням рельєфу місцевості реалізовано на ДС «Іква» Дубенського району Рівненської області (див. дод. В.3). Основні показники загальної економічної ефективності варіантів ПР приведено в табл. Г.10.

Узагальнені результати з оцінювання з інвестиційної ефективності розглянутих ПР для досліджуваного об'єкта наведено в табл. Г.15.

## Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Технологія водорегулювання		
		ОС	ПШ	ЗШ
1.	<b>ЧДД, грн./га</b>	1,56	1,57	1,36
2.	<b>ІДІ, %</b>	14787	16369	13186
3.	<b>ДТО, роки</b>	8	7	9

Наведені результати також наочно ілюструють, що рівень розвиненості рельєфу місцевості впливає як на технологічну, так і в цілому економічну ефективність водорегулювання осушуваних земель, що відображається на виборі оптимальних ПР щодо типу і конструкції ДС.

### Г.4. Приклади порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів дренажних систем

#### Г.4.1. Приклад порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів самотічних дренажних систем

Приклад порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів самотічних ДС, а також основних її технічних елементів, розглянуто для умов «КСП Маневецький» (див. дод. В.1).

Порівняльна характеристика основних показників та їх параметрів самотічної ДС та її складових основних технічних елементів, що визначені за традиційним підходом до проектування в реальному проекті, а також за удосконаленою технологією проектування на основі системної оптимізації, наведено в табл. Г.16.

Порівняльна характеристика основних показників та їх параметрів самотічної ДС та її складових основних технічних елементів що визначені за традиційною та удосконаленою технологіями проектування

№ з/п	Основні показники та параметри	З використанням:	
		традиційних методів і підходів в реальному проекті	вдосконалених методів на основі системної оптимізації в проектах реконструкції об'єкта
1.	Регулююча мережу	Відкрита мережа каналів з відстанню між ними $B_r = 60$ м, розрахунковий модуль дренажного стоку $q_r = 0,50$ л/с га.	Закритий систематичний дренаж з відстанню між дренами $B_r = 20$ м, оптимальний модуль дренажного стоку $q_r^0 = 0,6$ л/с га. (див. дод. В.1.1).
2.	Провідна і огорожувальна мережу відкритих каналів, гідротехнічні спорудження (шлюзи - регулятори)	Конструктивно	Конструктивно
3.	Магістральний канал (ГД) – водоприймач	Розрахункова забезпеченість посівної витрати 10%, $Q_{10} = 0,73$ м <sup>3</sup> /с; розрахункові параметри ГД: ширина по дну $b = 2$ м; коефіцієнт закладання укосів $m = 2$ ; глибина каналу $H = 2$ м	Оптимальна розрахункова забезпеченість розрахункової витрати 15%, $Q_{15} = 0,50$ м <sup>3</sup> /с; оптимальні параметри ГД: $b = 1,5$ м; $m = 2$ ; $H = 1,5$ м (див. дод. В.2.1).
4.	Тип, конструкція ДС	Осушувальна	В сучасних умовах – осушувальна з попереджувальним шлюзуванням; в прогнозних умовах – осушувально-зволожувальна зі зволожувальним шлюзуванням. (див. дод. Г.1.1).
5.	Економічна ефективність	Коефіцієнт земельного використання $K_z = 0,88$ ; термін окупності капіталовкладень $T_0 = 10$ років	Коефіцієнт земельного використання $K_z = 0,96$ ; дисконтований термін окупності капіталовкладень $\hat{T}_0 = 7$ років (див. дод. Г.3.1)
6.	Екологічна ефективність	Не визначалася	Екологічно прийнятна, середньозважений модуль дренажного стоку по системі, $q_i = 0,42$ л/с-га, що менше $\hat{q}_{екол} = 0,46$ л/с-га (див. дод. Г.2).

Отже, за аналогією з удосконаленим методом оцінювання економічної та екологічної ефективності МП (див. розд. 6, дод. Г.1), перехід від традиційного, переважно моноваріантного підходу до проектування в реальному проекті, на удосконалений метод проектування та розрахунку на основі системної оптимізації, дає змогу обирати більш перспективні технології водорегулювання осушуваних земель (зволожувальне шлюзування, зрошення дощуванням тощо), відповідні типи та конструкції ДС, тим самим підвищити їх загальну, насамперед економічну та екологічну обґрунтованість ПР відповідно до сучасних умов та вимог.

#### Г.4.2. Приклад порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів польдерних дренажних систем

Приклад порівняльного оцінювання різних технологій розробки проектів польдерних ДС, а також основних її технічних елементів, розглянуто для умов польдерної ДС «Бірки» (див. дод. В.2).

Порівняльна характеристика основних показників та їх параметрів польдерної ДС та її складових основних технічних елементів, що визначені за традиційним підходом до проектування в реальному проекті, а також за удосконаленою технологією проектування на основі системної оптимізації, наведено в табл. Г.17.

Таблиця Г.17

Порівняльна характеристика основних показників та їх параметрів польдерної ДС та її складових основних технічних елементів що визначені за традиційною та удосконаленою технологіями проектування

№ з/п	Основні показники та параметри	З використанням:	
		традиційних методів і підходів в реальному проекті	вдосконалених методів на основі системної оптимізації в проектах реконструкції об'єкта
1.	Модуль відкачки	Розрахунковий модуль відкачки $q_{від} = 1,15$ л/с·га	Оптимальний модуль відкачки $q_{від}^0 = 0,95$ л/с·га
2.	Конструкція вузла відкачки польдерної ДС	НС+П, $Q_C = 0,62$ м <sup>3</sup> /с; $Q_{НС} = 0,61$ м <sup>3</sup> /с; $Q_{полки}^0 = 0,01$ м <sup>3</sup> /с;	НС+П+С $Q_C^0 = 0,51$ м <sup>3</sup> /с; $Q_{НС}^0 = 0,38$ м <sup>3</sup> /с; $Q_{полки}^0 = 0,01$ м <sup>3</sup> /с; $Q_{сифон}^0 = 0,12$ м <sup>3</sup> /с;
3.	Схема водорегулювання на польдерної ДС	Осушення, попереджувальне шлюзування, підґрунтове зволоження, зрошення дощуванням	В сучасних умовах – попереджувальне шлюзування, зволожувальне шлюзування; в прогнозних умовах – зрошення дощування на фоні попереджувального шлюзування трав та овочів
5.	Економічна ефективність	Коефіцієнт земельного використання $K_z = 0,82$ ; термін окупності капіталовкладень $T_0 = 12$ років	Коефіцієнт земельного використання $K_z = 0,98$ ; дисконтований термін окупності капіталовкладень $\hat{T}_0 = 7$ років (див. дод. Г.3.2.1).

Таким чином, перехід на оптимізаційні методи визначає необхідність зміни технології проектування водогосподарсько-меліоративних об'єктів за багатоваріантним підходом на основі системної оптимізації, застосування високо інформаційних та комп'ютерних технологій. Це дасть змогу в подальшому підвищити загальну режимно-технологічну, технічну та еколого-економічну ефективність осушувальних меліорацій, насамперед при розробці проектів нового будівництва, реконструкції та модернізації як самотічних, так і польдерних ДС відповідно до сучасних умов та вимог.



Наукове видання

# НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ У ЗМІННИХ СУЧАСНИХ УМОВАХ

*За заг. редакцією Сташука В. А., Рокочинського А. М., Волка П. П.*

**Науково-методичні рекомендації**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

*Технічний редактор*

*Г. Ф. Сімчук*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Підписано до друку 23.04.2021 р. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Ум.-друк. арк. 7,0. Обл.-вид. арк. 7,8.

Тираж 100 прим. Зам. № 5551.

*Видавець і виготовлювач  
Національний університет  
водного господарства та природокористування  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*