

Міністрство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування

Турченко В. О., Рокочинський А. М.

СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ
НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ
НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Монографія

за науковою редакцією А. М. Рокочинського

Рівне - 2020

Рецензенти:

Морозов О. В., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землевпорядкування, геодезії та кадастру Херсонського державного аграрного університету;

Ткачук М. М., професор кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки Національного університету водного господарства та природокористування;

Власюк А. П., д.т.н., професор, завідувач кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія».

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

Протокол № 126 від 5 листопада 2019 р.

В. О. Турченко, А. М. Рокочинський

T89 Системна оптимізація водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах на рисових зрошувальних системах : монографія / за науковою редакцією А. М. Рокочинського. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2020. – 333 с.

ISBN 978-966-327-457-7

Монографія присвячена вирішенню проблеми щодо підвищення загальної ефективності функціонування рисових зрошувальних систем, подальшому розвитку теоретичних засад системної оптимізації різнорідних та взаємопов'язаних режимних, технологічних й технічних рішень з водо-та енергокористування на них, розробці комплексу заходів для їх реалізації з дотриманням принципів ресурсозбереження.

Розрахована на спеціалістів наукових установ, проектних і експлуатаційних організацій галузі водного господарства, а також фахівцями галузі сільського господарства та охорони навколишнього середовища. Також може бути використана викладачами, науковими співробітниками, аспірантами, здобувачами вищої освіти відповідного профілю.

УДК 631.16:502.63

ISBN 978-966-327-457-7

© Турченко В.О., 2020

© Рокочинський А.М., 2020

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ПЕРЕДМОВА	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ТА ШЛЯХИ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ	25
1.1. Світовий досвід вирощування рису	25
1.2. Стан та перспективи рисівництва в Україні.....	30
РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ ТА УМОВИ РОЗТАШУВАННЯ, ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИДУНАЙСЬКИХ РЗС	42
2.1. Мета, завдання та програма проведення досліджень	42
2.2. Об'єкт та умови проведення досліджень.....	49
2.3. Загальна характеристика та технічний стан Придунайських РЗС.....	64
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ТА НАУКОВО- МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РИСОВИХ СИСТЕМАХ.....	82
3.1. Системний підхід як методологічна основа постановки і розв'язування задач оптимізації з прийняття управлінських рішень щодо водо- та енергокористування на РЗС	82
3.2. Обґрунтування необхідності та наукові підходи до системної оптимізації водо- та енергокористування на РЗС як складних природно-техногенних об'єктах.....	84
3.3. Науково-методичні підходи до прогнозування типових метеорологічних режимів на довготерміновій основі в задачах оптимізації водо- та енергокористування	92
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЗС ПРИ ЗМІННИХ ПРИРОДНО- МЕЛІОРАТИВНИХ УМОВАХ	112

4.1. Обґрунтування сукупності різнорідних показників як критеріїв оцінювання загальної ефективності функціонування РЗС	112
4.2. Агротехнічні та агромеліоративні умови вирощування рису та супутніх культур	125
4.3. Водний та сольовий режими рисових систем.....	139
4.4. Особливості формування природно-меліоративного режиму та еколого-меліоративного стану Придунайських РЗС за прийнятими періодами та рівнями ефективності	163
4.5. Особливості водо- та енергокористування на Придунайських РЗС за прийнятими періодами та рівнями ефективності.....	178
РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ	191
5.1. Режимно-технологічні заходи з підвищення ефективності функціонування РЗС.....	191
5.2. Підвищення дренаваності та рівномірності фільтрації по площі та профілю карт-чеків на основі глибокого розпушення.....	194
5.3. Повторне використання дренажно-скидних вод як складова екологічно-безпечної технології вирощування рису	218
5.4. Промивання засолених земель на фоні глибокого розпушення	228
5.5. Удосконалення конструкції рисових систем та інтенсифікація роботи дренажу.....	229
5.6. Захист дренажно-скидних каналів від деформацій їх русла	243
РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ, МОДЕЛІ І КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РЗС	249
6.1. Постановка та шляхи розв'язання оптимізаційних задач в складних природно-технічних еколого-економічних системах.....	249
6.2. Критерії економічної оптимальності режимних, технологічних та конструктивних рішень при функціонуванні РЗС	254
6.3. Критерії, умови та моделі оцінки екологічної ефективності проектних рішень з водорегулювання на РЗС	259

РОЗДІЛ 7. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ РЗС	263
7.1. Оптимізація параметрів фільтраційного режиму карт-чеків.....	263
7.2. Оптимізація технологій водо- та енергокористування.....	268
7.3. Оптимізація параметрів конструкції РЗС	277
РОЗДІЛ 8. ВПРОВАДЖЕННЯ, ОЦІНКА ТА ІНВЕСТИЦІЙНА ПРИВАБЛИВІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИДУНАЙСЬКИХ РЗС.....	282
8.1. Необхідність удосконалення методології еколого-економічного оцінювання інвестицій в проекти рисових зрошувальних систем	282
8.2. Оцінювання економічної ефективності запропонованих заходів	284
8.3. Інвестиційне оцінювання варіантів проектних рішень	287
8.4. Математичне моделювання динамічних економічних процесів щодо запровадження проектних рішень на РЗС.....	293
ВИСНОВКИ.....	296
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	300

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АСВР – максимум проектного прибутку;
- ARR – коефіцієнт ефективності інвестицій;
- ARR_d – дисконтований коефіцієнт ефективності інвестицій;
- DPP – дисконтований термін окупності;
- IRR – внутрішня норма прибутковості;
- NPV – чиста теперішня вартість;
- PI – індекс рентабельності інвестицій;
- PP – термін окупності;
- PV – дисконтований грошовий потік;
- ГМО – гідрометеорологічна обсерваторія;
- ДСВ – еколого-меліоративний стан;
- КиРЗС – Кислицька рисова зрошувальна система;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- ККТ – карта краснодарського типу;
- КРЗС – Кілійська рисова зрошувальна система;
- КУВГ – Кілійське управління водного господарства;
- КЧД – карта-чек широкого фронту затоплення та скиду;
- ЛРЗС – Лісковська рисова зрошувальна система;
- МГВ – мінералізація ґрунтових вод;
- НВ – найменша вологоємкість;
- НУВГП – Національний університет водного господарства та природокористування;
- ОВП – окисно-відновний потенціал;
- ОГГМЕ – Одеська гідролого-меліоративна експедиція;
- ПВ – повна вологоємкість;
- ПМР – природно-меліоративний режим;
- ПР – проектне рішення;
- ПРЗС – Придунайські рисові зрошувальні системи;
- РГВ – рівень ґрунтових вод;
- РЗС – рисова зрошувальна система;

РШГ – розрахунковий шар ґрунту;

САПР – система автоматизованого програмування;

СПТЕЕС – складна природно-технічна еколого-економічна система;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

ТЕР – техніко-економічний розрахунок;

УІВГ – Український інститут інженерів водного господарства;

УкрНДІЗЗ – Український науково-дослідний інститут зрошувального землеробства;

УкрНІГіМ – Український науково-дослідний інститут гідротехніки і меліорації;

ХДАУ – Херсонський державний аграрний університет;

ЧДД – чистий дисконтований дохід.

ПЕРЕДМОВА

Дана монографія направлена на покращення водо-та енергокористування на рисових системах, які виступають важливим фактором інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, а саме – рису, як важливого харчового продукту. Рисівництво є одною з найважливіших галузей вітчизняного сільського господарства. Подальший розвиток рисівництва в Україні, як необхідної умови стабілізації ринку зерна та забезпечення прогресивних соціально-економічних перетворень у регіонах, повинен спиратись на підвищення загальної технологічної, економічної, екологічної та технічної ефективності функціонування насамперед діючих РЗС відповідно до сучасних вимог шляхом реалізації прийнятої сучасної концепції оптимізації водо-та енергокористування на них. При цьому оптимізація технології водо-та енергокористування, як визначальної складової загального природно-меліоративного режиму РЗС зумовлена необхідністю узгодження суперечливих потреб у водорегулюванні для отримання високих сталих урожаїв вирощуваних культур рисової сівозміни і створюваного екологічного ефекту, які в структурі загальної ефективності меліоративних заходів виступають головними критеріями ефективності та екологічної досконалості діючих РЗС відповідно до сучасних вимог.

В роботі отримали подальшого розвитку теоретичні засади щодо застосування системної оптимізації різнорідних та взаємопов'язаних режимних, технологічних і технічних рішень з водо-та енергокористування на діючих РЗС, обґрунтовано сукупність різнорідних та взаємопов'язаних показників, таких як глибина рівнів ґрунтових вод в міжвегетаційний період для рису та у вегетаційний період для супутніх культур, мінералізація ґрунтових вод, тривалість періоду із стоянням рівня ґрунтових вод нижче критичної глибини, ступінь засолення кореневмісного шару ґрунту, швидкість фільтрації з поверхні рисового чеку, зрошувальна норма рису, загальний об'єм перекачаної води, які виступають в якості критеріїв оцінювання загальної ефективності водо-та енергокористування на діючих РЗС.

ВСТУП

Сталий розвиток зрошувальних меліорацій, як одного з найважливіших факторів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та невід'ємної складової продовольчого і ресурсного забезпечення населення, потребує раціонального та ефективного використання водних й енергетичних ресурсів і, одночасно, забезпечення екологічної стійкості природних ландшафтів та територій.

Водночас, одним зі стратегічно важливих і актуальних завдань розвитку сільськогосподарського виробництва на сучасному етапі є відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу галузі рисівництва на підставі підвищення ефективності водо-та енергокористування й поліпшення загального еколого-меліоративного стану (ЕМС) наявних рисових зрошувальних систем (РЗС).

Вагомий внесок у вирішення різних аспектів зрошення та рисосіяння в Україні внесли свого часу П.І. Коваленко, М.І. Ромащенко, В.А. Сташук, Л.В. Скрипчинська, Д.Г. Шапошніков, В.О. Ушкаренко, Т.М. Кирієнко, І.С. Жовтоног, В.В. Дудченко, Л.М. Грановська, Р.А. Вожегова, С.Г. Вожегов, В.В. Морозов та ін.

Поряд з цим, надзвичайно важливе питання щодо обґрунтування типу, конструкцій, параметрів меліоративних систем та їх елементів, насамперед різних типів дренажу як одного з основних елементів осушувальних і зрошувальних систем на засоленних землях, визначали на підставі теорії фільтрації, вагомий внесок у розвиток якої, а також методів розрахунку дренажних систем у різних природно-меліоративних умовах, математичних моделей й методів аналітичного і чисельного розв'язання задач фільтрації на осушуваних і зрошуваних землях, розроблення наукових основ підвищення ефективності меліоративних систем та обґрунтування комплексних заходів боротьби із засоленням сільськогосподарських земель був зроблений М.Г. Пивоваром, О.Я. Олійником, В.Л. Поляковим та ін.

Оскільки рис як продовольча культура, так і рисосіяння загалом, займають надзвичайно важливе місце у вирішенні продовольчої проблеми у світі,

аналогічні проблеми гостро стоять і в інших рисосіючих країнах (В.А.М. Bouman, Т.Р. Tuong, U.N. Shukla, I.M. Khan, Anup Das, D.P. Patel й ін).

Комплексність і надзвичайна складність вирішення проблеми підвищення загальної ефективності функціонування РЗС визначають необхідність запровадження ефективних методів управління їх меліоративним станом з урахуванням сучасних технічних, технологічних, екологічних й економічних вимог до їх функціонування на підставі подальшого розвитку теорії оптимізації щодо водо- та енергокористування, методів та засобів їх реалізації.

Це підвищує вимоги до якості оцінювання, прогнозування й оптимізації управління водним, сольовим і загальним природно-меліоративним режимами (ПМР) РЗС і є необхідною умовою вирішення означеної проблеми через формалізацію даних режимів при прийнятті рішень на всіх стадіях їх проектування та експлуатації.

У першому розділі проаналізовано світовий досвід вирощування рису, стан та перспективи рисівництва в Україні, сформульовано науково-практичну проблему щодо необхідності підвищення загальної технологічної, технічної, економічної та екологічної ефективності функціонування РЗС та намічено шляхи її вирішення.

На відміну від класичних зрошувальних систем, рисові системи мають ряд характерних особливостей щодо їх розміщення, створення та функціонування. Ці особливості зумовлені, насамперед, складними ґрунтовими, геологічними й гідрогеологічними умовами, що притаманні низькопродуктивним угіддям у заплавах і дельтах річок, відведених під їх улаштування, та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Технологія водорегулювання до того ж полягає у створенні й підтриманні на рисових полях необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови використання зрошуваних засоленних земель як угідь сільськогосподарського призначення.

Водночас, подальший розвиток рисівництва в Україні, як необхідної умови стабілізації ринку зерна та забезпечення прогресивних соціально-економічних перетворень у регіонах, повинен орієнтуватися на підвищення загальної технологічної, економічної, екологічної та технічної ефективності

функціонування насамперед діючих РЗС відповідно до сучасних вимог завдяки реалізації прийнятої сучасної концепції ресурсозбереження шляхом оптимізації водо-та енергокористування на них як визначальної складової загального природно-меліоративного режиму (ПМР) РЗС. Це зумовлено необхідністю узгодження суперечливих потреб у водорегулюванні для отримання високих сталих урожаїв вирощуваних культур рисової сівозміни та створюваного екологічного ефекту, які в структурі загальної ефективності меліоративних заходів є головними критеріями ефективності та доцільності їх реалізації.

У другому розділі визначено мету, завдання, програму, розглянуто об'єкти, умови та методики проведення досліджень, дано загальну характеристику Придунайських РЗС як репрезентативного об'єкта досліджень, виконано оцінку технічного стану за період п'ятдесятирічного їх функціонування.

Для вирішення поставлених задач як об'єкт досліджень було обрано Придунайські РЗС загальною площею 13678 га, до складу яких входять Кілійська, Лісковська, Кілійсько-Маякська, Кислицька РЗС, РЗС «Дружба», що розміщені на території Східно-Кілійських плавнів дельти р. Дунай в Одеській області, які є достатньо репрезентативними для зони рисосіяння України за конструктивними особливостями та схожими умовами їх функціонування.

Характеристика природних умов свідчить про те, що територія, де розміщені Придунайські РЗС, належить за гідрогеологічними і ґрунтоутворюючими умовами до складних, де мають місце процеси засолення зрошуваних земель. Широкий розвиток вихідного засолення ґрунтів, висока мінералізація ґрунтових вод, слабка природна дренаваність території обумовлюють той факт, що рисові зрошувальні системи є для таких умов оптимальним рішенням використання даних земель. Клімат регіону – помірно-континентальний, сприятливий для вирощування культур рисової сівозміни.

Ці системи є типові й побудовані за схемою карт красnodарського типу (ККТ) з різними параметри дренажно-скидної мережі (міждренні відстані 200, 250, 300, 400, 500 м), частину яких на початку 90-х років минулого століття було реконструйовано і переведено під карти-чеки з дренажем (КЧД) зі збереженням картової дренажно-скидної мережі.

Дана робота виконувалась впродовж 2003-2016 рр. у межах комплексної програми щодо підвищення загальної ефективності функціонування Придунайських РЗС.

У ході дослідження було використано матеріали науково-технічних звітів наукових експедицій під керівництвом д.с.-г.н., професора Л.В. Скрипчинської у складі співробітників УІВГ (нині НУВГП), С. М. Гончарова, М. Г. Степаненко – 1967-1970 рр., С. В. Ковальова, П. І. Мендуся – 1970-1974 рр., С. М. Кропивко – 1984-1987 рр. та ін.), а також річні звіти Одеського обласного управління водних ресурсів, Кілійського управління водного господарства, кліматологічні дані обсерваторії в м. Ізмаїл за 1966-2016 рр. та результати власних досліджень. Численні матеріали польових і теоретичних досліджень, проведених на Придунайських РЗС, інформаційна база даних майже за 50-ти річний період часу, дали змогу забезпечити якісне виконання даної роботи.

Для дослідження та прогнозування зміни технології водокористування на рисових системах у змінних кліматичних умовах здійснено постановку машинного експерименту на ПЕОМ, яка проходила на підставі реалізації прогнозно-імітаційних субмоделей в оптимізаційних інженерно-меліоративних розрахунках (Рокочинський А.М. та ін., 2010). Як вихідні дані використано дані Дунайської гідрометобсерваторії МНС України щодо середньовегетаційних значень основних метеорологічних характеристик за період 1981-2016 рр.

Оцінювання ефективності водо-та енергокористування на Придунайських РЗС виконувалось в ретроспективних, сучасних та прогнозованих на найближчу і віддалену перспективу умовах за визначеними й прийнятими відповідними періодами та рівнями ефективності їх функціонування під час різних природно-меліоративних режимів (ПМР) та створюваних водночас еколого-меліоративних станах (ЕМС) у змінних природно-кліматичних умовах згідно з розробленою структурною схемою.

У наслідок проведених теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що за п'ятдесят років експлуатації Придунайських РЗС, з урахуванням проведеної на початку 90-х років ХХ століття часткової

реконструкції, їх *технічний стан* щодо зрошувальної та дренажно-скидної мереж, гідротехнічних споруд, насосних станцій та карт-чеків істотно погіршився порівняно з їх проектними параметрами.

Так, ситуація, що склалася на Придунайських РЗС визначає за потрібне розробку комплексу режимних та конструктивно-технологічних заходів для їх реконструкції, направлених на підвищення загальної технологічної, екологічної, економічної й технічної ефективності їх функціонування і забезпечення задовільного ЕМС зрошуваних земель у змінних погодно-кліматичних умовах.

У третьому розділі визначено системний підхід як методологічну основу постановки і розв'язання задач щодо оптимізації водо-та енергокористування на РЗС, обґрунтовано необхідність та наукові підходи до системної оптимізації водо-та енергокористування на них як складних природно-техногенних об'єктах, розглянуто науково-методичні підходи до прогнозування типових метеорологічних режимів на довготерміновій основі в задачах оптимізації.

Оскільки РЗС – надзвичайно складний та специфічний об'єкт досліджень з огляду на умови їх створення та функціонування, порівняно з іншими традиційними меліоративними, зокрема зрошувальними системами, то за методологічну основу розв'язання означеної проблеми рекомендовано, а тому прийнято системний підхід та системний аналіз з його невід'ємними складовими – методом оптимізації та моделювання складних об'єктів і систем.

Оскільки, до цього часу в теорії та практиці створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів методи та моделі оптимізації розглядали й використовували здебільшого, для обґрунтування локальних й одиничних рішень щодо окремих елементів системи або режимів чи технологій водорегулювання на них, зокрема оптимальних параметрів дренажу, магістральних каналів, режимів зрошення тощо (Є. П. Галямин, А. І. Голованов, П. І. Ковальчук, М. О. Лазарчук, В. П. Остапчик, Л. М. Рекс та ін.), виникає потреба подальшого розвитку й розширення застосування системного підходу до розв'язання складних комплексних, різнорідних та різнорівневих задач у їх взаємозв'язку для РЗС загалом.

Оскільки в складних природно-технічних системах чітко простежується структурний зв'язок виду *ефект* \Leftrightarrow *режим* \Leftrightarrow *технологія* \Leftrightarrow *конструкція* (Рокочинський А. М, 2002, 2010), то щодо розглянутої проблеми оптимізації водо-та енергокористування на РЗС й відповідно *режимних* (природно-меліоративний режим як водний, з фільтраційною складовою, та сольовий), *технологічних* (водоподача, водовідведення, енергозатрати) і *технічних* (конструкція, параметри системи та її елементів тощо) *рішень*, із застосуванням принципів системного підходу до її розв'язання як складної проблеми, аналогічно вважаємо, що в основу їх прийняття щодо різних часових рівнів (1 – проект, 2 – планова експлуатація, 3 – оперативне управління) має бути покладено наступне співвідношення як ієрархічної блочної структури: *(врожай)* \Leftrightarrow *(екологічний ефект)* \Leftrightarrow *(природно-меліоративний режим)* \Leftrightarrow *(технологія водорегулювання)* \Leftrightarrow *(тип, конструкція, параметри)* системи та її елементів.

Для рисових систем ключовим є «Режимний блок», оскільки, з одного боку, він визначає загальний еколого-економічний ефект, а також технічні і технологічні рішення для його забезпечення – з іншого. Оптимальні параметри ПМР забезпечуються оптимальними параметрами технології водорегулювання та відповідними оптимальними параметрами конструктивних рішень.

На РЗС оптимізація ПМР зводиться до оптимізації промивного водного режиму або відповідних параметрів фільтрації під час застосування поверхневого поливу затопленням, оскільки створення та підтримання мінімально необхідного рівня промивності зрошуваних засолених ґрунтів за рахунок фільтрації поливної води на карті-чеку є ключовою особливістю та необхідною умовою ефективного функціонування існуючих рисових систем, що побудовані в складних гідрогеологічних умовах.

Системна оптимізація водо-та енергокористування на РЗС визначає за необхідне обґрунтування відповідних критеріїв економічної та екологічної ефективності і комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей з їх визначення відповідно до прийняття рішень щодо їх реалізації в часі (проект, планова експлуатація, оперативне управління об'єктом).

У процесі функціонування СПТЕЕС, до яких належать РЗС, погодно-кліматичні умови відіграють визначальну роль, тому вибір режимних, технологічних і технічних рішень на різних рівнях їх прийняття в часі повинне ґрунтуватися на використанні відповідної метеорологічної інформації для вибору *кліматологічно оптимальної стратегії управління* такими системами в багаторічному та внутривегетаційному перерізі. Тому, оптимізація водо-та енергокористування на РЗС за відповідними прогнозно-оптимізаційними розрахунками щодо прийнятих часових періодів та рівнів ефективності, потребує врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером погодно-кліматичних умов, які разом з меліоративними чинниками, мають визначальний вплив на формування загального ПМР зрошуваних земель рисової системи та відповідний еколого-економічний ефект. До того ж питання підвищення ефективності функціонування РЗС слід нероздільно розглядати з оцінкою і прогнозом погодно-кліматичних умов як на сучасному етапі реалізації кліматичної ситуації, так і в умовах можливих змін клімату як у найближчій, так і віддаленій перспективі.

Для розв'язання даного питання в монографії виконано оцінку формування погодно-кліматичних умов за метеорологічними режимами основних метеофакторів (опади, температура, дефіцит та відносна вологість повітря) в розрізі ретроспективного, сучасного та прогнозного на найближчу й віддалену перспективи періодах в зоні розташування Придунайських РЗС.

У четвертому розділі обґрунтовано сукупність різноманітних показників як критеріїв оцінювання загальної ефективності функціонування РЗС, наведено агротехнічні та агро-меліоративні умови вирощування рису і супутніх культур, водний, сольовий та фільтраційний режими рисових систем як основних складових формування ПМР та їх ЕМС, визначено параметри водо-та енергокористування на Придунайських РЗС за прийнятими періодами та рівнями ефективності їх функціонування.

Процес функціонування РЗС як складного об'єкта дослідження та управління необхідно розглядати як комплексне і динамічне явище. Він може бути оцінений на підставі єдиного, навіть універсального показника, а потребує

обґрунтування й визначення сукупності критеріїв, що мають найбільш вагомий вплив на процес формування врожайності культур рисової сівозміни.

Тому, відповідно до поставленої мети та завдань, оцінювання ефективності водо-та енергокористування на РЗС як СПТЕЕС, потребує визначення та обґрунтування відповідної сукупності різнорідних і взаємопов'язаних показників як критеріїв оцінювання ПМР, ЕМС та еколого-економічної ефективності їх функціонування за визначеними періодами і рівнями.

На підставі статистичного опрацювання загальноприйнятими методами (багатокритеріального регресійного аналізу) на ПЕОМ багаторічних даних спостережень на Придунайських РЗС (1966-2016 рр.) з побудовою матриці коефіцієнтів парної кореляції такими показниками нами визначено й обґрунтовано: *глибина рівня ґрунтових вод (H_g , м) у міжвегетаційний період для рису та у вегетаційний період для супутніх культур рисової сівозміни; мінералізація ґрунтових вод (G , г/л); швидкість фільтрації з поверхні рисового чеку – V , мм/добу; тривалість періоду зі стоянням рівня ґрунтових вод (РГВ) нижче критичної глибини (T , діб); ступінь засолення кореневмісного шару ґрунту, (S %); зрошувальна норма рису (M , мм) та загальний об'єм перекачаної води, (W_p , м³/га).*

Ці показники є основними для РЗС, за допомогою яких доцільно виконувати оцінювання загальної ефективності водорегулювання на них під час вирощування провідної культури рису. Окрім того, для відображення впливу сформованого ПМР на розвиток посівів рису запропоновано комплексний показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів РЗС, як відношення фактичних значень врожайності рису по роках досліджень до її потенційного значення (A , бали).

Розглянуті показники мають досить високий рівень сполученості між собою, враховують динаміку й комплексність досліджуваних процесів і досить адекватно відображають різні сторони формування й виявлення водного та загального ПМР за різних природно-меліоративних умов як складного природно-техногенного явища.

Дані показники були покладені в основу обґрунтування комплексу заходів з підвищення ефективності функціонування РЗС та оптимізації їх параметрів.

У п'ятому розділі на підставі системної оптимізації обґрунтовано комплекс різномірних але взаємопов'язаних режимно-технологічних та конструктивних заходів з підвищення ефективності функціонування РЗС, які спрямовані на удосконалення технології водорегулювання, підвищення дренажності та рівномірності фільтрації за площею та профілем карти-чека на підставі глибокого розпушення; повторне використання дренажно-скидних вод (ДСВ), промивку засолених ґрунтів на фоні глибокого розпушення, удосконалення конструкції дренажно-скидної мережі.

Режимно-технологічні заходи передбачають запровадження встановленого раціонального або розробленого й обґрунтованого ресурсозберезувального режиму зрошення рису, що забезпечує сприятливі умови його вирощування, отримання врожайності на рівні 7-10 т/га і вище, якщо частка рису в сівозміні становить 50-60%. Тоді величина зрошувальної норми стабілізується на рівні 15-18 тис. м³/га, а обсяг ДСВ за межі РЗС зменшується з 10-15 тис. м³/га до 2-3 тис. м³/га при відповідному зменшенні енергетичних затрат до 25%.

Технологічні заходи передбачають проведення глибокого розпушення ґрунту, промивку засолених ґрунтів та повторне використання ДСВ.

Проведення глибокого розпушення ґрунту на картах-чеках пропонується для забезпечення необхідного рівня промивності ґрунтів по всій площі поливної карти та її профілю.

У період вирощування рису попередньо проведене розпушення ґрунту на рисовому полі сприяє рівномірному дренажу шару води за площею рисової карти з необхідними швидкостями фільтрації, а в післяполивний період швидкому пониженню РГВ та прискоренню проведення збирання врожаю й осіннього обробітку ґрунту. Так, за відстані між дренажними каналами $B=100$ м осушення рисового поля на глибину 1,5 м після скиду води відбувається за 28-30 діб. Під час проведення несучільного розпушення на тлі дренажу з аналогічними параметрами, зниження РГВ до такої ж глибини відбувається за 23-25 діб, а за суцільного розпушення – за 16-18 діб.

Так, відстань між дренами під час влаштування систематичного закритого дренажу на важких ґрунтах рисових систем через проведення періодичного розпушення та інтенсифікації його роботи можна збільшити на 35-50%.

Результати машинного експерименту засвідчили, що застосування різних видів глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах забезпечує прибавку врожаю культур: щілинне – 5-10%; смугове – 10-20%; суцільне – 20-40%.

Для удосконалення й підвищення ефективності технології та засобу проведення глибокого розпушення на рисових чеках розроблено робочий орган, який дозволяє за рахунок гострого кута атаки 25-30° в напрямку руху робочого органу зменшити до 30% енергозатрати на його проведення.

Під час освоєння нових територій під РЗС або після тривалого вирощування культур рисової сівозміни із застосуванням ресурсозберезувального режиму зрошення може виникнути потреба в інтенсивній промивці засолених земель. Для забезпечення цього розроблено спосіб промивання засолених земель рисових систем на фоні глибокого розпушення, що забезпечує рівномірне розсолення ґрунтів на всій площі рисового поля та на більшу глибину, зменшення тривалості промивання та пониження РГВ у післяпромивний період на 20-25%.

Однією з найгостріших проблем під час вирощування рису є утилізація ДСВ. Необхідність їх відведення у водні об'єкти спричиняє в умовах Придунайських РЗС забруднення засобами хімізації р. Дунаю та акваторії Чорного моря. Як свідчить досвід експлуатації більшості рисових систем в Україні, так і за кордоном, величина скиду становить 30-70% від об'єму водозабору на зрошення. Мінералізація такої води, як правило, невисока і знаходиться в межах 0,5-5 г/л. Водночас, ДСВ можуть бути важливим фактором зменшення водозабору на зрошення, а також збільшення одночасно площі зрошуваних земель. Проведені дослідження на Придунайських РЗС показали, що на території лише Кілійської РЗС для цього можна використати до 15 млн м³ слабомінералізованих ДСВ.

Для вивчення можливості використання ДСВ Придунайських РЗС на зрошення була проведена їх оцінка за умови змішування з прісними водами в різних пропорціях (1:1, 1:2), на підставі чого була запропонована схема повторного використання ДСВ шляхом їх розбавлення водою з р. Дунай за рахунок проведення незначної реконструкції водозабірної насосної станції. Це дає можливість проводити розбавлення ДСВ прісною водою в різних пропорціях, подавати її на зрошення й економити до 40% зрошувальної води та електроенергії на її перекачування.

Конструктивні рішення охоплюють удосконалення конструкції карт-чеків та дренажно-скидної мережі РЗС. Дослідження встановлено, що створення сприятливого водно-повітряного, сольового та фільтраційного режимів ґрунтів за наявної конструкції карт-чеків можна досягти шляхом доповнення їх дренажної мережі у вигляді відкритих картових дрен поодинокими закритими дренами-колекторами. Тому вирішується цілий ряд проблем, зокрема: інтенсифікується процес осушення рисових полів у післяполивний період, а також забезпечується більш рівномірна дренажісткість чеків, особливо в їх центральній частині. Зниження РГВ до глибини 1,5 м відбувається за 20-30 діб, що пришвидшує осушення рисового поля у 2-3 рази.

Середні швидкості фільтрації з поверхні рисових чеків для удосконаленої конструкції дренажної мережі, розраховані за розглянутими підходами, для умов Придунайських РЗС становлять 8-12 мм/добу, збільшуючись з наближенням до дрен до величини 15-20 мм/добу та зменшуючись до середини міждренної відстані до 3-5 мм/добу.

Так, змінюючи глибину наповнення дренажно-скидних каналів можна регулювати надходження фільтраційних вод із затоплених рисових чеків.

У складних гідрогеологічних і геологічних умовах, у яких функціонують РЗС, виникають деформаційні явища в каналах дренажно-скидної мережі, що призводить до руйнування відкосів та негативно позначається на їх дренажних функціях.

З урахуванням розробок Олійника О. Я., Полякова В. Л., Харченка Б. І., Кірічка О. Г. та ін. розроблено інженерний захист каналів дренажно-скидної

мережі РЗС. Він полягає у влаштуванні поряд з відкритим дренажно-скидним каналом приукісної дрени, робота якої зводиться до перерозподілу фільтраційного потоку і зменшення напору ґрунтових вод на відкід.

У шостому розділі здійснено постановку та науково обґрунтовано підходи до побудови й реалізації моделей системної оптимізації режимних, технологічних й конструктивних рішень на РЗС з урахуванням змінних природно-агро-меліоративних умов, обґрунтовані критерії економічної та екологічної оптимізації при визначені параметрів цих рішень.

Як складна *природно-технічна еколого-економічна система РЗС* потребує одночасного поєднання технічних, технологічних, економічних й екологічних інтересів на підставі *системної оптимізації*, суть якої полягає у знаходженні, в ідеалі, всіх проміжних і локальних оптимумів за всіма основними змінними елементами в просторі і часі, які впливають на ефективність водо- та енергокористування на РЗС загалом для відповідних рівнів прийняття рішень у часі.

Оскільки оптимізація параметрів режимів на РЗС може бути виконано за багатокритеріальною експертною оцінкою умов формування водно-сольового, промивного режимів та їх впливу на загальний ПМР, для цього можуть бути використані показники: за режимом РГВ у позавеgetаційний період (Hg); тривалістю його стояння нижче критичної глибини (T); інтенсивністю фільтраційних процесів під затопленим рисовим полем (V); ступенем засолення кореневмісного шару ґрунту (S); зрошувальною нормою (M); мінералізацією ґрунтових вод (G) та ін.

За такими показниками, порівняно з їх граничними значеннями відповідно до конкретних ґрунтово-меліоративних умов об'єкта, що досліджується, можна передбачати направленість процесів, які відбуваються на рисовому полі і системі в цілому, тобто неявно оцінити екологічний ефект від реалізації меліоративних заходів.

Обґрунтування оптимальних параметрів технологій водо- та енергокористування на системі може бути здійснено через зменшення складових елементів водоподачі та водовідведення при поливі рису

затопленням, який забезпечує необхідний рівень промивності при оптимальній швидкості фільтрації зрошуваних засолених земель та високий рівень ефективності їх використання.

Розглянуті методичні підходи й методики з їх реалізації для умов РЗС дають змогу підвищити загальну ефективність функціонування рисових систем з урахуванням економічних та екологічних вимог через узгодження параметрів, рівня конструктивної й екологічної надійності і вартості цих рішень з рівнем створюваного загального ефекту при їхній реалізації.

У цьому розділі реалізовано комплексні моделі оптимізації параметрів режимів, технології водо-та енергокористування і конструкцій РЗС на еколого-економічних засадах.

Як свідчать результати проведених досліджень, основним режимним показником, який характеризує фільтраційні процеси та необхідний рівень промивності на рисовому полі, виступає швидкість вертикальної фільтрації. Оптимальні параметри показника швидкості вертикальної фільтрації було обґрунтовано нами за еколого-меліоративним підходом на підставі визначення показника екологічної надійності. Для подальшої оцінки варіантів розроблених технологічних і конструктивних рішень щодо параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС, розглядалась її зміна в реальних умовах від 0,5 до 18 мм/добу.

Відповідно виконані розрахунки з визначення оптимальних технологічних параметрів за економічним критерієм ефективності функціонування Придунайських РЗС показали, що оптимальною часткою рису в сівозміні є його частка 50-60%, а оптимальною, з точки зору отримання максимального чистого прибутку 26602 грн/га, є зрошувальна норма рису 18 тис. м³/га за відносного показника прибутковості, який до того ж рівний 0,48.

Розрахунки економічної ефективності щодо запровадження тут водооборотної технології водокористування з розбавленням ДСВ прісною водою у співвідношенні 1:1 та 1:2 показали, що величина чистого прибутку буде становити 27939,6 грн/га, що більше ніж під час їх розбавлення в

співвідношенні 1:2 – 27834,6 грн/га. Водночас економічно обґрунтованою зрошувальною нормою рису також є норма $M = 18$ тис. м³/га при відносному показнику прибутковості 0,50.

За оптимальної величини зрошувальної норми рису $M^o = 18$ тис. м³/га та відповідному сумарному об'ємі перекачаної води $W_p^o = 27,5$ тис. м³/га оптимальні затрати електроенергії складають $Q^o = 1,78$ тис. кВт·год/га. У цьому випадку реконструкція насосних станцій на РЗС з переходом на сучасне насосно-силове обладнання дасть змогу знизити цей показник ще на 20-40%.

Усі визначені економічно оптимальні технологічні параметри є екологічно прийнятними, оскільки забезпечують оптимальну швидкість фільтрації на системі.

Щодо конструкції та оптимальних параметрів дренажно-скидної мережі за розглянутими розробками, нами були сформовані варіанти ПР, за якими була здійснена оптимізація основних конструктивних елементів РЗС з урахуванням оптимальних параметрів середньої швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку для встановленого оптимального показника дольової частки рису в сівозміні.

Результати засвідчують, що економічно вигідний та екологічно прийнятний варіант ПР щодо розрахункової відстані між дренажно-скидними каналами і додатковими закритими дренами-колекторами для умов Придунайських РЗС є варіант з відстанню 100 м. Така міждренна відстань, на відміну від наявних 200-500 м, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі необхідного рівня промивного водного режиму з оптимальною інтенсивністю вертикальної фільтрації 6-10 мм/добу.

Так, застосування системної оптимізації дає змогу послідовно обґрунтувати оптимальні параметри різнорідних режимних, технологічних та конструктивних рішень у їх взаємозв'язку з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог у проектах будівництва й реконструкції РЗС.

У восьмому розділі виконано оцінку економічної ефективності запропонованого комплексу заходів та інвестиційна оцінка черговості

впровадження варіантів режимних, технологічних та конструктивних ПР з підвищення ефективності їх функціонування.

Отримані дані переконливо засвідчують, що реалізація розробленого комплексу агротехнічних та інженерно-меліоративних заходів є економічно обґрунтованою та екологічно прийнятною порівняно з наявними умовами функціонування Придунайських РЗС.

У цьому випадку найнижче значення критерію економічної ефективності та коефіцієнту екологічної надійності $k_n = 0,41$, що нижче за прийнятий рівень $k_n \geq 0,5$ має місце на базовому варіанті, який передбачає умови роботи РЗС у проектному режимі, що говорить про його неефективність порівняно з іншими варіантами.

Розрахунки з інвестиційної оцінки варіантів ПР підтверджують як загальноекономічну, так і достатньо високу комерційну ефективність варіантів 3,4,6. Найвище значення показника $NPV = 93377,7$ тис. грн маємо за варіантом 3. Термін окупності капіталовкладень для даного варіанту становить 2,75 роки, що є досить перспективним і забезпечить швидке погашення інвестицій.

На кінцевому етапі проведеного комплексу оптимізаційних розрахунків режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо підвищення загальної ефективності функціонування Придунайських РЗС має місце випадок, коли метою оптимізації є встановлення найкращої послідовності виконання тих чи інших робіт, пов'язаних з упровадженням запланованих заходів, оскільки проведення капітальної реконструкції РЗС вимагає значних капіталовкладень. За обмежених інвестиційних можливостей постає питання поетапної реконструкції та встановлення пріоритетів для першочергового фінансування тих чи інших заходів.

Для розв'язання такої задачі використано метод динамічного програмування, в основу якого покладено принцип оптимальності Беллмана.

Розрахунки показали, що загальні затрати на повну реконструкцію Придунайських РЗС, яка включає запровадження ресурсозберігаючої технології водокористування з комплексом заходів на підвищення ефективності їх функціонування з проведенням модернізації насосних станцій та заміни і

ремонті гідротехнічних споруд, будуть становити 70-80 тис. грн/га. Як показали результати моделювання, найкращим рішенням щодо вкладання ресурсів на Придунайських РЗС є першочергове запровадження на них ресурсозберігаючої технології зрошення рису у поєднанні з реконструкцією карт-чеків, суть якої зводиться до дооснащення існуючої дренажно-скидної мережі закритими дренами, проведення глибокого розпушення ґрунту та влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів від руйнування їх русла, що потребує 15-20 тис. грн/га. Друга черга реконструкції – це реконструкція насосних станцій, яка за укрупненими показниками в розрахунку на 1га площі рисової системи становитиме близько 20 тис. грн. І третя черга – це реконструкція гідротехнічних споруд на зрошувальній та дренажно-скидній мережі, що потребує найбільших капіталовкладень – понад 35 тис. грн/га. Проводять її останньою, щоб окупити інвестиції попередніх етапів реконструкції. Тому, залежно від фінансування, повні затрати на реконструкцію Придунайських РЗС можуть окупитися за 9-12 років.

РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1. Світовий досвід вирощування рису

Рис – одна з найважливіших для людства зернових продовольчих культур. Кожен рік світове виробництво рису становить біля 500 млн тонн. Більше половини населення нашої планети використовують цей злак тричі на день, а дві третини виробленого рису споживається у радіусі 500 м від місця, де він вирощується [214].

Сільськогосподарська культура рису виникла в передгір'ї і нижній частині Гімалайських гір, потім спустилася в долини великих річок Індії та Бірми, що дало можливість людині підкорити нові родючі землі. Відбулося це близько п'ятого тисячоліття до нашої ери. З Індії і Бірми культура рису була перенесена до Китаю. Відомо, що за 3000 років до нової ери (за 5000 років до сучасності) рис став основною культурою в цій країні. З Китаю рис поширився до Кореї і Японії.

Пізніше, між 1000 і 500 роками до н.е., культура рису була завезена до Персії, звідти до Вавилону, далі в Сирію і лише на початку VIII століття н.е. араби перенесли її в долину Нілу.

Близько 500 року до н.е. рис вирощували в Середній Азії, зокрема в Башкирії (частина сучасного Афганістану, Таджикистану і південь Узбекистану) та Согдіані (південний схід сучасного Узбекистану на правому березі Амудар'ї). Про стародавніх рисівників йде мова в «Географії» старогрецького вченого Страбона, який писав, що племена масагетів і саків, що живуть на схід від Каспійського моря, висівали «перлове зерно». В епоху рабовласництва в заплавах річок Сирдар'ї, Зеравшану і Амудар'ї було добре розвинуте штучне зрошення, і рис займав у посівах одне з провідних місць.

Із Середньої Азії, можливо з Персії, рис переселився в Закавказзя. У країни

Середземномор'я (Єгипту, Іспанії та Італії) рис завезли араби-завойовники в VII-VIII ст. З Італії в середині XV ст. він потрапив на Балкани і лише у наш час – після Другої світової війни – на південь Франції і до Угорщини.

В Америці перші посіви рису були проведені лише в 1647 році (на території нинішнього штату Вірджинія), в Австралії ще пізніше – в 1925 році.

Вирощують рис в 112 країнах світу на площі понад 150 млн га (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Рисівництво у світі

За посівними площами і валовим збором зерна рис займає на планеті друге місце після пшениці. В окремі роки, завдяки високій врожайності, валові збори рису переважають валові збори пшениці. Він росте на всіх континентах світу, за винятком Антарктиди, і має 21 різних диких сортів і два культивованих види: *Oryza Sativa*, культивований в Південній Азії принаймні 10000 років тому, і *Oryza glabberima*, культивований в Західній Африці між приблизно 1500 і 800 р. до н.е.

Рис – болотна рослина, висота стебла досягає 1,0-1,8 м. Він відрізняється від інших хлібних злаків тим, що рослини можуть розвиватись під шаром води. Наприклад, сорт рису з Індокитаю переносить затоплення шаром води до 4 м.

Але є і суходільний (гірський) рис, який росте на незатоплюваних полях, часто після розкорчовування лісів або в гірських районах, де поля розташовані на східчасто розміщених терасах. Краї таких полів мають загороди, що утримують воду. В тропіках вирощують гірський рис. Проте, в цілому гірський рис займає в світі невеликі площі. Його особливо цінують за добрий смак, але

він дає менші урожаї, ніж болотний рис, що вирощується при затопленні.

У Китаї рис називають «великим китайським хлібом». Китай був завжди найбільшим імпортером рису, тому диктував ціни на світовому ринку.

Із Китаю рис почав розповсюджуватися до Японії і Кореї. Кажуть, що Японію важко представити без роботів, це вірно, але без рису – просто неможливо [36]. Рис для японців не тільки основа харчування, а одна з святинь, предмет поклоніння. Навіть при інтенсивній європеїзації і американізації раціону харчування японців рис по-справжньому вживають у всіх видах.

З 1925 року рис вирощується в Австралії. Рисівництво Австралії майже повністю (на 97-98%) зосереджено у штаті Новий Південний Уельс і лише невеликі площі (3-4 тис. га) засівають рисом в Квінленді.

Великий полководець Олександр Македонський можливо був першим європейцем, який спробував рис під час свого походу до Азії. Греки і римляни ще в кінці третього століття до нової ери знали про існування рису, але не надавали йому значення. Відмінний смак рису і поживні його властивості використовувалися лише в медицині, де рис призначали людям похилого віку і хворим. Пройшло близько півтори тисячі років, перш ніж рис став популярною в Європі сільськогосподарською культурою.

Спочатку до рису європейці відносилися як до екзотичної приправи, тому що дозволити собі страву з рису, привезеного з далекої Азії, міг тільки знатний дворянин. Рис використовувався у приготуванні десертів і солодоців для святкових пригощань. Рис, який прижився на території Італії та Іспанії, був переважно кругло- і середньозернистим. Він не вимагав великої кількості води для зрошення і давав високий урожай.

Із часом рис став популярним у Північній і Центральній Європі, де його не дозволяли вирощувати кліматичні умови, тому він експортувався з азіатських і американських колоній.

У Росії рис почали вирощувати під назвою зерно сарацина (або сарацинське) в ботанічному саду поблизу Астрахані. А з середини XVIII століття – на Кубані в плавнях Аушеді, де цим займалися козаки, які повертаючись із військової служби з Персії, привозили з собою рисове насіння.

У Середній Азії, крім Узбекистану і Таджикистану (цих стародавніх районів рисосіяння), рис почали вирощувати також у Казахстані – в басейні р. Ілі, куди його завезли дунгани та інші народи, які переселялися сюди в кінці XIX століття з Китаю, рятуючись від переслідувань китайської уряду.

У Російській імперії рис займав лише невеликі площі в Середній Азії, Закавказзі, Казахстані, Дагестані і на Кубані.

У 1928-1930 роках, у зв'язку з інтенсивним розвитком в Середній Азії і Закавказзі бавовництва, посіви рису скоротилися. Конкуренція між рисом і бавовником виникла через значну кількість зрошувальної води, якої для рису вимагалось у декілька разів більше. Виникла проблема перенесення зони рисівництва у нові, більш північні райони, зокрема на південь Росії (Північний Кавказ і Краснодарський край), в Україну (в заплави Південного Бугу і Дніпра, Таврійський Крим), до Казахстану і Далекого Сходу. Природні умови і значна кількість водних ресурсів (створення великих водосховищ в Росії – Краснодарського моря і Каховського водосховища в Україні) створили умови для вирощування рису на значних площах.

Таким чином, понад 90% рису вирощується в Азії, насамперед у Східній, Південно-східній і Південній Азії, регіоні, в якому сільське господарство впродовж тисяч років накопичувало досвід вирощування рису і підвищення його урожайності.

Жодна зернова культура, окрім рису, не в змозі забезпечити їжею значну кількість населення тропічних країн. Крім того, в умовах вологого мусонного клімату тропіків пшениця та інші зернові культури дають низькі урожаї з причини пошкодження їх іржею. Рис не страждає від цього і дає значні урожаї. Більше того, в сезон дощів при затопленні величезних територій річкових долин на них, окрім рису, ніщо рости не може. Ці землі як би самою природою призначені для рисівництва. У сухий сезон вони неродючі через відсутність води, але при штучному зрошенні тут можна отримати декілька урожаїв рису на рік.

Зони інтенсивного рисосіяння співпадають із територіями найбільшої в світі щільності населення. Разом із збільшенням площ під рисом саме в цих

районах планети щільність населення неухильно зростає. Цей зв'язок простежувався ще з перших століть нової ери. В рисосіючих районах Індії і Китаю завжди було зосереджено 35-40% населення Землі. Таким чином, спостерігається «геодемографічний зв'язок» між наявністю трудових ресурсів і розповсюдженням рисосіяння, що вимагає великих витрат ручної праці.

Середня врожайність рису у світі досягає близько 4,0 т/га, а в країнах ЄС – 6,5 т/га. У тропіках сорти рису з коротким вегетаційним періодом дають два, а іноді і три урожаї на рік. Найвищу врожайність мають Єгипет, Греція, Іспанія, Південна Корея, Японія, Італія, США, Перу, Португалія, Уругвай і Китай. Вони отримують більше 60 ц/га зерна рису. В той же час в Африці (Мозамбік, Замбія) врожайність рису значно нижча за середньосвітову – біля 8 ц/га.

Особливі заслуги в області підвищення врожайності рису належать Інституту рисівника на Філіппінах, де були виведені високоврожайні і короткостеблові сорти, що відповідають вимогам сучасного землеробства. При вирощуванні таких сортів одержують високі урожаї – понад 100 центнерів із гектара.

Торгівля рисом, обсяг якої мало змінювався з 80-х років ХХ століття, здійснювалась переважно між державами, що розвиваються. З розвинутих країн рисом торгують в основному США (понад половину всього об'єму світового експорту), Євросоюз, насамперед Франція, й Австралія, хоча ці останні держави не належать до числа найбільших рисосіючих регіонів.

Ще один регіон, де рис відіграє нині значну роль в харчуванні людей – Західна Африка. Для 40% її населення рис виступає як основний вид продовольства. Проте об'єм закупівель рису тут становить всього 10% світової торгівлі і приходить, головним чином, на рис низької якості (січку).

Найбільшу кількість рису вирощують у Китаї та Індії. У Китаї майже 200 млн. тонн на рік, в Індії – 150 млн. тонн. У десятку країн-лідерів із виробництва рису також входять Індонезія, Бангладеш, В'єтнам, Таїланд, Бразилія. Головним імпортером рису у світі останніми роками є Європа. Найбільшими експортерами є країни Азії та Південної Америки. Всього у світі виробляють близько 500 млн. тонн рису кожен рік. Таїланд з 1980 року був найбільш

потужним постачальником рису на світовому ринку, однак з 2012 року він віддав лідерство іншим країнам. Причиною стало підвищення вартості рису на 50% в самій країні. Зростання попиту на рис на світовому ринку призвело до введення найбільшими експортерами обмежень на його експорт. Існуючий зараз дефіцит рису на світовому ринку створює загрозу продовольчій безпеці в азіатських країнах. Країнами, які споживають найбільшу кількість рису у світі є Китай, Індія, Індонезія, Бангладеш і В'єтнам.

Рис є продуктом харчування номер один для половини людства. За підрахунками вчених (дані ООН), щоб задовольнити потреби світового населення в їжі, виробництво рису до 2025 року повинне зрости на 70%.

А яку ж роль відіграє ця цінна сільськогосподарська культура в Україні, які перспективи розвитку рисівництва в нашій державі?

1.2. Стан та перспективи рисівництва в Україні

На територію сучасної України рис потрапив у середньовіччі з Балканського півострова, однак не культивувався. Перші посіви з'явилися лише у XVIII столітті за наказом російського імператора Петра I під час Перського походу. Масштабне рисівництво почалося у XX столітті за радянської доби. У 1926 році корейські емігранти привезли до України висококультурні японські сорти. Рис вирощували на примітивних рисових системах господарств у заплавах річок Південний Буг, Дністра, Інгульця та Дніпра [36]. Проте, у зв'язку несприятливими для вегетації рису кліматичними умовами в деяких із цих регіонів, вирощування рису в них було припинено. До Великої Вітчизняної війни посівні площі під рисом в Україні становили біля 2 тисяч гектарів, а в роки війни всі рисові системи були зруйновані і відновлені лише в 1949 році до майже довоєнного рівня (1,7 тис. га). Проте, у зв'язку з недосконалістю РЗС, відсутністю дренажної мережі на них та недотриманням системи сівозмін, великими затратами ручної праці, засоленням ґрунтів та засміченням полів бур'янами призвело до різкого зниження врожаю рису і, відповідно, скорочення посівних площ.

Більшість вчених – «рисівників» відмічали, що його вирощування можливе лише в південних районах України, де за період вегетації (травень-вересень) забезпечується сума активних температур понад 2500° С [101; 248]. Практика перших років рисосіяння в Україні показала можливість отримання стабільних урожаїв рису на рівні 6-8 т/га, збереження родючості ґрунтів і мінімального негативного впливу на навколишнє природне середовище за умови створення інженерних РЗС.

Перша інженерна РЗС була побудована в 1961 році на площі 418 га в зоні Краснознам'янського зрошуваного масиву в колгоспі «Зоря комунізму» Скадовського району. Площа посіву рису складала 232 га, отримана середня урожайність – 52,8 ц/га. В 1962 році площа посіву рису тут була збільшена до 384 га, отримана середня врожайність 52,6 ц/га. В 1963 році рисові зрошувальні системи були побудовані в інших господарствах Скадовського району Херсонської області: колгоспі «Радянська Україна», радгоспі «Скадовський-90», колгоспі «Більшовик». Всього площа посіву рису в 1963 році склала 1556 га, отримана середня урожайність – 53,6 ц/га.

В 1964 році співробітниками лабораторії рисівництва Херсонського сільськогосподарського інституту під керівництвом доктора технічних наук професора Шапошникова Д. Г. була обґрунтована можливість і доцільність будівництва рисових зрошувальних систем на малопродуктивних вторинно-засолених та осолонцьованих землях Одеської та Кримської областей України [303].

Кліматичні і ґрунтові умови та необмеженість водних ресурсів дали можливість використати заплавні землі р. Дунай для будівництва РЗС. Починаючи з 1964 року, у дельті Дунаю були поетапно запроектовані і побудовані наступні рисові системи:

1. Кілійська РЗС – 1966 рік;
2. Рисова зрошувальна система «Дружба» – 1968 рік;
3. Лісковська РЗС – 1970 рік;
4. Кілійсько-Маякська РЗС – 1971 рік;
5. Кислицька РЗС – 1972 рік.

В 1964 році, з приходом до Криму дніпровської води по Північно-Кримському каналу, розпочалося вирощування рису в Кримській області. Становлення галузі рисосіяння в Криму було важким: відсутність матеріальної бази, недостатня кількість техніки і необхідного обладнання, відсутність спеціалістів і технологій в галузі рисосіяння. Піонером рисосіяння в Криму був радгосп «П'ятиозерний», в якому в 1964 році на площі 1806 га було зібрано 10,9 тис. т рису та досягнута середня врожайність – 60,5 ц/га. Найбільші посівні площі рису в Криму були відмічені в 1988 році – вони склали 18,9 тис. га, середня врожайність – 57,3 ц/га, валовий збір – 108 408 центнерів.

За період з 1961 по 1980 рік було побудовано і введено в експлуатацію 62,2 тис. га РЗС, з них в Херсонській області – 17,8 тис. га, Кримській – 31,4 тис. га, Одеській – 13 тис. га. (рис. 1.2).

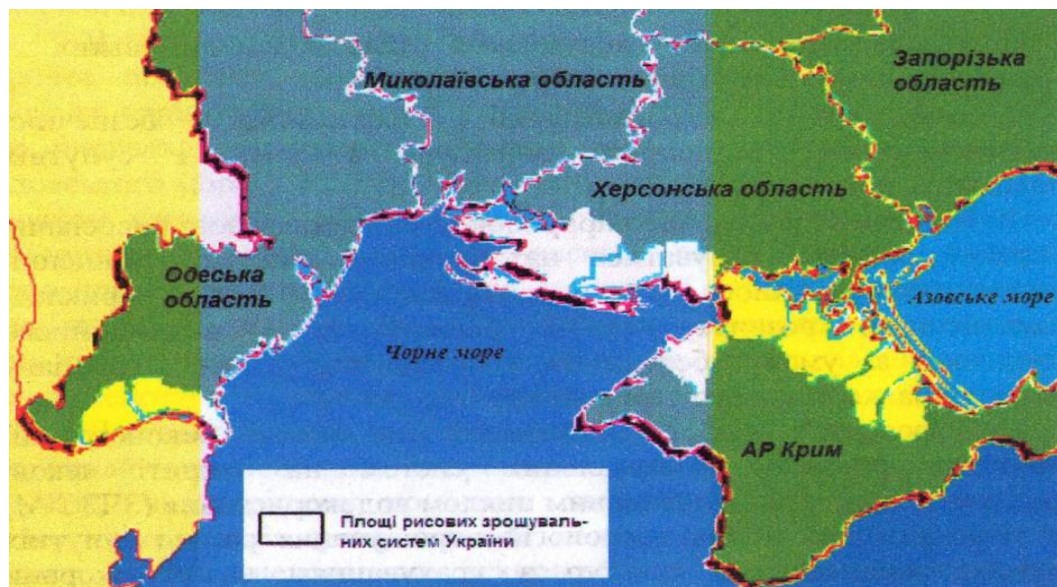


Рис. 1.2. Розташування РЗС України

Згідно зі схемами рекомендованих і прийнятих рисових сівозмін, насичених посівами рису від 50 до 62,5%, щорічна посівна площа цієї культури в країні склала 33-35 тис. га.

Створення галузі вітчизняного рисівництва ставило завданням, нарівні з вирішенням проблеми забезпечення населення вітчизняною рисовою крупою, також освоїти і ввести в сільськогосподарське виробництво засолені і заболочені малопродуктивні землі в Причорномор'ї, Присивашші та в дельті р. Дунай, створити на їхній базі сприятливі соціально-економічні умови для

сталого розвитку цих регіонів. У будівництво інженерних рисових систем та в інфраструктуру спеціалізованих рисосійних господарств були вкладені значні кошти. Вартість будівництва 1 га рисових систем становила понад 3,5 тис. рублів, що майже втричі більше, ніж для звичайних зрошувальних систем.

Водночас термін окупності цих систем за проектної врожайності рису 50 ц/га становив 4-5 років. Отримання такої врожайності досягалось за рахунок питомої ваги рису в сівозміні більше 50% та дотриманню агротехнічних заходів, боротьби зі шкідниками, хворобами і бур'янами, використанню районованих сортів рису.

Під будівництво РЗС були задіяні, переважно, малопродуктивні в тій чи іншій мірі засолені землі, які використовувалися як бідні пасовища, переважно для вівчарства. Сприятливі природно-кліматичні умови зони рисівництва, наявність побудованих інженерних РЗС дали змогу отримувати гарантовано високі врожаї рису-сирцю. Рис на таких землях не тільки давав високі врожаї, але завдяки меліоруючій ролі технології його вирощування сприяв створенню умов для вирощування в сівозміні суходільних культур, в основному, зернових і кормових, що стало основою інтенсивного розвитку галузей тваринництва.

У перші роки вирощування на інженерних РЗС урожайність рису була досить високою. Так у 1961-1965 рр. в середньому по Україні було зібрано 50,2 ц/га рису, в 1966-1970 рр. – 50,1 ц/га.

РЗС в Україні були побудовані за відомою схемою поливних карт краснодарського типу (ККТ) з одностороннім та двохстороннім командуванням здебільшого у відкритих зрошувальних і дренажно-скидних каналах. Слід відзначити, що виробництво рису в Україні у перші роки базувалося на науково-практичному досвіді Краснодарського краю [101; 262]. Однак деякі технічні рішення, які успішно працювали на Кубані, виявились непридатними для умов України зі своїми ґрунтово-кліматичними, гідрогеологічними умовами то що.

З часом в Україні сформувались свої наукові школи вчених «рисівників» – Д. В. Ярмізіна, Л. В. Скрипчинської, О. Д. Обухова, Д. Г. Шапошникова, І. С. Жовтонога, Т. М. Кириєнко.

Вагомий внесок у розвиток і конкретизацію прийомів рисосіяння в Україні, удосконалення конструктивних особливостей РЗС внесли свого часу А. М. Никонюк, Д. П. Хіміч, М. І. Жовтоног, С. М. Гончаров, М. Г. Степаненко, В. О. Вельбовець, С. М. Коробченко, Ю. М. Грищенко, С. В. Ковальов, Б. І. Харченко, П. І. Мендусь, С. Г. Нусімович, С. М. Кропивко [48; 69; 93; 77; 123; 136; 145; 92; 148; 185; 186; 193; 256; 289 та ін.]. Були розроблені водозбережувальні режими зрошення рису, конструкції рисових інженерних систем, у тому числі і водооборотні, з ґрунтозахисними сівозмінами.

В середині 80-х років ХХ століття в Україні було розпочато процес реконструкції існуючих РЗС. Почали вирішуватися задачі щодо покращення екологічного стану як рисових зрошувальних систем так і акваторії Чорного і Азовського морів загалом. Однак реконструкція, яка здійснювалась через часткове удосконалення РЗС (облицювання каналів, удосконалення гідротехнічних споруд, улаштування закритої колекторно-дренажної мережі, удосконалення технологій виробництва рису, використання дренажно-скидних вод для повторного зрошення), радикально не зменшила екологічної напруженості в південному регіоні України.

З припиненням будівництва нових зрошувальних систем, посівні площі стабілізувались на кінець 80-х років на рівні 33-38 тис. га, що складало 53-61% наявного іригаційного фонду. В середньому в Україні врожайність рису коливалась переважно в межах 45-55 ц/га. Кращі господарства отримували з кожного гектару посівів 60-65 ц зерна рису, а окремі бригади, ланки і поливальники – 70-80 ц.

Найкращі результати в галузі рисівництва було досягнуто в 1986-1990 роки, коли було вироблено майже 180 тис. т рису при середній його врожайності 54 ц/га. Наявний до 1990 року рівень рисосіяння повністю задовольняв потреби України в рисі-сирці та продуктах його переробки.

Однак криза, що охопила всі сфери народного господарства країни після 1991 року, вплинула і на галузь рисівництва. За період з 1991 по 1995 рік середнє виробництво рису в Україні знизилось до 80 тис. т та за наступні п'ять років упало до 56 тис. т.

Всі РЗС, які були побудовані на протязі 60-х–70-х років і експлуатувалися 25-30 років, на початку 90-х років ХХ століття вже не відповідали техніко-економічним і природоохоронним вимогам. На значній території РЗС склалися небезпечні гідро-геолого-меліоративні умови – більш 18,0 тис. га зрошуваних земель були підтоплені, мало місце вторинне засолення та зменшення вмісту гумусу в ґрунтах. Рисосіяння негативно вплинуло на гідрологічний і екологічний режим території та морської акваторії Чорного і Азовського морів.

На жаль, ефективність вирощування культури рису в Україні з роками знижувалась. Посівні площі і валовий збір зерна щорічно скорочувались, суттєво понизився рівень врожайності. Наприклад, в АР Крим зниження виробництва рису склало 20-25%, а в Херсонській і Одеській області воно зменшилось у декілька разів. У 2009 році у роботі були задіяні 24,7 тис. га рисових систем (41% від наявних), у тому числі в АР Крим – 15,7 тис. га (51%), в Херсонській області – 7,9 тис. га (98%), в Одеській – 2,8 тис. га (20%), валове виробництво рису-сирцю зменшилось до 80 тис. т, тобто у два рази.

На думку більшості фахівців [43; 73; 76; 85; 123; 133; 214], головними причинами зниження ефективності вітчизняного рисівництва в Україні стали:

- незадовільний технічний стан РЗС. За більш ніж 50-річний період експлуатації державна міжгосподарська меліоративна мережа відпрацювала амортизаційний термін і вимагає капіталовкладень на ремонт і реконструкцію;

- значне погіршення ЕМС у зрошуваних земель, насамперед родючості ґрунтів через погіршення їх кисневого режиму. На значній території РЗС склалися незадовільні гідро-геолого-меліоративні умови – більше 18 тис. га були підтоплені, мало місце вторинне засолення ґрунтів, стрімко прогресували процеси їх оглеєння, у них зменшився вміст гумусу;

- надмірна хімізація посівів рису та великі об'єми скидів, що негативно вплинуло на гідрологічний і екологічний режим морської акваторії Чорного та Азовського морів. Оскільки зона рисосіяння України розміщена на території значної кількості рекреаційних ресурсів, то це стало приводом для виникнення значних протиріч у південних районах – або рис, або рекреаційна зона;

- розпаювання і приватизація земель, в результаті якої внутрішньогосподарська мережа рисових систем була передана в комунальну власність. На рисових зрошувальних системах утворились невеличкі за площею ділянки окремих власників. Порушилась цілісність функціонування меліоративних систем, оскільки орендарі не могли самостійно на невеликих площах забезпечити необхідну технологію вирощування рису. Виходячи із своїх можливостей, вони використовували ці землі на власний розсуд, без дотримання рекомендованих сівозмін і технологій вирощування сільськогосподарських культур, підтримання необхідного водного та сольового режимів ґрунтів, що призвело до відновлення випітного водно-сольового режиму і повторного засолення земель, зниження врожайності як основної культури – рису, так і супутніх культур.

Оскільки більшість рисових систем України побудовані на раніше засолених територіях з близьким заляганням слабівідточних мінералізованих ґрунтових вод, то зменшення частки затоплюваного рису у сівозмінах створило ідеальні умови для подальшого нарощування площ вторинного засолення і осолонцювання зрошуваних земель, що може поставити РЗС на грань екологічної катастрофи.

Негативний вплив рисосіяння на навколишнє природне середовище обумовлений в основному скидами колекторно-дренажних та скидних вод за межі зрошувальних систем із залишками пестицидів і мінеральних добрив.

В останні роки в політиці меліорацій і водного господарства намічається курс як на екологізацію сільськогосподарського виробництва, так і на отримання стабільної врожайності екологічно чистої сільськогосподарської продукції, на зменшення витрат електроенергії, економію водних і земельних ресурсів, збереження родючості ґрунтів. Даному курсу відповідає підвищення якості і надійності наукових розробок, а також впровадження нових технологій виробництва рису та нових поколінь РЗС.

Таким вимогам відповідає нова закрита чекова зрошувальна система з замкнутим циклом водовикористання (ЗЧЗС-М), яка була розроблена кандидатом технічних наук Маковським В. Й. і побудована в умовах дослідної

станції рису УААН у Скадовському районі Херсонської області на площі 432 га.

Впровадження подібних РЗС може покращити умови для вирішення багатьох екологічних проблем на зрошуваних землях Причорноморської зони України, дозволить при дотримуванні науково-обґрунтованих сівозмін отримувати стабільні урожаї рису та інших сільськогосподарських культур.

Останніми роками спад виробництва рису вдалось призупинити, намітились деякі позитивні тенденції розвитку галузі у цілому. В 2010 році площі затоплюваного рису збільшились порівняно з 2009 роком на 7% і склали 29,4 тис. га (48%), у тому числі в АР Крим – 18,3 тис. га (59%), в Херсонській області – 7,9 тис. га (48%) в Одеській – 3,2 тис. га (23%).

У 2013 році рисові поля затоплено на площі 29,7 тис. га (49%), у тому числі в АР Крим – 18 тис. га (59%) в Херсонській області – 8,1 тис. га (50%) в Одеській – 3,6 тис. га (26%).

Міністерство аграрної політики України та Національна академія аграрних наук України затвердили спільний наказ від 14 жовтня 2010 року № 647/139 «Про затвердження Галузевої комплексної програми «Рис України 2010-2015 роки», яка є складовою частиною Державної цільової програми «Зерно України 2009-2015 роки», відповідно до якої планувалось збільшити валове виробництво рису до 180-200 тис. т на рік. Вирішення цього завдання мало бути досягнуто за рахунок використання рисових систем за призначенням та насичення їх основною культурою (рисом) у науково-обґрунтованих межах. Тобто посівні площі рису повинні займати 50-60% існуючих площ рисових систем.

Аналіз наявних матеріалів результатів досліджень на вітчизняних системах і закордонного досвіду дає змогу стверджувати, що у технічному плані підвищення ефективності галузі рисівництва в Україні без негативного впливу на навколишнє середовище можливе за рахунок удосконалення конструкцій РЗС, а саме, системи дренажу рисових масивів шляхом збільшення дренажності як поливних карт, так і систем загалом.

В результаті досліджень, проведених у 2004-2016 рр. науковою експедицією Національного університету водного господарства та природокористування на рисових системах дельти Дунаю, доведено, що для нормалізації їх еколого-меліоративного стану (ЕМС), дренаваність рисових полів слід збільшити у 1,5-2 рази [214; 136; 148]. В умовах РЗС з поливною картою красnodарського типу, яких в Україні більшість, це можливо через заміну широкопоширеного в практиці влаштування дренажної мережі у вигляді відкритих дренажно-скидних каналів на більш інтенсивний систематичний закритий внутрішньокартовий дренаж, конструкція якого розроблена фахівцями Національного університету водного господарства та природокористування. Запропонована конструкція направлена на посилення дренаваності поливної карти для забезпечення швидкого та рівномірного розсолення ґрунтів по всій площі при вирощуванні затоплюваного рису, створення умов для безпечного і тривалого вирощування супутніх культур, удосконалення управління роботою дренажу РЗС та покращення інших конструктивних показників. Однак така капітальна реконструкція РЗС вимагає значних матеріальних ресурсів.

Слід зазначити, що незважаючи на те, що рис не є основною зерною культурою в Україні, науково-технологічні засади його виробництва (які розробляють насамперед фахівці Інституту рису НААН), забезпечують отримання продукції, яка відповідає світовим стандартам. Це засвідчено Європейським центром дослідження ринку в 2005 р. (Брюссель), який, провівши експертизу українського рису, рекомендував його до реалізації на міжнародному ринку і видав відповідний «Сертифікат якості».

Перспективи розвитку рисосіяння на Півдні України пов'язані також як з виведенням вітчизняними селекціонерами сортів рису, врожайність яких перевищує 10 т/га, так і розробкою екологічно безпечних рисових систем.

Розроблені фахівцями Інституту рису НААН закриті рисові зрошувальні системи із замкненим циклом водообігу і повторним використанням дренажно-скидних вод [161], дозволяють уникнути негативного впливу на зрошувані

землі та прилеглі до них території, а також на довкілля вздовж морського узбережжя, де знаходяться вітчизняні курортні зони.

Незважаючи на невеликі, порівняно із азійськими країнами, обсяги виробництва рису, досвід вітчизняних рисоводів досить високо оцінено в світі. Україну в особі Інституту рису НААН в 2002 р. було прийнято в члени Середземноморської асоціації країн-виробників рису. Разом з цим, статистика споживання рисової крупи в Україні свідчить, що на одну людину її споживається на 22-25% менше від рекомендованої норми. За цього близько третини земельного фонду рисових систем сьогодні фактично не використовують для вирощування рису. Ситуацію загострює ще й анексія Росією території АР Крим, на якій, як сказано вище, вирощували до 70% від загальноукраїнського валового збору рису.

Все це дає підстави вважати за необхідне збільшення у 3-5 разів площ РЗС на території Херсонської та Одеської областей для покриття існуючого дефіциту споживання рису.

Водночас, підвищення технічної та технологічної досконалості діючих РЗС України потребує значних матеріальних і фінансових витрат, що в нинішніх умовах є надзвичайно складним завданням і тільки за рахунок держави не може бути реалізоване.

В ринкових умовах одним із головних мотиваційних механізмів, які на сьогодні спонукатимуть до розширення посівних площ під цією культурою, є економічна ефективність вирощування рису. Тому, сучасною альтернативою традиційного способу його вирощування затопленням може виступати застосування краплинного способу зрошення, насамперед з його головними перевагами щодо значного зниження витрат поливної води та електроенергії.

В Україні станом на 2017 р. вже напрацьований незначний досвід застосування цього способу зрошення в процесі вирощування рису, що вказує на неабиякий потенціал цієї інновації у сільгоспвиробництві. Розвідувальні (рекогносциувальні) польові дослідження Інституту рису НААН та Брилівського опорного пункту Інституту водних проблем і меліорації НААН, проведені у 2015 р., засвідчили саму можливість досягнення врожайності рису на рівні

7-8 т/га за величини норми зрошення 7-8 тис. м³/га. За фактичних витрат на реалізацію технології вирощування (у т.ч. вартість системи краплинного зрошення і поливної води) у 53,3 тис. грн/га, прибуток від реалізації рису-сирцю за врожайності 7,3 т/га складає 89,8 тис. грн/га, а рівень рентабельності – 68,5%.

Окрім того, в цьому ж році у Овідіопольському районі Одеської області у виробничих умовах на площі 15 га краплинного зрошення був отриманий врожай рису 5 т/га.

За даними Інституту харчування Міністерства охорони здоров'я Росії, для збалансованого харчування людині необхідно вживати не менше 5 кг рису на рік. Виходячи з кількості населення нашої країни, виробництво рису в Україні повинно складати близько 200 тис.тонн. Україна виробляє лише 40-50% рису від рівня його споживання. Інша частина імпортується з інших країн світу, а саме: з В'єтнаму, Таїланду, Росії та інших країн світу.

Ґрунтуючись на цих даних та зважаючи на існуючий попит на внутрішньому і зовнішньому ринках, цілком імовірно, що ближчим часом посівні площі під культурою рису в Україні суттєво зростуть.

На сучасному етапі забезпечення зростання та наближення обсягів і структури виробництва рису до потреб суспільства можливе лише на основі оптимального та раціонального використання ресурсів.

Підвищення ефективності галузі повинно здійснюватись на якісно новій основі – через структурну трансформацію та екологізацію виробництва відповідно до умов відкритого ринку. Водночас, важливою проблемою ефективного виробництва рису є підвищення його екологічної ефективності, яке базується на збереженні природних ресурсів, вирощуванні екологічно чистої продукції.

Найбільш складним об'єктом меліорації є ґрунти РЗС, які протягом тривалого періоду перебувають під шаром води, що призводить до розвитку негативних ґрунтових процесів. Відновлення ґрунтового покриву вимагає десятиліть або століть, а роботи з рекультивациі за допомогою технічних засобів потребують дуже великих витрат. Порушення екологічного розвитку, зниження

родючості ґрунтів приходиться компенсувати великими додатковими матеріальними і трудовими ресурсами.

Аналіз проблеми функціонування РЗС в Україні, сучасного стану сільськогосподарського використання земель на них показує, що рисівництво в Україні доцільно розвивати на підставі вдосконалення конструкцій рисових систем та покращення земле- і водокористування на них.

Так, підвищення загальної ефективності функціонування РЗС визначають необхідність запровадження ефективних методів управління їх меліоративним станом з урахуванням сучасних технічних, технологічних, екологічних й економічних вимог до їх функціонування на підставі подальшого розвитку теорії оптимізації щодо водо- та енергокористування, методів та засобів їх реалізації.

РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ ТА УМОВИ РОЗТАШУВАННЯ, ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИДУНАЙСЬКИХ РЗС

2.1. Мета, завдання та програма проведення досліджень

Подальший розвиток рисівництва, як найважливішої галузі сільськогосподарського виробництва, однієї із складових продовольчого забезпечення населення потребує раціонального та ефективного використання водних та енергетичних ресурсів і, одночасно забезпечення екологічної стійкості природних ландшафтів та територій. Відновлення продуктивності та ресурсного потенціалу галузі рисівництва неможливе без підвищення загальної технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності їх функціонування.

Вирішення питання підвищення загального рівня ефективності функціонування наявних РЗС як складних природно-технічних об'єктів є надзвичайно складною проблемою, яка потребує застосування відповідних комплексних та системних підходів до її розв'язання.

Тому, досягнення поставленого завдання потребує розв'язання низки задач, зокрема:

- оцінювання існуючого стану водо- та енергокористування на рисових зрошувальних системах, обґрунтування необхідності та шляхів його поліпшення в змінних природо-агро-меліоративних умовах;

- подальшого розвитку теоретичних основ і розробки сучасних підходів до оптимізації різнорідних та взаємопов'язаних режимних, технологічних та технічних рішень з водо- та енергокористування в процесі проектування та експлуатації РЗС з дотриманням еколого-економічних вимог;

- оцінювання природно-меліоративного режиму, технічного та еколого-меліоративного стану, а також енергоефективності щодо їх забезпечення для діючих РЗС у змінних природо-агро-меліоративних умовах, обґрунтування необхідності та шляхів виведення їх на рівень сучасних вимог;

- розробка комплексу режимно-технологічних та технічних заходів з підвищення загальної ефективності функціонування РЗС;

– аналіз й оцінювання режимних, технологічних та технічних рішень щодо водо- та енергокористування на РЗС у їхньому взаємозв'язку, удосконалення методів обґрунтування їх параметрів;

– розробка загальних принципів побудови та реалізації моделей системної оптимізації технічних і технологічних рішень з водо- та енергокористування на РЗС на еколого-економічних засадах та їх реалізація в змінних природно-агро-меліоративних умовах;

– оптимізація складу та черговості запровадження комплексу розроблених заходів з підвищення ефективності функціонування РЗС;

– оцінювання економічної ефективності та інноваційної привабливості результатів наукових досліджень.

Отже, виходячи з концепції відновлення продуктивних та поліпшення екологічних функцій РЗС, як важливої складової стабілізації виробництва рису **головна мета** наших досліджень полягає у підвищенні загальної ефективності функціонування РЗС на підставі подальшого розвитку загальної теорії оптимізації їх водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах у змінних природно-агро-меліоративних умовах, розробці комплексу відповідних режимних, технологічних, інженерно-технічних заходів, методів та засобів обґрунтування їх параметрів (рис. 2.1).

Характер функціонування РЗС, як складних природно-технічних систем, дуже тісно пов'язаний та обумовлений з природно-кліматичними та іригаційно-господарськими чинниками, які можна об'єднати в поняття – «природно-меліоративний режим» (ПМР) [6; 229], що краще відповідає суті досліджуваних явищ і процесів.

Природно-меліоративний режим – це сукупність водного, сольового, повітряного, теплового, поживного, окисно-відновного та інших ґрунтових режимів, що регулюються за допомогою гідромеліоративних, агротехнічних і організаційних заходів на тлі природних чинників в умова зрошувальної, в тому числі рисової системи.

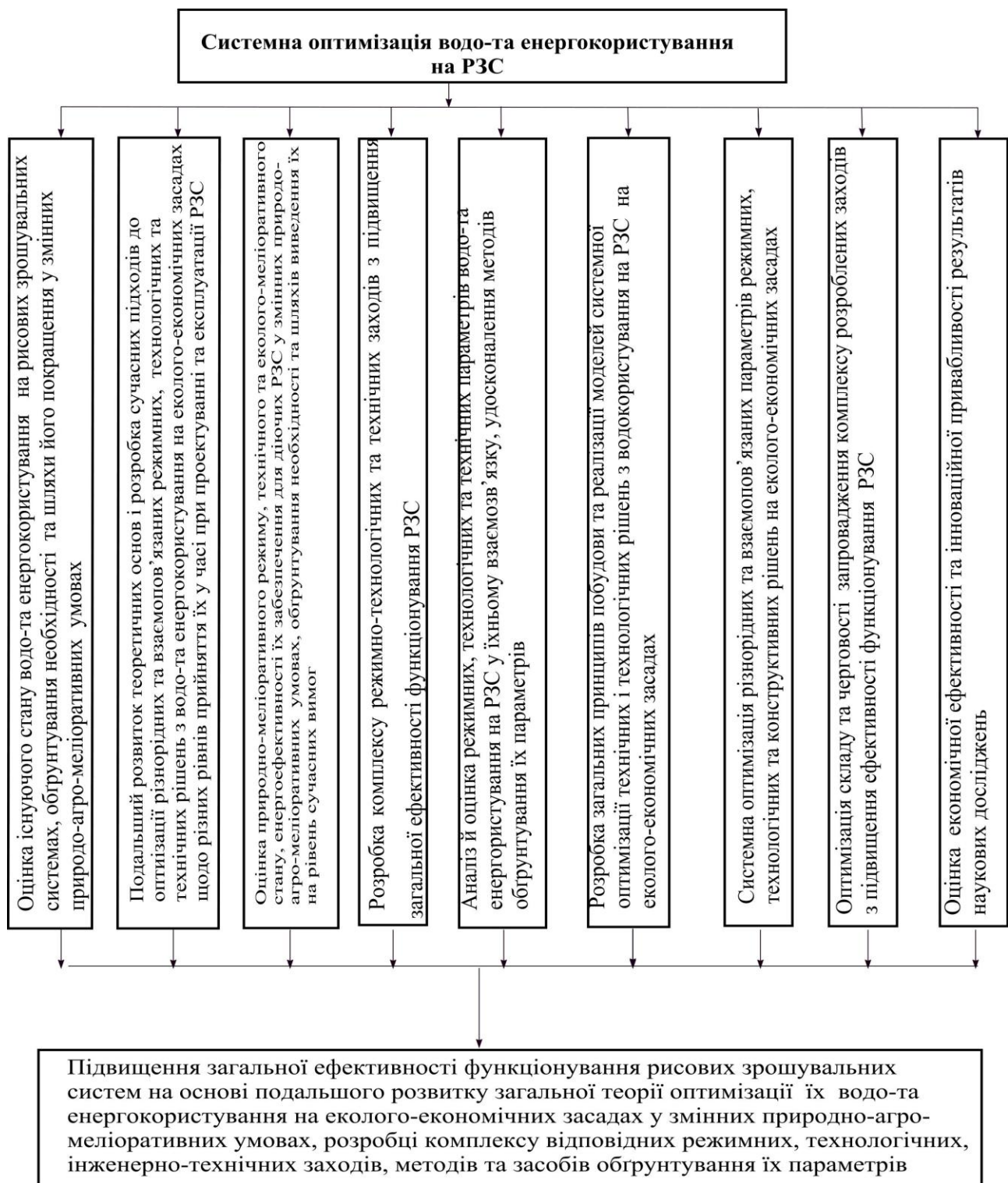


Рис. 2.1. Загальна структурна схема проведення досліджень

Головне завдання підтримання сприятливого ПМР – узгодження потреб розширеного відтворення родючості ґрунту і охорони природи в умовах інтенсивного землеробства, що забезпечує отримання заданих урожаїв сільськогосподарських культур з дотриманням екологічних вимог.

В процесі проектування та експлуатації РЗС повинно бути забезпечено дотримання всіх вимог ПМР. Він може бути *сприятливим*, коли за

результатами правильного зрошення та осушення рисових чеків і виконанні всіх інших заходів, що входять до системи землеробства, спостерігається зростання врожайності та родючості ґрунту, і *несприятливим*. Несприятливим на РЗС він може бути з двох причин: перша – завищені об’єми подачі води на систему (запровадження режиму постійного затоплення, неспроможність дренажно-скидної мережі справитись з об’ємами дренажно-скидних вод, інтенсивне промивання засолених ґрунтів), в результаті чого відбувається вимивання з ґрунту поживних речовин та його заболочування, що призводить до зниження родючості та врожайності рису й супутніх культур; друга – відсутність промивного водного режиму ґрунтів (зменшення частки рису в сівозмінах, тривале підтримання дренажно-скидної мережі в підпертому режимі) призводить до посилення випітного режиму ґрунту та його вторинного засолення.

Створюваний ПМР РЗС формує відповідний ЕМС ґрунтів, який може бути *задовільним*, або *незадовільним*. Для оцінювання ЕМС ґрунтів нами використовується показник *екологічної надійності*, що є фактично відображенням впливу сформованого ПМР на ЕМС зрошуваних земель РЗС. Цей показник виступає в якості комплексної (інтегральної) характеристики впливу водного, сольового, поживного й інших режимів ґрунтів на умови формування врожайності провідної культури рису і відображає, по-суті, ефективну родючість ґрунту у характерних для рисової системи умовах.

Система знаходиться в задовільному стані, якщо коефіцієнт екологічної надійності знаходиться в інтервалі значень $0,5 < k_n \leq 1,0$.

Запропонована схема оцінювання ЕМС РЗС є універсальною, оскільки в якості складових елементів надійності може виступати будь-який комплекс факторів як кількісних так і якісних, які його характеризують.

Для проведення оцінювання ефективності функціонування діючих РЗС за весь період їх експлуатації та прогнозу формування показників ефективності був спланований та здійснений широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ за багаторічними ретроспективними (1891-1964 рр.) та сучасними (1981-2016 рр.) даними спостережень Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії

(м. Ізмаїл, Одеська область). Водночас використані моделі прогновної оцінки на довготерміновій основі нормованого розподілу у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізі основних метеорологічних характеристик за методами, інформаційним та програмним забезпеченням з їх реалізації на ЕОМ, що розроблені на кафедрі природооблаштування та гідромеліорацій НУВГП.

Ефективність функціонування рисових зрошувальних систем загалом включає такі основні її складові: **технічну; технологічну; екологічну; економічну.**

В процесі аналізу розглядались наступні умови та рівні **технологічної** ефективності функціонування РЗС: **проектний та фактичний**, які відповідно характеризують проектні та фактичні виробничі величини критеріїв ефективності функціонування РЗС; **раціональний** – статистично обґрунтовані раціональні у досліджуваних умовах величини критеріїв ефективності; **ресурсозберезувальний** – відповідні ресурсозберезувальні величини критеріїв ефективності.

Правомірність виділення таких характерних рівнів ефективності за період функціонування РЗС та достовірність отриманої оцінки параметрів водокористування та критеріїв ефективності щодо відповідних режимів зрошення рису підтверджена результатами виконаного дисперсійного аналізу (у всіх випадках $F_f > F_{05}$) та водобалансовими розрахунками [82].

Технічна ефективність полягає в оптимізації конструктивних та технічних параметрів рисових систем, що в сучасних умовах може бути досягнуто за рахунок їх реконструкції та модернізації. Технічна ефективність рисових систем обумовлює у той же час відповідний рівень їх технологічної ефективності.

Технологічна ефективність полягає в удосконаленні режимів зрошення рису (безгербіцидний та ресурсозберезувальний), можливості управління водно-повітряним і сольовим режимами ґрунтів, що досягається через удосконалення конструкції і уточнення параметрів дренажної мережі тощо.

Відповідним чином, технічна та технологічна ефективності функціонування РЗС визначають зумовлену ними економічну та екологічну

ефективності рисосіяння.

Екологічна ефективність визначається, насамперед, зменшенням хімізації виробництва рису, в тому числі і за рахунок технологічної ефективності, створенням і підтриманням належного ЕМС зрошуваних земель рисової системи.

Стосовно оцінювання екологічної ефективності варіантів проектних рішень, то загалом врахування екологічних чинників має виключне значення при виборі оптимального варіанту техніко-технологічного рішення, що забезпечує мінімум природоохоронних витрат та нанесення мінімальних збитків навколишньому середовищу.

Загалом під екологічно досконаліми розуміють сьогодні такі меліоративні системи, де в оптимальному співвідношенні знаходяться компоненти навколишнього природного середовища і комплексно використовуються природні ресурси регіону при технічно досконалому підтриманні оптимального водно-повітряного, сольового та інших режимів ґрунтів.

Економічна ефективність виробництва рису характеризується системою натуральних та вартісних показників, які відображають співвідношення окремих кінцевих результатів і величини рівня використання ресурсів.

Критерій економічної ефективності виробництва рису можна сформулювати як комплекс показників ефективності системи землеробства, які дають можливість мінімізувати затрати праці, собівартість продукції та максимізувати прибуток і рентабельність.

У перехідний період переведення економіки країни в ринкові умови обґрунтованість економічної доцільності та екологічної надійності інвестиційних вкладень у рисові системи є необхідною умовою та стимулом для їх фінансування як за рахунок державних, так і приватних інвестицій в умовах обмеженості коштів.

Аналіз наведених показників ефективності виробництва рису, згідно запропонованого методичного підходу, дає змогу простежити зміни, виявити тенденції і закономірності в розвитку галузі рисівництва та дати оцінку рівня потенційних можливостей виробництва.

Вирішення завдання щодо підвищення загальної ефективності функціонування діючих РЗС як складних природно-технічних систем та розробки стратегії їх подальшого розвитку на найближчу та віддалену перспективу потребує виконання відповідних прогностичних режимних розрахунків за наступною схемою:

– **Варіант 1 – «Base»:** характеристика основних метеофакторів за період вегетації (IV-X місяці), отриманих за багаторічними ретроспективними даними;

– **Варіант 2 – «Recent»:** динаміка та нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподілу за період вегетації (IV-X місяці), отриманих в сучасних умовах за 1981-2016 рр.;

– **Варіант 3а – «СССМ»** та **Варіант 3б – «УКМО»:** нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації (IV-X місяці), отриманих з урахуванням наявних та можливих змін клімату, згідно рекомендацій академіка М.І. Ромащенко [242; 244], за моделями Канадського кліматологічного центру «СССМ» – як більш сприятливий прогноз, та Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства «УКМО» – як менш сприятливий прогноз, що передбачають підвищення середньорічної температури повітря відповідно на 4° С та 6° С – при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері.

Доцільність застосування моделей «СССМ» та «УКМО» при відповідних прогностичних режимних розрахунках підтверджується тим, що вони враховують як менш, так і більш критичні сценарії змін погодно-кліматичних умов та якнайкраще узгоджуються із моделями прогностичної оцінки нормованого розподілу основних метеорологічних характеристик у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізах.

Так, оцінювання ефективності водо- та енергокористування на ПРЗС здійснювалось нами у ретроспективних, сучасних та прогнозованих на найближчу й віддалену перспективу умовах за визначеними й прийнятими відповідними періодами та рівнями ефективності їх функціонування при різних ПМР та створюваних при цьому ЕМС у змінних природно-кліматичних умовах відповідно до схеми досліджень (рис. 2.2).

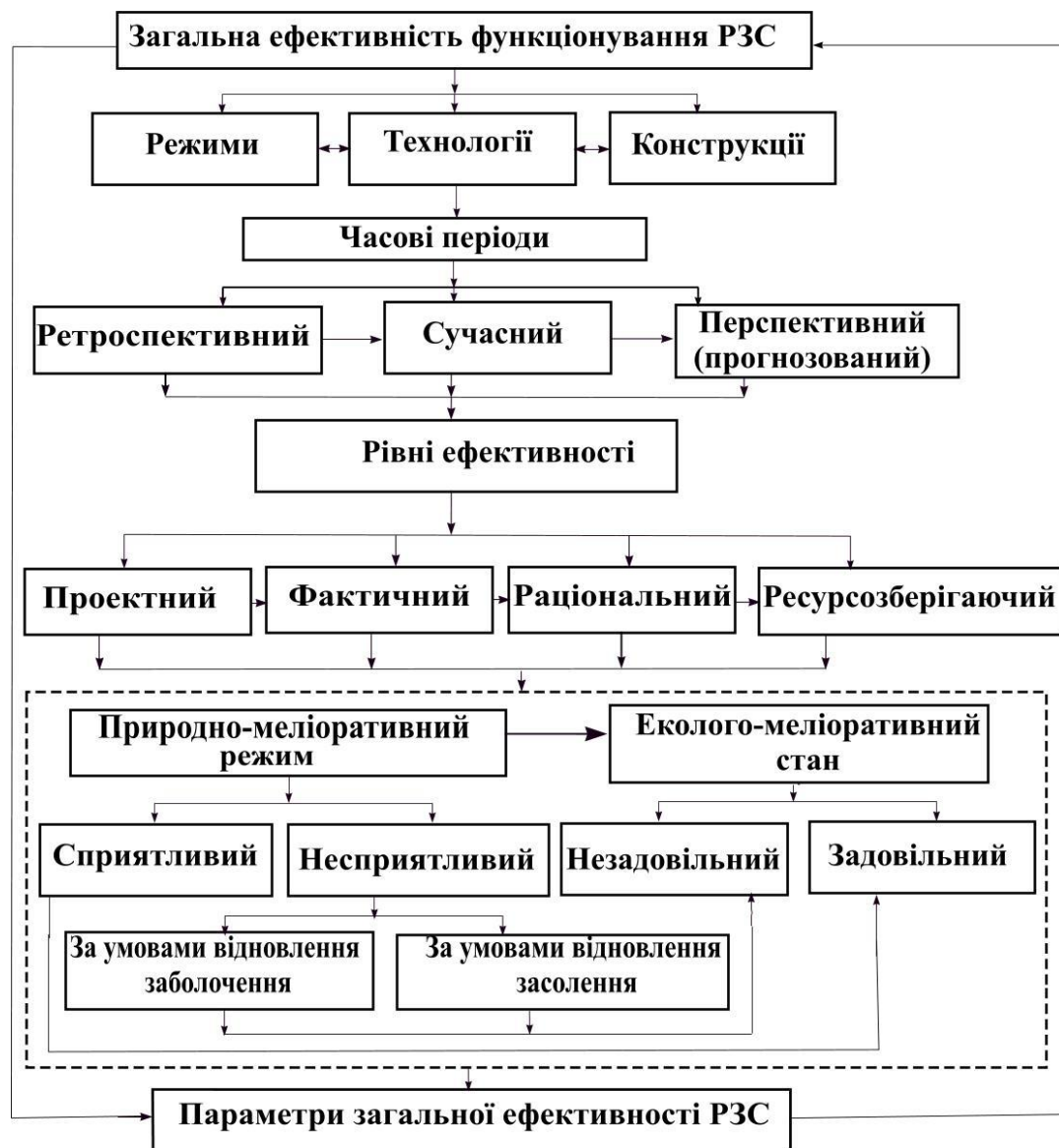


Рис. 2.2. Структурна схема проведення досліджень за визначеними періодами та рівнями ефективності функціонування РЗС

2.2. Об'єкт та умови проведення досліджень

Об'єктом досліджень за темою дисертації обрані Придунайські РЗС (ПРЗС) загальною площею 13678 га, до складу яких входять Кілійська, Лісковська, Кілійсько-Маякська, Кислицька РЗС, рисова зрошувальна система «Дружба», що розміщені на території Східно-Кілійських плавнів дельти р. Дунай в Одеській області (рис. 2.3).

Визначальним фактором при виборі об'єкта досліджень було те, що за природними, конструктивними та експлуатаційними умовами дані системи є типовими для більшості РЗС України.

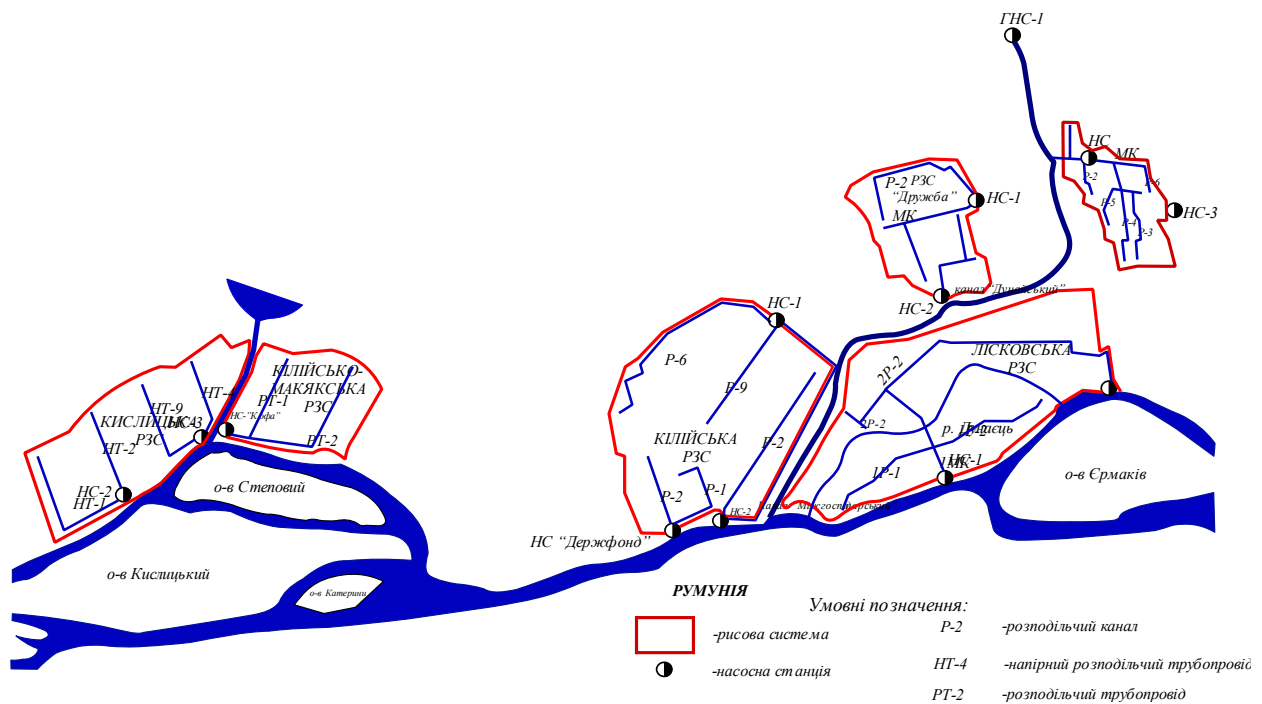


Рис. 2.3. Схема розміщення Придунайських рисових систем

2.2.1. Погодно-кліматичні умови зони рисівництва в дельті р. Дунай

Клімат району Придунайських РЗС – помірно-континентальний і характеризується мінливістю добового та річного ходу метеорологічних елементів.

Континентальність клімату зменшується по мірі наближення до моря. Особливістю такого клімату є значна кількість сонячної енергії і тривалий теплий період, за який всі сільськогосподарські культури встигають дозріти, а тепла і суха осінь забезпечує сприятливі умови для збиранню врожаю.

Географічне положення зони рисосіяння в дельті р. Дунай забезпечує отримання достатньої кількості тепла й вологи і створює сприятливі природно-та агрокліматичні умови на її території (табл. 2.1).

Формування клімату відбувається під впливом атлантичних та середземноморських повітряних мас. Для даного регіону характерна коротка м'яка зима з частими відлигами і тривале жарке літо. Середньобагаторічна температура самого холодного місяця (січень) $-1,5 - -2,0^{\circ}\text{C}$; самого теплого (липень) $+22,8 - +23,5^{\circ}\text{C}$, а середньорічна температура повітря становить близько 11°C . Тривалість безморозного періоду становить 170-190 днів.

Таблиця 2.1

Кліматична характеристика зони рисосіяння в дельті р. Дунай

Показники	Значення
Річна кількість опадів, мм	460
Випаровуваність в рік, мм	850
Безморозний період:	
початок	5.04
кінець	5.11
тривалість, діб	213
Період з температурою вище 10° С:	
початок	12.04
кінець	27.10
тривалість, діб	198
Період з температурою вище 15° С:	
початок	4.05
кінець	2.10
тривалість, діб	151
Сума середньодобових температур вище 10° С	4000
Сума середньодобових температур вище 15° С	3050

Тривалість періоду з температурами вище 15° С (нижня межа життєдіяльності рису) становить 151 день, що особливо важливо для рису, вегетаційний період якого складає 110-140 діб, а сума активних температур перевищує 3000° С. Період з температурою повітря вище 5° С становить 250 днів. Сума середньодобових температур вище 10° С становить більше 4000° С, що дозволяє вирощувати не тільки ранньостиглі, а навіть середньо та пізньостиглі сорти рису. У період вегетації добові температури повітря коливаються від 6° С до 41° С. Значення середньомісячних та річних температур повітря району розташування Придунайських РЗС наведені в табл. 2.2 та табл. 2.3.

Весна суха і прохолодна. Перехід значень температури повітря вище нуля відбувається в березні, в цей період добові температури повітря найчастіше коливаються в межах 6-10° С. Літо жарке та сухе. Найбільш теплим місяцем року є липень з середньою температурою у м. Ізмаїл 23,5° С та 22,6° С у м. Вилкове.

Осінь починається з жовтня і триває до другої половини грудня. Температура

повітря знижується повільно, осінь в дельті тепліше весни, що пояснюється впливом Чорного моря.

Таблиця 2.2

Середньомісячні і річні значення температур повітря ($^{\circ}\text{C}$) в зоні ПРЗС [182]

Місяць Пункт	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	за рік
Ізмаїл	-2,0	-0,5	3,9	10,6	16,4	20,2	22,6	21,8	17,2	11,3	6,3	1,2	10,8

Таблиця 2.3

Максимальні та мінімальні значення температур повітря за період з 1981 по 2012 рр. (Дунайська ГМО м. Ізмаїл, Одеська область)

Місяць Показник	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	За рік
Абсолютний максимум, $^{\circ}\text{C}$	18,4	23,0	27,6	31,2	34,5	36,7	40,7	39,1	34,2	31,5	25,4	19,5	40,7
Середній максимум, $^{\circ}\text{C}$	11,5	12,0	21,0	25,6	30,3	33,8	34,6	34,7	29,9	26,2	19,6	13,6	24,4
Середня температура, $^{\circ}\text{C}$	-0,3	0,3	4,8	10,8	16,6	20,7	23,1	22,6	17,4	11,6	5,5	0,8	11,2
Середній мінімум, $^{\circ}\text{C}$	-13,3	-13,0	-6,6	-0,6	4,2	9,3	12,1	10,7	5,7	-2,1	-6,5	-12,3	-1,0

За характером зволоження територія відноситься до сухих степових районів. Кількість атмосферних опадів, яка випадає протягом року характеризується нестабільністю і, не дивлячись на невелику площу рисових систем та одноманітний рельєф, розподіл опадів по території нерівномірний. Середньорічне значення опадів складає 370-460 мм, а за вегетаційний період 200-240 мм. Максимум опадів спостерігається у червні, а основна їх частина (63-73%) випадає у теплий період року у вигляді злив, які в деяких випадках досягають 50-60 мм, особливо інтенсивні та часті зливи спостерігаються в травні – серпні. Середньомісячний розподіл яких подано у табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Середньомісячна кількість опадів (в мм) у зоні ПРЗС [182]

Місяць Пункт	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	Грудень	За рік
Ізмаїл	31	31	27	33	50	57	49	35	34	31	34	40	452

Значна кількість опадів взимку призводить до підвищення рівня ґрунтових вод у весняний період, що затримує весняно-польові роботи, негативно впливає на аерацію ґрунтів і підвищення їх окисно-відновного потенціалу.

За узагальненими даними Одеського державного екологічного університету зміна сумарної кількості опадів за теплий та холодний періоди року в сучасних погодно-кліматичних умовах у порівнянні з їх середньобаторічними значеннями подані в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Річна сума опадів на території дельти р. Дунай з виділенням теплого та холодного періодів року, мм [182]

Станції	Теплий період			Холодний період			За рік		
	1891 – 1965 рр.	1961 – 1990 рр.	2000 – 2007 рр.	1891 – 1965 рр.	1961 – 1990 рр.	2000 – 2007 рр.	1891 – 1965 рр.	1961 – 1990 рр.	2000 – 2007 рр.
Одеса	243	260	262	147	204	196	390	464	458
Вилкове	246	277	226	159	205	157	405	482	383
Ізмаїл	263	298	250	140	191	159	403	489	409

Дані табл. 2.5 свідчать у цілому про збільшення сумарної річної суми опадів на 21,6% за 1961–1990 рр. у порівнянні з 1891–1965 рр. та поступове їх зменшення у 2000–2007 рр. на 12,1%, що супроводжується деяким погіршенням умов вирощування сільськогосподарських культур та необхідністю збільшення об'ємів водоподачі протягом вегетаційного періоду. При цьому відповідні зміни за холодний період складають +14,1% та –10,9%, а в теплий період +35,4% і –10,7%.

Середнє багаторічне випаровування складає 850 мм. Максимальне випаровування з водної поверхні за роки спостережень досягло 1000 мм, а

мінімальне – 260 мм, тобто відхилення складає 740 мм, що свідчить про надзвичайну мінливість потреби у вологозабезпеченості по роках. Найбільше випаровування спостерігається у літні місяці, досягаючи максимуму в липні (близько 190 мм). Середньомісячний розподіл випаровування подано у табл. 2.6.

Таблиця 2.6
Середньомісячне випаровування для умов зони ПРЗС, мм

Місяць Пункт	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Вилкове	12,2	13,7	24,3	57,8	90,8	127,3	180,3	153,6	103,5	50,2	22,8	13,5

Значні відмінності величин радіаційного балансу моря та земної поверхні обумовлені особливостями клімату даного району. Море акумулює більшу кількість тепла, що витрачається в основному на випаровування та турбулентний теплообмін. При добових амплітудах температури повітря більше 6°С встановлюється бризова циркуляція. Денні бризи проникають на 50-60 км в глибину суші. Під впливом бризової циркуляції зменшуються добові коливання температури повітря, хмарність і кількість опадів, збільшується радіаційний баланс, сумарна радіація, вологість повітря і швидкість вітру, що відображається на формуванні мікроклімату над рисовими полями.

Середньорічна швидкість вітру складає 3,8-4,0 м/с. За осінньо-зимовий період з вересня по квітень найбільшу повторюваність мають північні (18-41%) та північно-західні (12-26%) вітри. Лише в травні взагалі не спостерігається чіткого переважання якогось із напрямків вітру. У червні-серпні переважаючими стають вітри з півдня і сходу, повторюваність кожного напрямку сягає 35%. Найбільша швидкість вітру та найбільше число днів зі швидкістю вітру понад 15 м/с спостерігається в холодну пору року.

Середня тривалість світлового дня, що особливо впливає на процес фотоперіодизму живих організмів, становить 11 год 46 хв. Найбільша тривалість 15 год 50 хв у червні, тоді як найменша – 8 год 35 хв у грудні.

Аналіз природних умов та агрокліматичних ресурсів зони рисосіяння в дельті р. Дунай свідчить, що високопродуктивне вирощування, особливо вологолюбних сільськогосподарських культур (рис, супутніх культур рисової сівозміни), можливе тільки за умови додаткового штучного зволоження ґрунтів, тобто зрошення. Саме дефіцит природного зволоження у поєднанні з високою забезпеченістю тепловими ресурсами, високою сонячною радіацією та родючими ґрунтами і є об'єктивною природною передумовою розвитку зрошення земель в тому числі рисівництва в даному регіоні. Природно-кліматичні умови зони рисосіяння цілком сприятливі для вирощування рису, супутніх культур рисової сівозміни (зернових і технічних культур, кормових однолітніх і багаторічних трав) та відповідають їх агробіологічним особливостям. Згідно перевищення випаровування над опадами в два і більше разів та наявність мінералізованих ґрунтових вод, які залягають на незначній глибині веде до розвитку процесів вторинного засолення на зрошуваних землях.

Приведені характеристики погодно-кліматичних умов свідчать про те, що Одеська область (дельта р. Дунай) є одним з найбільш сприятливих районів для розвитку рисосіяння і за основними кліматичними показниками не поступається Криму та Херсонській області.

Природно-кліматичні умови дельти Дунаю останніх років були в цілому сприятливими для вирощування рису та супутніх культур. Тривалий безморозний період і сума середньодобових температур повітря вище 10° С, що досягає 4000° С, надають змогу вирощувати тут не тільки ранньостиглі, а й середньопізностиглі сорти рису.

2.2.2. Рельєф, гідрологічні та гідрогеологічні умови дельти Дунаю

Рисові зрошувальні системи в дельті р. Дунай займають територію від м. Ізмаїл до м. Вилкове на узбережжі Чорного моря. Ця територія представлена найбільш пониженими ділянками поверхні землі з яких найбільшу частину займають плавні (Стенсовсько-Жебрияновські) порослі очеретом та іншою болотною рослинністю.

До освоєння цієї території під РЗС вона характеризувалась наявністю

широко розпластаних гряд старих русел та приозерних територій, які здіймалися над рештою місцевості на 0,5 м.

Дельта Дунаю входить до складу Чорноморської впадини, що розташована на окраїні Східно-Європейської плити, де глибоко залягають товщі осадових порід. На них розташовані потужні алювіальні відкладення, в тому числі супіски і піски різної крупності, часто сильно замулені, особливо у верхньому горизонті.

В геолого-літологічному відношенні район являє собою складну споруду, фундаментом якої є відкладення міоцену (сарматського і меотичного ярусів) і пліоцену (понтичного ярусу). Відкладення понтичного перебиваються верхньопліоценовими і четвертинними утвореннями. На півдні – це комплекс алювіально-дельтово-морські відкладення, а на півночі – комплекс верхньопліоценових терас, в які врізана верхньочетвертинна тераса. Зверху елювій терас перебивається середньо-верхньочетвертинними відкладеннями (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Геолого-літологічна карта Придунайських РЗС

В гідро-геолого-меліоративному відношенні територія дельти Дунаю, на якій розташовані рисові системи практично позбавлена відтоку ґрунтових вод. Згідно з гідролого-меліоративною характеристикою, територію дельти Дунаю можна розділити на дві характерні ділянки з різним режимом ґрунтових вод:

– територія із ускладненим відтоком ґрунтових вод, розташована між

м. Ізмаїл і м. Кілія;

–територія, яка практично позбавлена відтоку ґрунтових вод, знаходиться між м. Кілія і Чорним морем. Ґрунтові води цих зон приурочені до всіх комплексів відкладень і мають різну мінералізацію, яка зростає з глибиною, а також різний склад (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Мінералізація і хімічний склад ґрунтових вод до будівництва Кілійської ПЗС

Глибина відбору, м	Сума солей, г/л	pH	HCO ₃ , г/л	Cl, г/л	SO ₄ , г/л	Ca, г/л	Mg, г/л	Na+K, г/л
1,1	11,96	7,4	0,60	4,45	2,89	0,88	0,40	2,72
1,2	17,72	7,4	0,20	8,60	3,31	1,16	0,71	4,24
1,4	17,45	7,4	0,65	7,56	3,18	0,86	0,54	4,65
2,0	72,16	7,4	0,27	35,70	10,80	1,18	9,18	21,02

Найбільш поширений тип засолення ґрунтових вод переважно хлоридний, а в більш високо залягаючих ґрунтових водах – хлоридний і сульфатний з підвищеним вмістом гідрокарбонатів. Значення мінералізації ґрунтових вод у всіх комплексах відкладень змінюється від 3-5 г/л до 15-17 г/л. Найбільш висока мінералізація характерна для ґрунтових вод, які приурочені до товщі еолово-делювіальних лесоподібних порід і досягає 60 г/л і більше. Особливістю гідрогеологічного режиму в дельті Дунаю є те, що ґрунтові води отримують живлення від моря і від системи річкових рукавів.

Серед ґрунтових вод, які залягають на глибині вище 1 м переважають слабомінералізовані води (сухий залишок 1-3 г/л), а з глибиною ступінь мінералізації зростає.

Характеристика природних умов свідчить про те, що територія, де розміщені ПЗС, відноситься за гідрогеологічними і ґрунтоутворюючими умовами до складних.

Успішне освоєння таких територій під рисосіяння можливе при умові ефективної роботи дренажу (особливо на засолених ґрунтах), метою якого є забезпечення розсолення ґрунтів, недопущення заболочення і вторинного засолення останніх.

2.2.3. Ґрунтовий покрив дельти Дунаю

Ґрунтовий покрив являє собою найважливіший елемент ландшафту, а ґрунт є функцією рослинності, ґрунтоутворюючих порід, клімату, рельєфу та того чи іншого виду господарської діяльності, де він становить і основний ресурс виробництва [213].

Ґрунтовий покрив є одним з основних компонентів довкілля, що виконує життєво важливі біосферні функції. Ґрунти і рослинний покрив у природі утворюють єдину систему. Втрата ґрунтом родючості, його деградація позбавляють рослини екологічних основ їхнього існування. Тому відновлення деградованих ґрунтів – це відновлення природного й екологічного балансу територій, порушеного людиною у результаті нераціональної господарської діяльності.

Умови ґрунтоутворення в дельті Дунаю до обвалування її території для захисту від затоплення повенями і паводками визначались головним чином гідрологічним режимом і характером рельєфу. В залежності від висоти і тривалості стояння рівнів води в Дунаї різні частини дельти затоплювались на короткий чи тривалий час. У першому випадку переважали аеробні, а другому – анаеробні процеси. Це означає, що при тривалому затопленні повітря не проникає в ґрунт і його окислення припинялось. При пониженні рівнів води ґрунти (наприклад прируслові гряди) осушувались і ставали доступні для аерації. При цьому відновні процеси уповільнювались, а окислювальні активізувались. Тому при затопленні дельти і наступному звільненні її від води безперервно змінювались умови ґрунтоутворення.

До обвалування р. Дунай формування ґрунтового покриву пойми в умовах сезонного затоплення паводковими водами і близького залягання мінералізованих ґрунтових вод відбувалось по дерновому типу. Після будівництва дамби вздовж р. Дунай, яке почалось в 20-х роках минулого століття, було виключене сезонне паводкове затоплення пойми і відбулась зміна напряму ґрунтоутворюючих процесів. На прируслових підвищених ділянках (абсолютні відмітки 1,5-2,5 м) сформувались алювіально-дернові

грунти, на схилах і пониженнях – лугові і луго-болотні, а на заболочених пониженнях (відмітки 0,7-0,0 м) – болотні ґрунти.

Велике значення на хімізм і властивості ґрунтів має рівень ґрунтових вод. При високому їх стоянні капілярне підняття супроводжується підйомом солей на поверхню із більш глибоких горизонтів. Цей процес в кінцевому результаті призводить до засолення ґрунтів. Особливо процеси засолення активізувались після обвалування р. Дунай. Основними ґрунтоутворюючими породами на даній території є сучасні алювіальні відкладення. Гранулометричний склад ґрунтів різко змінюється як по профілю та і по площі (від супісків до глин).

Найбільш поширеними є легко-середньо- і важко суглинисті різновиди ґрунтів. Вони підстилаються супісками, рідше пісками, а також легкими, середніми і важкими суглинками.

Ґрунти господарств Лісковської, Кислицької, Кілійсько-Маякської РЗС сформувались в гігроморфних умовах пойми р. Дунай і представлені луговими, лугово-болотними, торф'яно-болотними і дерновими ґрунтами, характерною особливістю яких є карбонатність (рис. 2.5).

КІЛІЙСЬКА ТА ЛІСКІВСЬКА РИСОВІ ЗРОШУВАЛЬНІ СИСТЕМИ

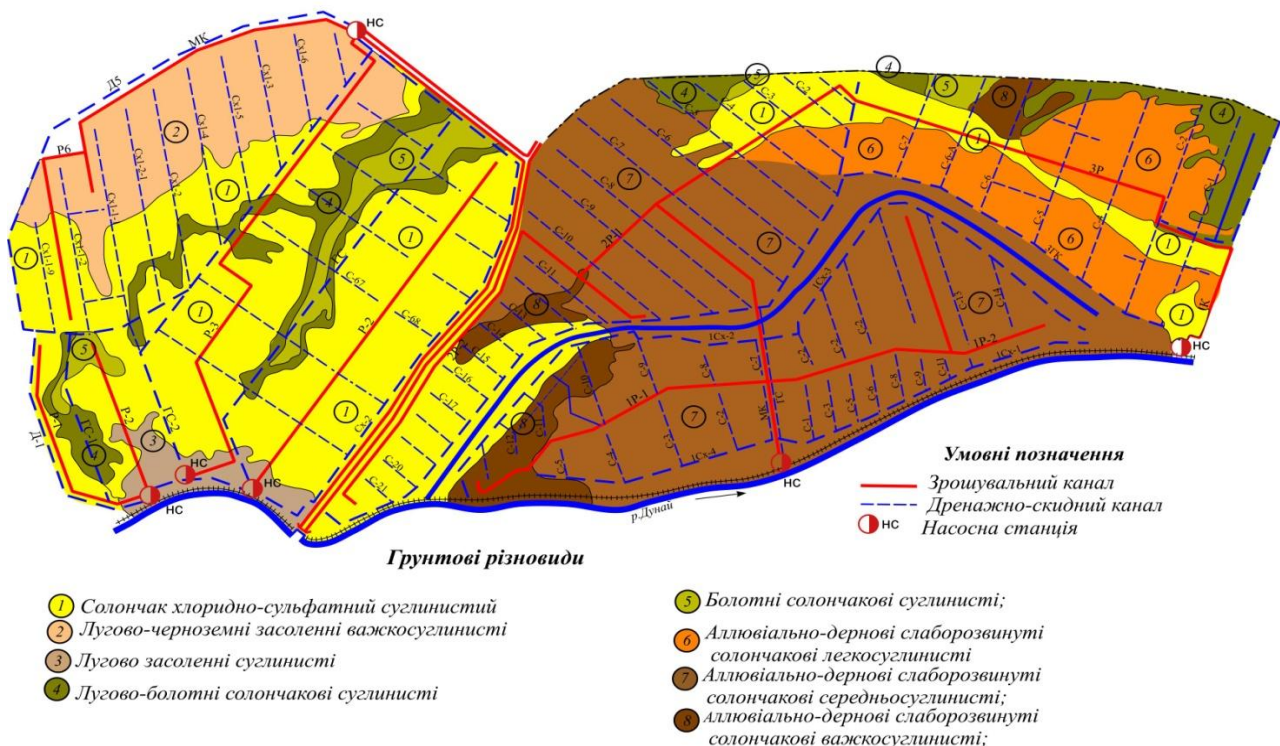


Рис. 2.5. Ґрунтова карта Придунайських РЗС

Дернові ґрунти відрізняються чітко вираженим дерновим горизонтом, більшим вмістом гумусу, високим насиченням лугами, слабко кислою або нейтральною реакцією, міцною брилуватою структурою і високою природньою родючістю. Вміст гумусу коливається в межах 4-6%, потужність гумусового горизонту досягає декількох десятків сантиметрів. Ступінь насичення лугами може досягати 90%, ємність поглинання коливається в межах 35-50 мг-екв на 100 г ґрунту, рН = 6,5-7,5.

Лугово-чорноземні ґрунти, які розвивались за участі ґрунтових вод, в нижній частині профілю за звичай мають ознаки відновлювальних процесів у вигляді ржавих і сизуватих плям оглеєння. Вміст гумусу досягає іноді 14-19%. В результаті періодичного капілярного підтягування ґрунтового розчину до поверхні у всіх горизонтах лугово-чорноземних ґрунтів можуть з'являтися в невеликих кількостях легкорозчинні солі, які надають цим ґрунтам ознак солончакуватості, солонцюватості і осолодіння. Сформувались дані ґрунти на шаруватих алювіальних відкладеннях. Гранулометричний склад цих ґрунтів відрізняється суттєвою строкатістю від важкосуглинистого до піщаного (табл. 2.8).

Таблиця 2.8

Водно-фізичні властивості ґрунтів Лісковської РЗС

Горизонт, м	Об'ємна маса, т/м ³	Питома вага ґрунту, т/м ³	Шпаруватість, %	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
0-0,2	1,42	2,65	46,8	0,13
0,2-0,4	1,45	2,65	45,3	0,03
0,4-0,6	1,34	2,73	50,9	1,06
0,6-0,8	1,58	2,70	43,8	0,12
0,80-1,0	1,42	2,73	48,0	2,32

Приведені дані свідчать про те, що водопроникність покривного шару ґрунтів (0-60 см) є досить низькою і коливається від 0,008 до 0,02 м/добу. Це викликано зміною гранулометричного складу ґрунтів, їх щільності та шпаруватості у процесі тривалого вирощування рису затопленням.

Найменша польова вологоємність покривного шару ґрунту коливається в досить широких межах від 30 до 36% від м.с.г., підстилаючих ґрунтів від 13,5 до

22,8% від м.с.г.

Ґрунтовий покрив Кілійської РЗС характеризується шаруватістю за глибиною і неоднорідністю за площею (табл. 2.9). Берегові гряди біля водотоків утворені мілким пілуватим піском. З віддаленням від річки і протоків пісок переходить в легкі і важкі пілуваті супіски, а останні – у легкі пілуваті суглинки.

Таблиця 2.9

Водно-фізичні властивості ґрунтів Кілійської РЗС

№ групи	Площа, га	Горизонт, см	Об'ємна маса, т/м ³	Щільність, т/м ³	Шпаруватість, %	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
I	1228,0	0-20	1,58	2,68	42,80	0,008-0,02
		20-40	1,61	2,78	42,00	
		40-60	1,59	2,72	41,60	
II	1154,0	0-20	1,38	2,74	49,60	0,02-0,05
		20-40	1,44	2,40	40,00	
		40-60	1,33	2,61	49,00	
III	851,0	0-20	1,37	2,64	48,20	0,05-0,2
		20-40	1,36	2,77	50,80	
		40-60	1,37	2,76	50,30	
IV	217,0	0-20	1,44	2,68	30,70	0,0006-0,004
		20-40	1,55	2,74	28,60	
		40-60	1,39	2,70	32,60	

За глибиною залягання по всій місцевості спостерігається наступна закономірність. Верхній шар, товщиною 0,4-0,6 м представлений суглинками є найбільш щільним і підстиляється малопотужним (0,3-0,4 м) пластом супіску. Нижче залягає пісок, який включає значну кількість пілуватих фракцій. Потужність пласта від 1 до 2 м. В деяких місцях в піску зустрічається шар ракушняку до 10 см. Пісок поступово переходить в супісок, який підстиляється пілуватим суглинком, що є «проміжним» водоупором. Як наслідок, із наведених вище даних, водопроникність ґрунтів на Кілійській РЗС змінюється в широких межах і залежить не тільки від гранулометричного складу, а й щільності. В ряді випадків водопроникність ґрунтів легкого гранулометричного складу виявляється нижчою за водопроникність важких ґрунтів. Це пояснюється замуленням легких ґрунтів річковими насосами при проходженні

паводків.

Характеристика природних умов свідчить про те, що територія, де розміщені ПРЗС, за гідрогеологічними та ґрунтоутворюючими умовами відноситься до складних [83; 214].

2.2.4. Методика проведення досліджень

Дана дисертаційна робота виконувалась впродовж 2003–2016 рр. у рамках комплексної програми щодо підвищення загальної ефективності функціонування Придунайських РЗС за єдиною методикою, що включала в себе: використання спільної бази даних багаторічних спостережень по об'єкту; обґрунтування відповідно до завдання комплексу критеріїв ефективності функціонування діючих РЗС; використання методу водного та сольового балансу як загальноприйнятого інструменту оцінювання та прогнозування при обґрунтуванні параметрів водо- та енергокористування на РЗС для визначених часових періодів та рівнів ефективності їх функціонування у змінних природно-кліматичних умовах.

У ході дисертаційного дослідження використано також матеріали науково-технічних звітів наукових експедицій під керівництвом д.с.-г.н., професора Л. В. Скрипчинської у складі співробітників УІВГ (нині НУВГП), С. М. Гончаров, М. Г. Степаненко – 1967-1970 рр., С. В. Ковальов, П. І. Мендусь – 1970-1974 рр., С. М. Кропивко – 1984-1987 рр. та ін.), а також річних звітів Одеського обласного управління водних ресурсів, Кілійського управління водного господарства, кліматологічні дані обсерваторії в м. Ізмаїл за період 1966-2016 рр. та результати наших власних досліджень. Численні матеріали польових і теоретичних досліджень, проведених на Придунайських РЗС, інформаційна база даних майже за 50-ти річний період часу, дали змогу забезпечити якісне виконання дисертаційної роботи.

В процесі підготовки дисертаційного дослідження нами застосовувалися загальноприйняті методики роботи з науково-технічними матеріалами: ретроспективний пошук і аналіз авторефератів докторських дисертацій, наукових статей у фахових журналах й монографій відомих як вітчизняних так

і закордонних дослідників-рисівників, аналіз галузевих нормативних документів, науково-технічних рекомендацій.

Здійснювався пошук і аналіз проектних матеріалів і науково-технічних звітів у науково-дослідних і проектних інститутах «Укрводпроект», «Укрпівдендіпроводгосп», які займались питаннями проектування і реконструкції рисових систем. Опрацьовували додаткові дані отримані в організаціях Держводгоспу України та Мінагрополітики України.

Для реалізації моделей довготермінового прогнозу типового розподілу головних метеорологічних характеристик зони розташування Придунайських РЗС в умовах зміни клімату при виконанні водобалансових розрахунків для дослідження та прогнозування зміни технології водокористування на рисових системах при змінних кліматичних умовах здійснена постановка машинного експерименту на ПК, яка виконана на основі реалізації прогнозно-імітаційних субмоделей в оптимізаційних інженерно-меліоративних розрахунках [229]. В якості вихідних даних використані дані Дунайської гідрометобсерваторії МНС України щодо середньовегетаційних значень основних метеорологічних характеристик за період 1981-2016 рр.

Математична обробка отриманих даних експериментальних досліджень проводилася на ПК з використанням кореляційного і регресійного аналізу. Для оцінки тісноти лінійних зв'язків визначався коефіцієнт кореляції, а для криволінійних – кореляційне відношення. Суттєвість значень коефіцієнта кореляції та кореляційного відношення перевірялось на 5%-му рівні значимості [82]. Остаточні дані експериментальних досліджень опрацьовані і систематизовані у вигляді таблиць, графіків та рисунків.

Окрім того, нами проведено спільні дослідження з В. В. Зайцем та Н. В. Приходько щодо опрацювання та аналізу узагальненої спільної бази багаторічних ретроспективних та сучасних даних щодо функціонування ПРЗС за 1966-2016 рр. Але, на відміну від досліджень В. В. Зайця [97], присвячених питанням нормуванню водо- та енергокористування ПРЗС на основі досліджень водного балансу рисової системи, та досліджень Н. В. Приходько [204], присвячених удосконаленню технології водокористування на основі

дослідження водного балансу рисового чека як основного елемента РЗС на проектному, раціональному та ресурсозберігаючому рівнях, наші дослідження в розвиток та на відміну від попередніх, направлені на підвищення загальної ефективності функціонування рисових зрошувальних систем на основі подальшого розвитку загальної теорії оптимізації їх водо- та енергокористування на еколого-економічних засадах у змінних природно-агро-меліоративних умовах, розробці комплексу відповідних режимних, технологічних, інженерно-технічних заходів, методів та засобів, обґрунтуванні їх оптимальних параметрів.

2.3. Загальна характеристика та технічний стан Придунайських РЗС

Всі рисові системи Одеської області загальною площею 13,6 тис. га розміщені на українській частині дельти Дунаю.

Системи складаються в основному з карт краснодарського типу (ККТ) та карт-чеків широкого фронту затоплення і скиду з дренажем (КЧД) різних модифікацій та параметрів.

Загальна технічна характеристика РЗС дельти Дунаю наведена в табл. 2.10.

Слід відмітити, що на ПРЗС накопичений величезний досвід експлуатації практично всіх існуючих конструкцій та модифікацій рисових карт.

Кілійська РЗС (КРЗС) площею 3,45 тис. га була побудована в 1966-1968 рр. на місці засолених Східно-Кілійських плавнів р. Дунай, що раніше в сільському господарстві не використовувалися. Південною границею системи є р. Дунай, північною і східною – канал «Дунайський», із заходу рисова система прилягає до м. Кілія.

Для даної системи характерний легкий гранулометричний склад ґрунту, представлений, в основному, супісками, що залягає до першого регіонального водоупору.

До будівництва рисової системи глибина залягання рівня ґрунтових вод знаходилась в межах від 0,0 до 2,5 м, а загальний їх ухил спрямований в бік р. Дунай. Вміст солей у ґрунтових водах знаходився в межах 10-30 г/л, досягаючи в окремих випадках 70 г/л. Мінералізація ґрунтових вод збільшувалася від

прирусової частини заплави до центральної її частини. За тривалий період вирощування рису на КРЗС відбулося опріснення ґрунтових вод. Мінералізація їх зменшилась до 1,5-15 г/л, що пояснюється відносно інтенсивним промивним режимом, який створювався в результаті поливу рису затопленням і роботою дренажу. Лише на невеликих площах розсолення ґрунтових вод відбулось до 30 г/л.

Таблиця 2.10 – Технічна характеристика рисових систем дельти Дунаю станом на 2014 рік

Елементи системи	Всього	в тому числі	
		міжгосподарська мережа	внутрігосподарська мережа
Джерело зрошення		р. Дунай	
Площа, га	13678		13678
Канали зрошувальної мережі, км	592,032	52,712	539,32
Канали дренажно-скидної мережі, км	770,891	71	699,891
Гідротехнічні споруди на зрошувальній мережі, шт.	3418	129	3289
Гідротехнічні споруди на дренажно-скидній мережі, шт.	3676	70	3606
Насосні станції, шт.	11	11	
Водозабір, тис.м ³	73403	73403	
Скид води, тис.м ³	56486	5501	50985
Затрати електроенергії, кВт	6014958	107956	542877
Балансова вартість, тис. грн	зрошувальна мережа	7602540	6187417
	дренажно-скидна мережа	21804	17911
Коефіцієнт корисної дії	0,8		
Коефіцієнт земельного використання	0,81		

В основному система складалась з карт краснодарського типу із чеками невеликої площі (1,5-2,0 га). В 1978-1979 рр. на КРЗС була проведена реконструкція, в результаті якої були частково враховані результати раніше проведених досліджень та виконані наступні роботи: облицьовано частину господарських розподільчих каналів, вздовж яких влаштовано незатоплюваний

відсічний дренаж, влаштовано водонепроникні замки та екрани вздовж олремих картових дрен-скидів, а також проведено поглиблення картових дрен-скидів до глибини 1,4-1,7 м. Окрім того, в ході цієї реконструкції, частину ККТ було переобладнано в карти-чеки з дренажем (КЧД) на системі каналу Р-2 та на частині системи «Госфонд».

Лісковська рисова система (ЛРЗС) площею близько 4 тис. га була побудована в 1972 р., а в 1979 р. ній проводилась реконструкція, яка полягала у влаштуванні понад 30 км «замків» з водонепроникних матеріалів вздовж картових та господарських скидів, що проходили по території стариць для недопущення опливання відкосів цих каналів. Крім того були очищені та поглиблені картові дрени-скиди та влаштовані для покращення дренажності додаткові дрени поперек карт з великими міждреннями.

За хімізмом засолення ґрунти ЛРЗС відносяться в своїй більшості до хлоридно-сульфатного типу, змінюючись на окремих ділянках на сульфатно-хлоридний тип. За категорією засолення ґрунти ЛРЗС відносяться в більшості своїй до солончакових.

Кислицькі РЗС № 2-3 (КиРЗС) розміщені на території Кислицьких плавнів в Ізмаїльському районі Одеської області, їх загальна площа складає 2,8 тис. га.

Ґрунти на них до глибини 2 м представлені в основному супісками та частково легкими суглинками. На глибині 2-5 м залягають пілуваті піски, які підстилаються середніми та важкими суглинками потужністю 10-12 м. На глибині 30-40 м знаходяться понтичні глини, які є регіональним водоупором. Верхні горизонти ґрунту слабо засолені. Ґрунтові води залягають на глибині 0,5-2,0 м і мають невелику мінералізацію 0,5-2,0 г/л.

Основу КиРЗС складають карти Краснодарського типу та карти-чеки з дренажем.

За результатами досліджень тривале вирощування культури рису призвело до зменшення площі засолених ґрунтів в верхньому шарі ґрунту. В другому метровому шарі площа засолених ґрунтів збільшилась і відбулось це за рахунок збільшення площ слабозасолених ґрунтів. За хімізмом засолення ґрунти КиРЗС

відносяться до хлоридно-сульфатного, а іноді до сульфатного типів. За категорією засолення вони відносяться до солончакових, але місцями зустрічаються ґрунти з глибокосолончаковою категорією.

Так, на підставі отриманих результатів досліджень можна стверджувати, що на ПРЗС мають місце процеси засолення зрошуваних земель, які пов'язані з різними режимоутворюючими факторами. Зменшення площ засолених ґрунтів в метровому шарі пояснюється їх вимиванням в процесі інтенсивних поливів. За хімізмом засолення ґрунти рисових систем відрізняються строкатістю. Поширені сульфатно-хлоридні, хлоридно-сульфатні, содово-хлоридні, содово-сульфатні типи засолених ґрунтів. В більшості випадків засолення ґрунтів обумовлено не загальним вмістом солей, а наявністю токсичних іонів SO_4 і Cl в ґрунтового розчині.

Широкий розвиток вихідного засолення ґрунтів, висока мінералізація ґрунтових вод, слабка природна дренаваність території обумовлюють той факт, що РЗС є для даних умов оптимальним рішенням використання даних земель.

2.3.1. Конструктивні особливості Придунайських РЗС

Сучасна РЗС представляє собою складний комплекс взаємопов'язаних єдиним технологічним процесом водоподаючих, водовідвідних, регулюючих й інших елементів у комплексі з рисовими полями, на яких вирощуються провідна культура затоплюваного рису та супутні суходольні сільськогосподарські культури.

До водоподаючих елементів відносять головний водозабір (включаючи насосну станцію при машинному водопідйомі), магістральний, міжгосподарські, господарські і внутрішньогосподарські розподільні канали. До водовідвідних – дренажно-скидні канали і колектори різних порядків, осушувальну насосну станцію при механічному відкачуванні дренажних і зливових вод, а до регулюючих – картові зрошувачі (зрошувачі-скиди), дренажно-скидні канали, поливні карти, чеки і чекові валики, внутрішньокартовий дренаж.

Склад і конструкцію рисових систем Придунав'я визначали різні фактори,

зокрема те, що всі вони розміщені на територіях зі складними гідрогеологічними та ґрунтоутворюючими умовами, що характеризуються близьким заляганням різного ступеня концентрації мінералізованих слабівдтічних ґрунтових вод. Це вже само по собі передбачає наявність у конструкції рисових систем потужної дренажної мережі, яка суміщає також функції скидної і називається дренажно-скидною. Крім того, як за умовами розміщення так і можливого функціонування вони мають певні конструктивні особливості.

Основним елементом будь-якої інженерної рисової системи є рисова поливна карта. Від того, наскільки вдало обрана конструкція карти і підібрані її параметри, залежить те, як успішно вона буде виконувати свої функції, що полягають у створенні на карті оптимального сольового і водно-повітряного режиму для рису і супутніх йому культур, а вони, в свою чергу, визначають його врожайність. Крім того, від конструктивних особливостей поливної карти і її основних параметрів залежить продуктивність на ній сільськогосподарської техніки при виконанні різних агротехнічних операцій, продуктивність праці поливальників, раціональне використання поливної води.

За конструкцією в Одеській області побудовані здебільшого відкриті зрошувальні системи з картами ККТ та картами-чеками широкого фронту затоплення і скиду води, а по окремих проектах мають місце деякі інші типи. Карта ККТ є найбільш розповсюдженим типом карти на рисових системах країни.

Для ККТ характерним є те, що наскрізний картовий зрошувач улаштовується вздовж карти, має ухил і виконаний здебільшого у повному насипу. Вздовж другої довгої сторони карти влаштовується картовий дренажно-скидний канал у виїмці глибиною 1,5-1,7 м (рис. 2.6).

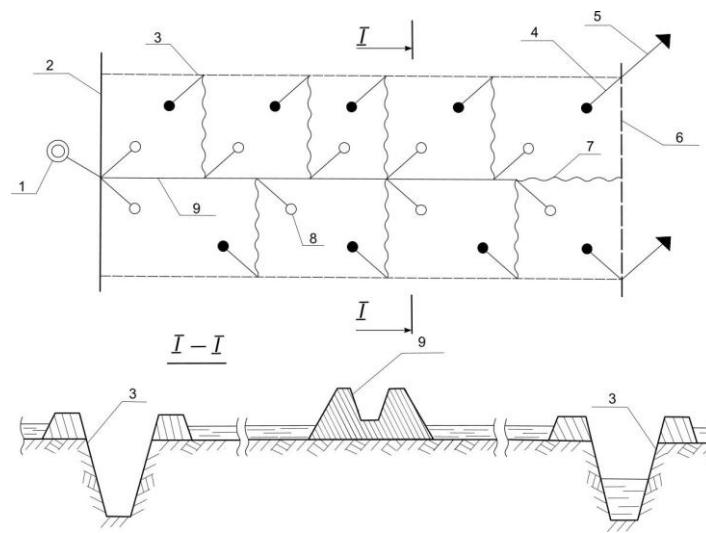


Рис. 2.6. Схема поливної карти Краснодарського типу (ККТ):

- 1 – водовипуск із розподільного зрошувального каналу у картовий зрошувач;
 2 – розподільний зрошувальний канал; 3 – картовий дренажно-скидний канал;
 4 – водовипуск із чека у скид; 5 – водовипуск із картового дренажно-скидного каналу у ділянковий скид; 6 – ділянковий скид; 7 – чековий валик; 8 – водовипуск із картового зрошувача у чек; 9 – картовий зрошувач

Така конструкція карти забезпечує незалежну подачу і скид води стосовно кожного окремо взятого чеку. На карті такого типу функціональною головною одиницею є чек. Ширина карти коливається від 100 до 200 м, довжина 400-1000 м, площа чека складає 1,5-4 га. Через відсутність власного досвіду більшість рисових систем України і були побудовані за цією схемою з одностороннім та двостороннім командуванням переважно у відкритих зрошувальних і дренажно-скидних каналах, відстань між якими залежно від ґрунтово-гідрогеологічних умов складала 200-400 м при глибині картових дрен 1,5-1,7 м, яка з часом через опливання укосів і нерегулярні ремонти зменшилась до 1,2-1,3 м.

Одним з основних питань, що вивчались протягом усього часу існування ККТ є визначення оптимальних міждренних відстаней і глибини дренажно-скидної мережі. Вони повинні забезпечити виконання наступних функцій: дотримання оптимальних термінів і норм осушення карти перед збиранням врожаю і в міжвегетаційний період; забезпечення оптимальних глибин залягання РГВ при вирощуванні супутніх культур рисової сівозміни; підтримання рівномірного як по площі, так і по глибині розсолення ґрунтів та

недопущення їх вторинного засолення.

Оптимальними, як з меліоративної, так і з економічної точки зору, на думку Д. Г. Шапошникова, І. С. Жовтонога, З. Ф. Тулякової та ін., на засолених ґрунтах важкого гранулометричного складу є міждренні відстані в межах 150-200 м [92; 262; 303]. Для ґрунтів легкого гранулометричного складу залежно від ступеня їх засолення, глибини і мінералізації ґрунтових вод, величину міждренної відстані рекомендується приймати в досить широких межах – від 200 до 500 м.

У роботах Д.Г. Шапошнікова, І.С. Жовтонога, М.О. Андрюшина, В.О. Попова й ін. рекомендується для забезпечення аерації кореневмісного шару ґрунтів підтримувати РГВ на рисових картах на глибині 1,5-2,0 м, що можливо при глибині картових дрен 1,8-3,0 м [17; 92; 201; 303].

Одним з різновидів карт, основу яких складає ККТ є карти з комбінованою зрошувальною мережею. Для таких карт характерно, що розподільчі канали, які підводять воду до картових зрошувачів виконані у вигляді закритих трубопроводів з напірних залізобетонних труб, а картові зрошувачі і дрени скиди влаштовані відкритого типу. Позитивні сторони такої конструкції: не спостерігається засолення і заболочування ґрунтів вздовж розподільчого каналу; створюються умови для забезпечення повної автоматизації водорозподілу у вегетаційний період; скорочуються непродуктивні втрати води; коефіцієнт земельного використання збільшується на 2-4%; вартість будівництва в цьому випадку на 3% нижча ніж у варіанті з розподільчим каналом відкритого типу. Приклад такого конструктивного рішення – КиРЗС і Кілійсько-Маякська РЗС загальна площа яких 4,5 тис. га

На КиРЗС з 1973 р. на дослідній ділянці площею 70 га експлуатуються карти ККТ з закритою зрошувальною і дренажно-скидною мережею. На картах такої конструкції коефіцієнт земельного використання вище на 15%, ніж на картах з відкритою водорегулюючою мережею таких же параметрів, крім того, на них з'являється можливість здійснити повну автоматизацію управління водним режимом. Недолік – більш висока вартість будівництва, замулення труб і їх обмежена пропускна здатність.

Карти краснодарського типу, як відзначалося вище, мають цілий ряд недоліків, усунути які можна лише докорінно змінивши їхню конструкцію. Прикладом принципово нового типу рисової карти є карта-чек широкого фронту затоплення і скиду води (КЧД), яка запропонована на початку 60-х років минулого століття В. Б. Зайцевим [101] на підставі положень, що викладені Б. А. Шумаковим [308].

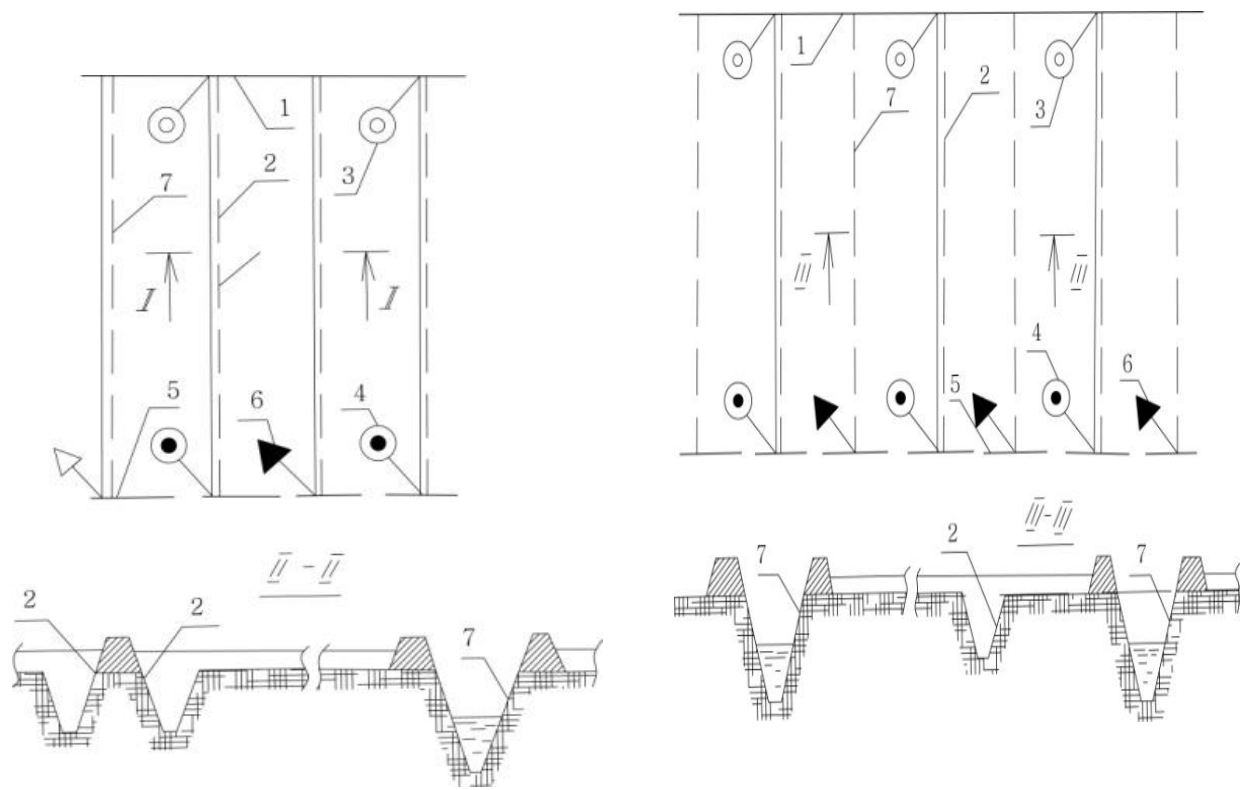
Основна відмінність КЧД від ККТ і її різних модифікацій полягає в тому, що функції подачі і відводу води об'єднані в одному каналі – зрошувачі-скиді, виконаному в неглибокій (1,0-1,2 м) виїмці. При цьому карта планується під одну відмітку і на окремі чеки не розділяється, представляючи собою єдину карту-чек.

КЧД розміщують довгою стороною вздовж горизонталей з метою зменшення об'єму планувальних робіт. У залежності від природних умов ширина карти знаходиться в межах 75-200 м, довжина – 400-1200 м, а площа – 10-20 га.

Принципова схема КЧД приведена на рис. 2.7.

КЧД позбавлена недоліків, пов'язаних з терасністю та як наслідок, виклинуванням ґрунтових вод вздовж картового зрошувача, які характерні для ККТ.

Затоплення КЧД та скидання води з неї відбувається швидше ніж на ККТ тому, що здійснюється не через 5-10 водовипусків, а по суцільному фронту довжиною 400-1200 м. У такому випадку на 10-20% підвищується продуктивність роботи сільськогосподарських машин із збільшенням довжини гону з 150-200 м до 400-1200 м та у 2-3 рази підвищується продуктивність праці поливальників за рахунок зменшення в 5-7 разів кількості обслуговуваних ними гідротехнічних споруд й відсутності потреби в обкошуванні чекових валиків і дамб картових зрошувачів.



а)

б)

Рис. 2.7. Схеми карт-чеків різних модифікацій (КЧД): а – з дренажем, зрошувач-скид одностороннього командування; б – з дренажем, зрошувач-скид двостороннього командування: 1 – розподільчий канал; 2 – зрошувач-скид; 3 – водовипуск в зрошувач-скид; 4 – водовипуск зі зрошувача-скиду; 5 – ділянковий скидний канал; 6 – водовипуск з картової дрени; 7 – картова дрена

Тривала експлуатація КЧД у різноманітних ґрунтово-геологічних умовах виявила й істотні недоліки такої конструкції. Як відзначали В.Б. Зайцев, Є.Б. Величко, О.Я. Олійник, І.С. Жовтоног [47; 101; 92; 190]. й ін. на картах-чеках після початкового затоплення відбувається змикання поверхневих і ґрунтових вод, формування застійного режиму ґрунтових вод, що приводить до інтенсифікації процесів утворення токсичних для рису сполук, вторинного засолення земель.

Неглибокі (до 1,2 м) зрошувачі-скиди при відсутності природної дренажності не в змозі забезпечити зниження РГВ у міжвегетаційний період до оптимальної глибини, яка як відзначалося вище, складає не менш 1,5 м.

Будівництво карт-чеків на територіях зі значними ухилами також не обґрунтовано, оскільки потребує засипання понижень, на яких ґрунти в процесі експлуатації карт просідають, що призводить до істотного погіршення

меліоративних умов. Тому, незважаючи на цілий ряд позитивних сторін КЧД рекомендується будувати лише на незасолених ґрунтах важкого гранулометричного складу і в умовах доброї природної дренажності і, практично, безпохильного рельєфу.

2.3.2. Характеристика сучасного технічного стану Придунайських РЗС

Зрошувальна мережа. Зрошувальна мережа Придунайських РЗС побудована здебільшого у вигляді відкритих каналів і в конструктивному плані включає розподільні каналами, картові зрошувачі, зрошувачі-скиди та ряд гідротехнічних споруд. На протязі останніх років, зокрема у 2008-2016 рр., зрошувальна мережа ПРЗС, в тому числі Лісковської і Кілійської систем функціонувала у більш-менш задовільному режимі, хоча технічний стан зрошувальних каналів за 50 років експлуатації значно погіршився.

Обстеження стану плит облицювання показало, що найбільш поширеними пошкодженнями останніх є утворення активних і пасивних тріщин, відколи і раковини, руйнування стиків плит. Значні руйнування залізобетонних покриттів зафіксовані в аванкамерах зрошувальних каналів, вихідних частинах підпірних споруд. Загальний стан русла каналів, які облицьовані залізобетонними плитами є незадовільним через заростання їх деревовидною та жорсткою трав'яною рослинністю (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Загальний вигляд русла каналу 3 МК ЛРЗС

Як наслідок, шорсткість русел цих каналів збільшується за нашими підрахунками в 1,2-1,5 рази, що є головною причиною зменшення їх пропускної спроможності. Водночас, технічний стан частини каналу Р-2 КРЗС залишається задовільним (рис. 2.9), що пояснюється порівняно недавньою реконструкцією і кращим доглядом.



Рис. 2.9. Загальний вид ділянки каналу Р-2 КРЗС (після реконструкції у 1979 р.)

Результати зйомки поперечних перерізів, що проведені в 2010-2012 рр. показали, що русла розподільних каналів в земляному руслі, зокрема ЛРЗС, стійкі у відношенні розмиву та замулення і після 40 років експлуатації практично відповідають проектним. Тільки на кінцевих ділянках розподільних каналів зафіксовано деяке замулення русла (рис. 2.10).

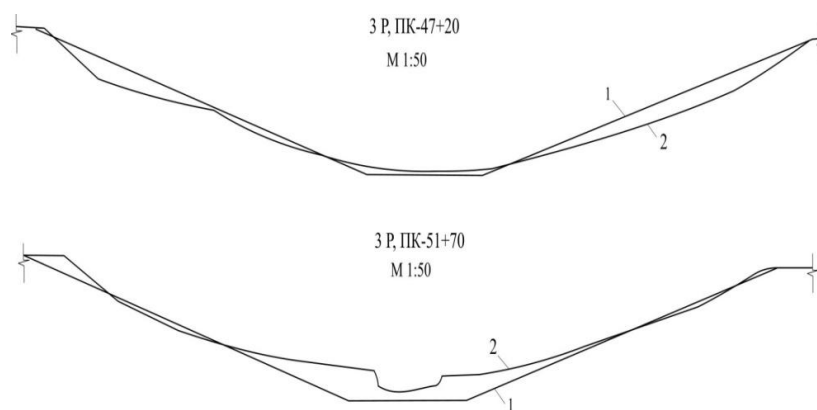


Рис. 2.10. Поперечні перерізи розподільних зрошувальних каналів ЛРЗС за даними зйомки 2010-2012 рр.: 1 – проектний переріз; 2 – фактичний переріз

Деформації русел картових зрошувачів відмічені в головній їх частині на довжині біля 60-70 м від водовипуску. Вони проявляються в розмиві і оповзанні укосів та відкладанні ґрунтової маси на дні каналу. Далі по довжині форма поперечних перерізів картових зрошувачів зберігається близькою до проектної. Відмічено лише незначне замулення дна. Близькою до проектної збереглася і форма поперечного перерізу зрошувачів-скидів КРЗС.

Дренажно-скидна мережа. Загальна довжина колекторно-дренажної і скидної мережі на ПРЗС складає 770,9 км, в тому числі: міжгосподарська мережа – 71,0 км, і внутрішньогосподарська – 699,9 км.

Залежно від гідрогеологічних умов і геологічної будови території канали дренажно-скидної мережі були запроектовані і побудовані трапецевидної форми глибиною від 1,5 до 3,0 м із закладанням укосів від 1,0 до 3,5.

Характеристика дренажно-колекторної мережі КРЗС наведена в табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Характеристика дренажно-колекторної мережі ПРЗС

Рисова система	Площа, га	Міждренна відстань, м	Протяжність дренажно-колекторної мережі, км	Середня глибина дренажних каналів, м
			Міжгосподарської / Внутрішньогосподарської	Міжгосподарських / Внутрішньогосподарських
Кілійська РЗС	3450	200	33,05	3,0
		250		
		300		
		400		
		500		
		190,53	1,5	
Лісковська РЗС	3997	500	-	-
		650		
		900		

В процесі тривалої експлуатації русла дренажно-скидних каналів під дією численних факторів значно змінились, тобто деформувались.

Слід відмітити, що основними причинами деформації русел дренажно-скидних каналів є кліматичні (атмосферні опади, промерзання ґрунту),

геометричні розміри, включаючи крутизну укосів, коливання рівнів води в каналах, що обумовлені невпорядкованим режимом роботи скидних насосних станцій, коливанням стоку води з чеків, фільтрацією, суфозією, дією хвильових процесів, тощо.

Обстеженнями технічного стану також встановлено, що на більшості дренажно-скидних каналів має місце переформування укосів, в результаті чого змінились геометричні розміри каналів (глибина, ширина по верху і по низу). Форма перерізів каналів змінилась від вихідної трапецеїдальної до форми природного русла – параболічної. При цьому змінилися такі характеристики як площа перерізу, периметр, гідравлічний радіус.

В свою чергу, ці зміни впливають на гідравлічні процеси і пропускну здатність каналів. Ступінь і розміри деформацій русел каналів залежать від гранулометричного складу підстилаючих ґрунтів (рис. 2.11, 2.12).

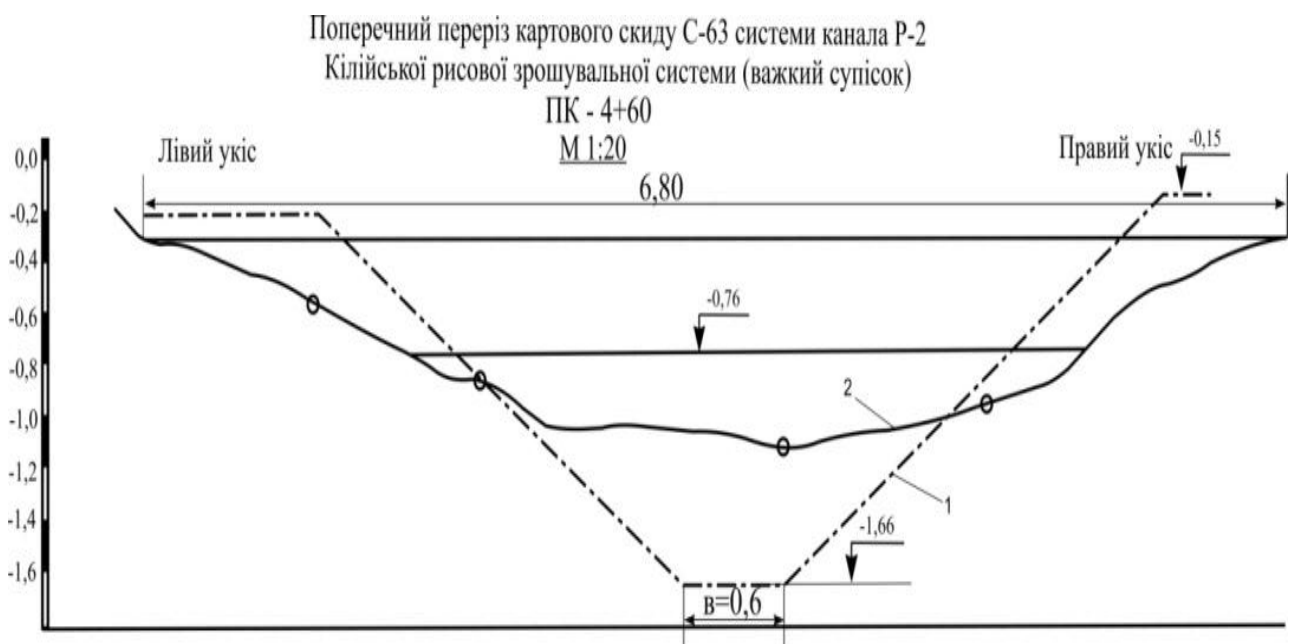


Рис. 2.11. Поперечні перерізи дренажно-скидних каналів

КРЗС на ділянках з підстилаючими легкими ґрунтами за даними зйомки 2012 року:

1 – проектний переріз; 2 – фактичний переріз

Поперечний переріз картового скиду С-2 системи каналу Р-2
Кілійської рисової зрошувальної системи (середній суглинок)

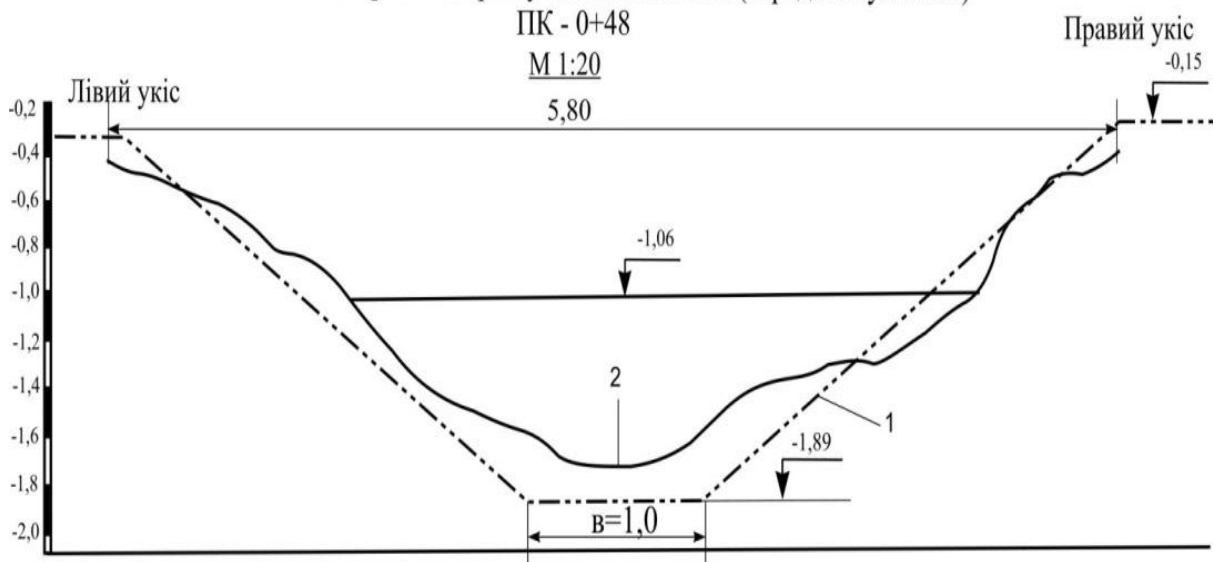


Рис. 2.12. Поперечні перерізи дренажно-скидних каналів КРЗС на ділянках з підстилаючими ґрунтами середнього гранулометричного складу за даними зйомки 2012 року: 1 – проектний переріз; 2 – фактичний переріз

В процесі обстеження технічного стану дренажно-скидних каналів ЛРЗС-3 встановлено, що довжина деформованих ділянок русел коливається в межах від 4 до 5% від загальної довжини для господарських і головних колекторів-скидів і до 15-25% – для картових дренажно-скидних каналів. При цьому, на окремих ділянках каналів фактичні коефіцієнти закладання укосів досягають 1:5, 1:7, а глибина зменшилась на 0,5-0,7 м.

За даними інвентаризації, проведеної Придунайським управлінням зрошувальних систем при загальній довжині дренажно-скидної мережі на ЛРЗС 217,2 км потребують капітального ремонту і відновлення 54,4 км, що становить майже 25%.

Основними причинами деформації русел є сповзання відкосів, опливання в зоні дії фільтраційного потоку, зосереджена суфозія, розмив поверхневим стоком, руйнування в місцях улаштування гідротехнічних споруд.

Такий стан русел картових дренажно-скидних каналів обмежує або унеможливорює оперативне управління водним режимом на рисових полях.

На нашу думку, зменшення глибини дренажно-скидних каналів через опливання відкосів і фільтраційні деформації до 1,0-1,3 м, що має місце на 30% території рисових систем, зокрема КРЗС, робить неможливим виконання цими

каналами дренажних функцій. Такі канали не можуть якісно впливати на водно-сольовий режим ґрунтів при вирощуванні рису, тим паче у періоди вирощування супутніх культур, коли потрібно забезпечити критичну глибину рівня ґрунтових вод, яка для умов ПРЗС складає 1,6-1,8 м.

Існуючий дренаж не в змозі виконати це завдання, оскільки ґрунтові води під рисовою системою впродовж поливного сезону знаходяться у постійному підпорі з боку зрошувальної мережі і їх рух підпорядковується закономірностям пружного режиму фільтрації. Дренаж в цих умовах має забезпечити достатнє їх розвантаження для зниження напівності і створення достатніх швидкостей фільтрації на всій площі поливної карти, створюючи належні умови для аерації ґрунтів і видалення продуктів болотоутворення. Потужність області розвантаження ґрунтових вод, що створюється дренажно-скидними каналами принаймні має бути рівною або більшою за величину потенційних фільтраційних втрат води із зрошувальних каналів.

Натомість, за даними наших розрахунків, в яких за основу взяті результати польових визначень величини дренажного стоку [218], таке співвідношення для КРЗС складає орієнтовно 1:5, тобто об'єм ґрунтових вод, який може прийняти дренажна мережа за поливний період при існуючій конструкції і параметрах, складає 1130-2950 м³/га, тоді як об'єм потенційно можливих фільтраційних втрат із зрошувальної мережі у роки різної вологозабезпеченості досягає 8-12 тис.м³/га.

Таким чином, забезпечити формування сприятливого водно-сольового режиму ґрунтів зони аерації при вирощуванні рису можна за рахунок зменшення фільтрації із зрошувальної мережі або збільшення потужності зони розвантаження.

Все це підводить до висновку, що для забезпечення утримання зрошуваних земель рисових систем у належному еколого-меліоративному стані (ЕМС) потрібно змінювати конструкцію і параметри дренажу рисових систем.

Гідротехнічні споруди. На рисових системах дельти Дунаю, а саме на каналах зрошувальної і дренажно-скидної мереж, функціонує 7094, у т.ч. на міжгосподарській мережі – 199, та 6895 споруд – на внутрігосподарській

мережі.

За функціональним призначенням до споруд відносяться мости, перегороджувальні і підпірні споруди, вододільні вузли на зрошувальних каналах, водовипуски з розподільних каналів в картові зрошувачі, водовипуски з картових зрошувачів у чеки, водовипуски з чеків у картові скиди, водовипуски з картових скидів у господарські і головні дренажно-скидні канали.

За результатами досліджень, проведених науковою експедицією НУВГП у 2009-2014 рр. на КРЗС і ЛРЗС, встановлено, що впродовж тривалої експлуатації, при відсутності належного догляду більшість гідротехнічних споруд перестали достатньою мірою виконувати свої функції. Це в основному водовипуски з розподільних каналів у картові зрошувачі та з картових зрошувачів у чеки. Головні несправності – це підмиті оголовки, відсутність запірних тарілок і шандор, що робить практично неможливим управління необхідним водорегулюванням на рисових чеках.

У більш-менш задовільному стані знаходяться водорозподільні вузли, підпірні і перегороджувальні споруди на магістральних і розподільних каналах (рис. 2.13).

За даними інвентаризації лише на Лісковській РЗС № 3 потребують капітального ремонту і відновлення більше 320 споруд на зрошувальній і 300 на дренажно-скидній мережах.

Поливні карти. Одним з показників технічної досконалості рисових систем, які безпосередньо впливають на формування водно-повітряного, сольового і промивного режиму ґрунтів, є планування поверхні чеків і карт-чеків.



Рис. 2.13. Вододільний вузол на каналі 1МК та водовипуск в картовий зрошувач Лісковської РЗС

У відповідності до існуючих нормативів, чеки повинні бути сплановані з точністю ± 5 см. Низька якість планування ($\pm 7-10$ см) обумовлює утворення на поверхні понижених місць, які при початковому затопленні стають додатковими джерелами інфільтраційного живлення ґрунтових вод. При близькому вихідному їх заляганні і високій мінералізації активний підйом ґрунтових вод до поверхні, що спричинений інфільтраційним живленням, може призвести до різкого збільшення вмісту солей у верхніх шарах ґрунту або до, так званого, іригаційного засолення.

Як показали дослідження, на протязі останніх 11-15 років на чеках ККТ ПРЗС не проводилось капітальне планування, а здійснювалось лише попереднє планування перед посівом рису. У зв'язку з цим якість планування чеків ККТ суттєво погіршилась. Інструментальна зйомка чеків показала, що переважна їх більшість не спланована і характеризується відхиленням відміток поверхні від середнього значення більше ніж на ± 10 см. Для більшості чеків ККТ характерна

типова закономірність: в результаті існуючої системи обробітку ґрунту в центральній частині чеку формується пониження (~50% площі чеку), а з країв – підвищення поверхні (рис. 2.14). Перепад відміток між центральною частиною та ділянками, що прилягають до чекових валиків, складає від 14 до 20 см.

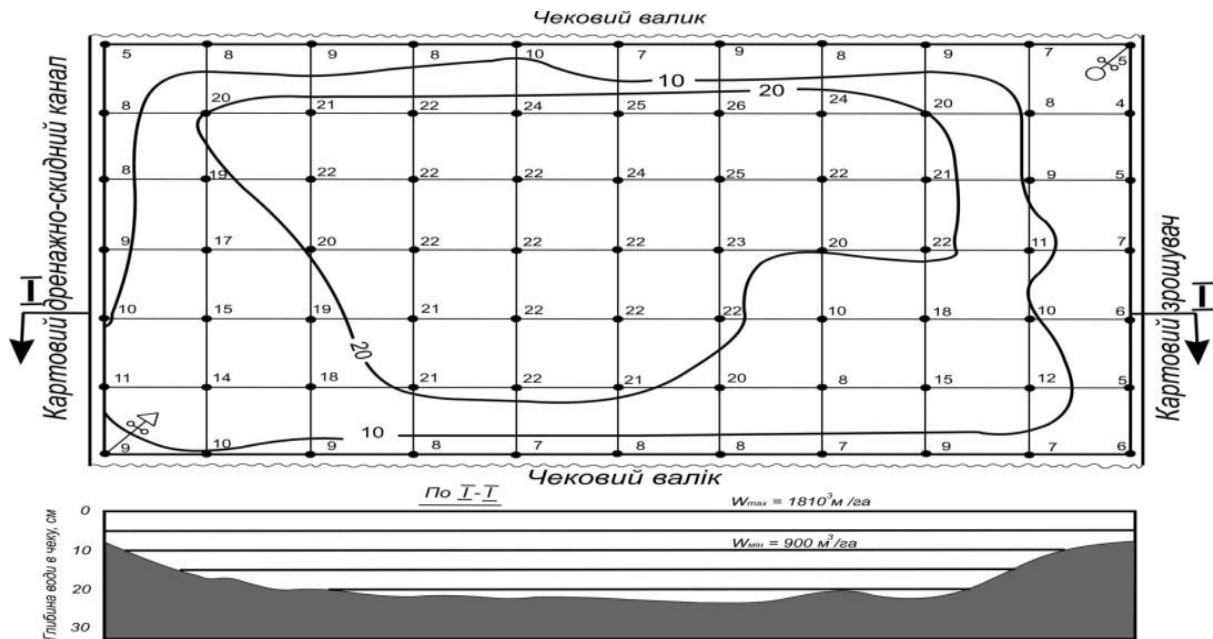


Рис. 2.14. Характерна якість планування рисових чеків ККТ ПРЗС

Недоліки в плануванні поверхні чеків приводять, крім додаткового джерела інфільтраційного живлення ґрунтових вод у період початкового затоплення, до цілого ряду негативних наслідків, що в кінцевому результаті супроводжується зниження врожайності рису.

Встановлені недоліки у плануванні поверхні рисових полів на більшості рисових систем дельти Дунаю, зокрема і на Кілійській РЗС, є системними і потребують обов'язкового виправлення шляхом проведення експлуатаційних планувань не зважаючи на додаткові затрати, пов'язані з виконанням таких робіт.

Так, умови, що склалися на ПРЗС та враховуючи їх сучасний, в цілому незадовільний технічний стан, визначають за необхідне розробку комплексу конструктивно-технологічних заходів для їх реконструкції, направлених на підвищення загальної технологічної, екологічної, економічної й технічної ефективності їх функціонування та забезпечення задовільного ЕМС зрошуваних земель з урахуванням змін погодно-кліматичних факторів.

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ТА НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО СИСТЕМНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РИСОВИХ СИСТЕМАХ

3.1. Системний підхід як методологічна основа постановки і розв'язування задач оптимізації з прийняття управлінських рішень щодо водо- та енергокористування на РЗС

Обгрунтовані технологічні рішення, а саме соціально-економічно й екологічно допустимі управлінські рішення щодо режимів роботи гідромеліоративних систем, інших водогосподарських об'єктів можуть бути досягнуті лише через послідовне застосування як базової методології системного підходу і системного аналізу, так і його математичного апарату, що орієнтовані на широке використання ЕОМ [118].

Системний підхід і системний аналіз все ще є відносно новим для галузей меліорації, водного і сільського господарства видом досліджень, який стрімко розвивається і впроваджується в практику. Він представляє собою відображення однієї із сторін сучасного науково-технічного прогресу, що характеризується в числі інших визначальних рис, створенням і функціонуванням великих і складних природно-технічних систем, які мають цілісний міждисциплінарний характер.

У свій час вагомий внесок у розвиток, пропагування і поширення методології системного підходу до розв'язування складних проблем і задач загалом, та у споріднених галузях меліорації, водного і сільського господарства зокрема, внесли М. Г. Андерсон, Т. П. Берт, А. Бісвас, Ван Гіг Дж., О. Л. Великанов, Е. Віра, Є. П. Галямин, В. А. Гурин, Є. Є. Жуковський, Б. П. Карук, Н. Н. Моїсеєв, С. В. Нерпин, В. П. Остапчик, В. А. Платонов, В. Г. Пряжинська, Л. М. Рекс, Ю. І. Черняк, А. Ф. Чудновський, В. В. Шабанов, Б. Г. Штепа, Л. Ф. Кожушко, А. М. Рокочинський і багато ін.

Оскільки РЗС – надзвичайно складний та специфічний об'єкт досліджень з огляду на умови їх створення та функціонування, порівняно з іншими традиційними меліоративними, зокрема зрошувальними системами, то за методологічну основу розв'язання означеної проблеми традиційно

розглядалось, а тому прийнято нами системний підхід та системний аналіз з його невід'ємними складовими – методом оптимізації та моделювання складних об'єктів і систем.

Моделювання процесів у меліоративному виробництві, зокрема рисівництві, потребує адекватного опису РЗС як складної природно-технічної (а за визначенням інших авторів як «природно-господарської», або «природно-економічної», або «метеоролого-економічної» системи), головні особливості якої пов'язані з необхідністю врахування впливу значної кількості різних факторів.

Тому, виходячи з притаманних таким системам характерних як екологічних, так і економічних ознак, пропонуємо розглядати РЗС як *складну природно-технічну еколого-економічну систему (СПТЕЕС)*.

За визначенням та в розвиток Рокочинського А. М. [229], головна роль РЗС полягає у тому, щоб завдяки управлінню ПМР отримувати економічно й екологічно виправдану кількість вирощуваної сільськогосподарської продукції як в умовах поточного року, так і в багаторічному перерізі з урахуванням, перш за все, природних (кліматичних) умов місцевості, які відіграють при цьому визначальну роль.

Оскільки ПМР реалізується у відповідних природно-кліматичних і ґрунтово-меліоративних умовах, що й створює відповідний економічний та екологічний ефект, тому використання прогнозно-оптимізаційних розрахунків дає змогу підійти до обґрунтування й вибору оптимальних управлінських рішень щодо функціонування елементів РЗС з урахуванням кліматичних, агротехнічних, ґрунтово-меліоративних й інших особливостей об'єкта.

Тому системний підхід і математичне моделювання дають змогу досить об'єктивно і з найменшим господарським ризиком приймати стратегічні, планові й оперативні управлінські рішення, планувати технологічні операції в умовах невизначеності, що повною мірою притаманне таким об'єктам як РЗС.

Необхідність і доцільність застосування саме такого методологічного підходу ґрунтується також на результатах досліджень А. М. Рокочинського [229], щодо оптимізації проектних технічних та технологічних рішень з

водорегулювання на осушуваних землях.

Оскільки, до цього часу в теорії та практиці створення й функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів методи та моделі оптимізації розглядались та використовувались переважно для обґрунтування локальних одиничних рішень щодо окремих елементів системи або режимів чи технологій водорегулювання на них, зокрема оптимальних параметрів дренажу, магістральних каналів, режимів зрошення тощо [64; 65; 210; 194; 138; 153], виникає необхідність подальшого розвитку та розширення застосування системного підходу до розв'язання складних комплексних, різнорідних та різнорівневих задач у їх взаємозв'язку для системи загалом.

3.2. Обґрунтування необхідності та наукові підходи до системної оптимізації водо- та енергокористування на РЗС як складних природно-техногенних об'єктах

Наявність та виникнення складних комплексних еколого-економічних проблем в зрошуваному землеробстві, а також і в рисівництві, вимагає за необхідне підтримання сприятливого ПМР, оскільки саме він визначає ефект від реалізації гідромеліоративних заходів.

За минулий період розвитку при обґрунтуванні й розміщенні меліорацій головна увага приділялась, здебільшого, лише питанню безпосереднього підвищення врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур. Однак потрібен більш глибокий й різнобічний підхід, оскільки разом із зростанням врожайності культур внаслідок меліорації земель в різних природних зонах від осушення та зрошення мали місце такі негативні екологічні наслідки: посилення вимивання поживних речовин з ґрунту через інтенсифікацію їх промивного водного режиму; посилення мінералізації ґрунту; зміна умов перебігу ґрунтоутворюючих процесів; забруднення поверхневих водойм і річок; зміна гідрологічної й гідрогеологічної ситуації на прилеглих територіях тощо.

Тому, меліорація і землеробство, в тому числі і на зрошуваних землях рисових систем, повинні бути спрямовані не лише на збільшення обсягів отриманої сільськогосподарської продукції, але й збереження родючості ґрунтів

за умови раціонального використання земельних, водних й інших ресурсів та охорони прилеглих до систем територій.

Підвищення ефективності функціонування РЗС потребує застосування відповідних комплексних та системних підходів до її розв'язання оскільки вони мають низку особливостей, що відрізняють їх від класичних меліоративних об'єктів зони зрошення. Ці особливості зумовлені складними геологічними та гідрогеологічними умовами відведених під їх улаштування територій та наявністю в сівозміні провідної культури затоплюваного рису. Специфіка даної культури полягає в особливостях технології вирощування, а саме в потребі підтримання шару води на полі протягом вегетаційного періоду. Тому РЗС представляє собою складний комплекс взаємопов'язаних єдиним технологічним процесом водоподаючих, водовідвідних, регулюючих та інших елементів у комплексі з рисовими полями, на яких вирощуються провідна культура затоплюваного рису та супутні суходільні культури рисової сівозміни. Результатом функціонування рисових систем повинно бути отримання високих стійких економічно доцільних та екологічно прийнятних врожаїв вирощуваних культур рисової сівозміни [214].

Недосягнення проектної ефективності меліорацій визначається нестачею наших знань про результати взаємодії меліоративної діяльності людини з природними процесами та їх урахування при проектуванні.

Тому, разом з необхідністю підвищення економічної ефективності РЗС гостро стоїть проблема обґрунтованості меліоративних заходів за екологічними вимогами. Розв'язання такої складної міждисциплінарної проблеми для РЗС можливе лише завдяки здійсненню на практиці прийнятої сучасної концепції розвитку зрошуваних меліорацій загалом, яка ґрунтується на оптимізації водо- та енергокористування на них, а також технологічних та конструктивних рішень з їхнього забезпечення, що впливає з робіт І. П. Айдарова, О. І. Голованова, Ю. М. Никольського, В. Є. Алексеєвського, П. І. Коваленка, М. І. Ромащенко, О. В. Скрипника, Б. Б. Шумакова, А. В. Яцика, та ін. [5; 66; 183; 9; 129; 240; 309; 315].

Так, у проектах будівництва й реконструкції РЗС повинен враховуватись

безпосередній вплив від проведення зрошуваних меліорації на всі аспекти їх функціонування.

А тому це потребує розробки нових підходів та прогресивних методів обґрунтування параметрів, насамперед колекторно-дренажної мережі, як визначального регулюючого елементу рисової системи. Як уже згадувалось, основним недоліком існуючих методів визначення параметрів дренажу є те, що вони не враховують рівень, напрямок та структуру сільськогосподарського використання і родючість земель рисових систем [214; 229; 297].

З цієї точки зору в сучасних умовах найбільш перспективним вважається економіко-математичний метод визначення параметрів меліоративних об'єктів та їх складових технічних елементів, що поєднує в собі переваги гідромеханічного та емпіричного методів і ґрунтується на реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків. Розробкою такого методу для зони осушувальних меліорацій активно займались К. Т. Хомік, І. С. Рабочев, І. В. Минаєв, Ю. М. Никольский, А. М. Рокочинський, М. О. Лазарчук, В. Г. Муранов та ін. [297; 207; 175; 183; 227; 153].

Головною метою наших досліджень в розвиток [229] стало подальше вдосконалення оптимізаційних методів обґрунтування конструкції та параметрів РЗС, режимних, технологічних рішень як головних чинників регулювання водно-сольового режиму та ґрунтоутворюючих процесів на рисовому полі за множинними змінними природно-агро-меліоративними умовами реального об'єкта.

Критеріями необхідності, ефективності й доцільності проведення меліоративних заходів виступає урожай рису та супутніх культур рисової сівозміни, а також створюваний при цьому екологічний ефект від впливу системи на оточуюче середовище.

Тому, оскільки в складних природно-технічних, еколого-економічних системах чітко простежується структурний зв'язок виду [295; 297] **ефект** ⇔ **режим** ⇔ **технологія** ⇔ **конструкція**, то щодо розглянутої проблеми оптимізації водо- та енергокористування, а відповідно природно-меліоративного режиму із застосуванням принципів системного підходу до її

розв'язання як складної проблеми, вважаємо, що в основу прийняття оптимальних *технологічних* (водоподача, водовідведення, режими зрошення) і *технічних* (конструкція, параметри тощо) *рішень* з водорегулювання на РЗС при їх проектуванні та експлуатації має бути покладене наступне співвідношення у вигляді ієрархічної блочної структури: *(врожай* \Leftrightarrow *екологічний ефект)* \Leftrightarrow *(природно-меліоративний режим)* \Leftrightarrow *(технологія водорегулювання)* \Leftrightarrow *(тип, конструкція, параметри РЗС та їх елементів)*.

Складові такого структурного співвідношення взаємозумовлені й взаємозв'язані між собою і можуть бути представлені такою структурною схемою (рис. 3.1).

Для РЗС ключовим є блок «ПМР», оскільки визначає загальний еколого-економічний ефект, з одного боку, а також технічні і технологічні рішення для його забезпечення – з іншого. При цьому можуть бути розглянуті вже не тільки необхідність проведення заходів з водорегулювання та технічні й природно-господарські можливості, а, зрештою, також загальна еколого-економічна доцільність їх реалізації через оцінку створюваного ними реального ефекту.

Оптимальні параметри ПМР забезпечуються оптимальними параметрами технології водо- та енергокористування та відповідними оптимальними параметрами конструктивних рішень.

Меліоруюча дія технології водорегулювання при вирощуванні затоплюваного рису полягає у підтриманні на них необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови їх використання у якості угідь сільськогосподарського призначення, що забезпечується величиною водоподачі, яка витрачається на створення шару води на полі у відповідності з біологічними особливостями та потребами культури рису та забезпечує опріснення ґрунтів.

Суть промивного водного режиму полягає в зниженні сезонної акумуляції солей в верхніх горизонтах та вимивання їх низхідними токами води в нижні горизонти і в дренажну мережу. Забезпечення необхідного рівня промивності рисового поля як в період створення і підтримання шару води на

ньому, так і в період осушення рисового поля, є необхідною умовою підвищення продуктивності рисосіяння та збереження зрошуваних земель рисових систем у належному ЕМС.

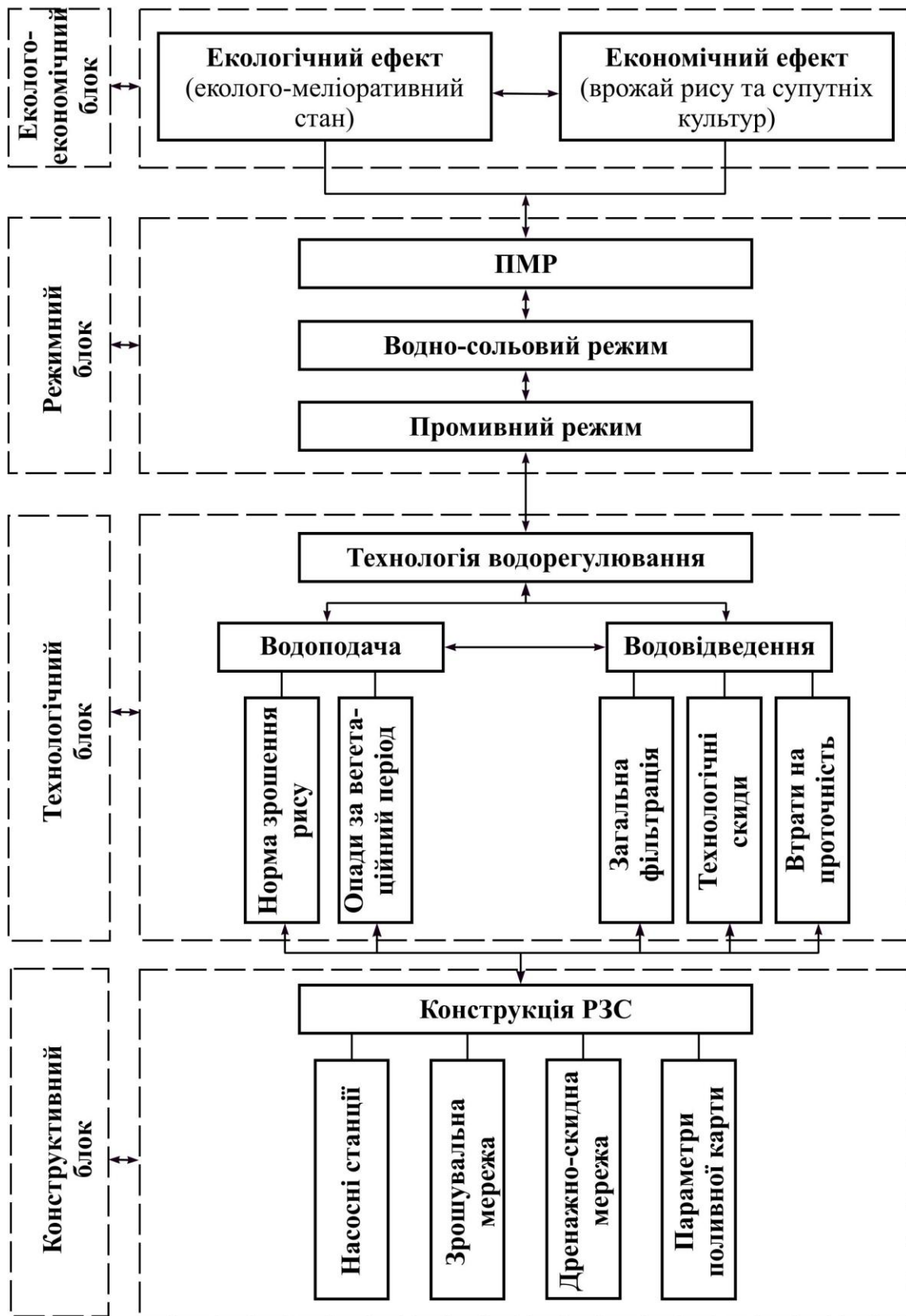


Рис. 3.1. Структурна схема взаємозв'язку основних складових блоків та елементів щодо умов та створюваного ефекту при функціонуванні РЗС

Водночас, інтенсивність промивного водного режиму визначається роботою дренажної мережі, яка є одним з найголовніших елементів інженерної рисової системи, так як забезпечує скид води з рисових полів і регулювання рівня ґрунтових вод у різні періоди вегетації рису і супутніх сільськогосподарських культур, і по суті є гарантом підтримання належного ЕМС земель РЗС.

Так, оптимізація водокористування, та як похідна від нього, енергокористування на РЗС на еколого-економічних засадах базується на функціональному взаємозв'язку технічних і технологічних рішень з водорегулювання, які визначають створюваний ними ефект від їх реалізації.

Прогнозна оцінка загального функціонального стану РЗС залежно від визначаючих його природно-технологічних факторів та прийняття на їх підставі оптимальних рішень з технології водорегулювання в різні етапи створення і роботи системи загалом є необхідною умовою вирішення ряду завдань з підтримання сприятливого водно-повітряного, сольового режимів і загального ПМР РЗС в період росту і розвитку культур, раціонального використання земельних, водних, енергетичних й інших ресурсів в межах системи і на прилеглий до неї території.

Теоретичною основою для створення таких моделей оптимізації має бути формалізація сформульованого концептуального підходу щодо необхідності ув'язки рівня технічної досконалості й вартості меліоративних об'єктів з відповідним рівнем загальної еколого-економічної ефективності від їх функціонування.

В розвиток та на відміну від Рокочинського А.М. [230] формалізація моделі оптимізації ефективності меліоративних заходів на РЗС можна представити наступним чином:

задані параметри ефекту ⇔ оптимальні параметри режиму ⇔ оптимальні параметри технології ⇔ оптимальні параметри конструкції.

Тоді, функціональний зв'язок між його складовими у загальному випадку може бути представлений як системна оптимізаційна, коли послідовно розглядається взаємозв'язок між оптимальними параметрами режиму водокористування, технології водокористування та параметрами конструкції та

її елементів на РЗС для заданого рівня ефективності

$$\hat{y}_i = f_1^*(f_2^*(f_3^*(z_i))), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (3.1)$$

де \hat{y}_i – задана величина загального еколого-економічного ефекту FE_i , який складається з параметрів продуктивності (врожайності) вирощуваних сільськогосподарських культур FY_k , $k = \overline{1, n_k}$; $i = \overline{1, n_i}$ та відповідних параметрів створюваного екологічного ефекту FZ_{ji} , $j = \overline{1, n_j}$; $i = \overline{1, n_i}$ на системі;

f_1^* – функція оптимізації параметрів природно-меліоративного режиму FR_i , $i = \overline{1, n_i}$;

f_2^* – функція оптимізації параметрів технологій водорегулювання FS_i , $i = \overline{1, n_i}$;

f_3^* – функція оптимізації параметрів конструктивних рішень щодо РЗС FK_i , $i = \overline{1, n_i}$ та реалізації відповідних технологій водорегулювання на землях РЗС;

i – сукупність $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ можливих варіантів функціонування РЗС як складної природно-технічної еколого-економічної системи, тобто реалізації відповідних технічних і технологічних рішень з водорегулювання на системі у відповідних природно-агро-меліоративних умовах реального об'єкта.

Пошук оптимальних параметрів складових складеної функції (3.1) і, передусім, параметрів режимів та пов'язаних з ними технологічних рішень щодо способів водорегулювання на РЗС і технічних рішень щодо типу й конструкції систем, що їх забезпечує, а також складових їх технічних елементів (дренажно-скидна мережа, зрошувальні канали, регулюючі гідротехнічні споруди, насосні станції тощо), залежно від створюваного загального еколого-економічного ефекту, формально може бути здійснено з виразу (3.1) через відповідні обернені функції, а саме:

– щодо оптимальних параметрів режимів водорегулювання z_{1i}^* ,

$$z_{1i}^* = f_1^{*-1}(\hat{y}_i), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (3.2)$$

– щодо оптимальних параметрів технологій z_{2i}^* ,

$$z_{2i}^* = f_2^{*-1}(f_1^{*-1}(z_{1i}^*)), \quad i = \overline{1, n_i}; \quad (3.3)$$

– щодо оптимальних параметрів конструкції z_{3i} ,

$$z_3^* = f_3^{*-1} \left(f_2^{*-1} \left(f_1^{*-1} (z_1^*) \right) \right), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (3.4)$$

Для реалізації функцій оптимізації (3.2)-(3.4) необхідно використовувати результати досліджень закономірностей взаємозв'язаних процесів руху води, солей та фільтрації, як основних складових ПМР на РЗС, а також існуючі підходи до розв'язання оптимізаційних задач у складних природно-технічних еколого-економічних системах (СПТЕЕС)

$$z_s^* = \mathit{extr}(z_i), \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (3.5)$$

Оскільки розглянуті функції (3.1)-(3.5) не можуть бути досить адекватно виражені аналітично, все ж вони теоретично обґрунтовують можливість постановки задачі та пошуку оптимальних параметрів режимних, технологічних і технічних рішень з водо-та енергокористування на еколого-економічних засадах, бодай на емпіричному або навіть на значно об'єктивнішому, емпірико-функціональному рівні визначення залежності між ними.

У загальному випадку оптимальні рішення з водо- та енергокористування на РЗС визначаються за допомогою порівняння можливих альтернативних варіантів технічних і технологічних розв'язань за відповідно обраними показниками (критеріями) оптимальності, прийнятими функціями цілей через реалізацію, так званих, економіко-математичних моделей оптимізації [210; 229; 174 та ін.]. Як такі показники можуть бути розглянуті, наприклад, мінімальні приведені витрати чи максимальний коефіцієнт загальної економічної ефективності при будівництві або реконструкції системи, мінімальні поточні витрати чи максимальний чистий дохід при функціонуванні існуючих систем тощо.

Що стосується екологічної оцінки меліоративних заходів, то це надзвичайно складне питання, яке досі не вирішене через низку причин, перш за все об'єктивного характеру, а саме, через надзвичайну складність визначення економічних наслідків їх негативного впливу на природне середовище [173].

Вартісна оцінка екологічних факторів завжди пов'язана з певними

умовностями і визначити показники екологічного ефекту від реалізації меліоративних проектів дуже складно, а іноді навіть неможливо обчислити в грошовому виразі. Тому більш правомірним є підхід до врахування екологічних факторів, що заснований на їх якісній або відносній оцінці. Саме тому існує необхідність і доцільність використання та подальшого розвитку існуючих підходів у залежності від поставленої мети, задач, складності та наявних інформаційних можливостей.

Так, оскільки практично неможливо поєднати в одній економіко-математичній оптимізаційній моделі показники, що виражені у вартісному вигляді і характеризують економічну ефективність меліоративних заходів, разом з фізичними показниками водного і загального природного меліоративного режиму рисової системи, які характеризують екологічну доцільність їх реалізації, то питання створення єдиної еколого-економічної оптимізаційної моделі залишається проблематичним і потребує пошуку нових підходів до його вирішення.

З викладеного витікає необхідність розгляду як вже традиційних і широко вживаних у меліоративній практиці методів і моделей з обґрунтування технічних і технологічних розв'язань при експлуатації РЗС, так і застосування для цього уже сформульованих на відповідному рівні методів і моделей з прогносної оцінки ефективності та оптимізації водорегулювання на осушувальних системах [229] для умов РЗС з урахуванням їх залежності від основних природних і меліоративних факторів при її розв'язуванні.

3.3. Науково-методичні підходи до прогнозування типових метеорологічних режимів на довготерміновій основі в задачах оптимізації водо- та енергокористування

3.3.1. Загальні положення та науково-методичні підходи до прогнозу типових метеорологічних режимів

Розгляд меліоративних об'єктів, в тому числі і РЗС, не суто як технічних, а як складних природно-технічних еколого-економічних систем, з відповідною

зміною всієї методології, технічної та технологічної стратегії їх створення та функціонування, потребує безпосереднього врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером погодно-кліматичних умов, оскільки саме вони, разом з меліоративними чинниками, здійснюють визначальний вплив на загальний ПМР зрошуваних земель рисової системи та відповідний еколого-економічний ефект.

У СПТЕЕС, до яких відносяться РЗС, вибір режимно-технологічних та технічних рішень на різних рівнях прийняття їх у часі повинен ґрунтуватися на використанні відповідної метеорологічної інформації з метою вибору *кліматологічно оптимальних стратегій* управління такими системами в багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізі.

Для територій з близьким заляганням безстічних мінералізованих ґрунтових вод, на яких розміщена більшість рисових систем України, погодно-кліматичні умови безпосередньо беруть участь у формуванні водно-сольового режиму ґрунтів і ґрунтових вод, визначаючи напрямок перебігу ґрунтових процесів як у природному стані, так і в окремі технологічні періоди вирощування рису і супутніх культур.

Багато вчених, досліджуючи формування врожаю рису [53; 91; 205] прийшли до висновку, що темпи розвитку, величина і якість врожаю рослин визначаються в першу чергу кліматичними умовами. Коефіцієнт кореляції між показником кліматичних умов і врожаєм рису досить високий (0,86-0,89).

Від температури повітря, ґрунту і поливної води залежить багато біологічних процесів, що відбуваються в житті рослин. Регулюючи температурні умови, можна інтенсифікувати або, навпаки, загальмувати біологічні процеси і, тим самим, управляти урожаем і датою дозрівання рослини. Останнє для умов Одеської області, де строки збирання сильно обмежені, має велике значення.

Однак, аналітичні залежності, що зв'язують зовнішні умови (температуру, випаровуваність, опади, фільтрацію) з терміном дозрівання і, як наслідок, початком збирання рису, на жаль, поки ще не розроблені.

Крім того, приблизно половину зрошувальної норми рису складають втрати на випаровування з водної поверхні і транспірацію вирощуваними

культурами, величина яких знаходиться у прямій залежності від таких метеорологічних характеристик як температура та дефіцит вологості повітря. У свою чергу, величина зрошувальної норми визначає і об'єм фільтрації із зрошувальної мережі, яка на територіях зі складними гідрогеологічними умовами є головним фактором, що впливає на формування режиму ґрунтових вод і через нього на водно-повітряний і сольовий режими зрошуваних ґрунтів.

Оскільки вирішальний вплив на формування водного і загального ПМР земель РЗС та врожаю вирощуваних культур у багатьох випадках спричиняють саме кліматичні або погодні умови, необхідно мати у своєму розпорядженні дані про їх реалізацію для відповідного об'єкта за ряд попередніх років ретроспективних спостережень. Кількість таких реалізацій та вибір конкретних років залежать від багаторічної міжсезонної варіабельності метеорологічних умов і, безсумнівно, повинні охоплювати всі типові для даного регіону їх виявлення.

Модель прогнозової оцінки метеорологічних режимів є першою ланкою в ланцюзі реалізації комплексу прогнозно-оптимізаційних розрахунків на довготерміновій основі, від точності якої безпосередньо залежать результати усіх подальших обчислень, аж до остаточного прийняття проектних розв'язань.

Звідси, достатній рівень надійності результатів прогнозних режимних розрахунків для розв'язування різного рівня оптимізаційних задач при експлуатації меліоративних систем, а також виконанні зв'язаних з цим агрометеорологічних прогнозів, можна забезпечити шляхом введення в ці розрахунки метеорологічної інформації, яка в найбільш достатній мірі відображає типові природно-кліматичні умови об'єкта, що розглядається.

Метеорологічні характеристики, такі як опади, температура, дефіцит та відносна вологість повітря, змінюються за невизначеним (стохастичним) характером як у багаторічному перерізі, так і на протязі періодів вегетації, тому доцільно отримувати їхню узагальнену комплексну характеристику за розрахунковими роками щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації.

Внаслідок дуже складного характеру реалізації природно-кліматичних і метеорологічних процесів до цієї пори не існує універсальної методики

метеорологічного забезпечення прогнозних режимних розрахунків при проектуванні та експлуатації природно-технічних об'єктів. Практично жоден з апробованих на практиці методів не надає змогу отримати розгорнуту узагальнену характеристику метеорологічних режимів при реалізації кліматологічного прогнозу у вигляді схематизованого типового розподілу основних метеорологічних характеристик (опадів, температури, дефіциту чи відносної вологості повітря) за усім необхідним спектром розрахункових (характерних щодо умов тепло- й вологозабезпеченості) вегетаційних періодів з урахуванням складного й неоднозначного характеру умов їх формування в багаторічному та внутрішньо вегетаційному перерізі, що зумовлює необхідність вирішення даного питання.

При реалізації моделей метеорологічних режимів у багаторічному перерізі за загальний розрахунковий термін часу доцільно приймати період вегетації (квітень-жовтень), а типовий розподіл метеорологічних характеристик всередині розрахункового періоду вегетації – у декадному перерізі.

У такому випадку бажано, щоб при розробці моделей, які описують типовий розподіл метеофакторів у внутрішньовегетаційному перерізі, передбачити можливість зміни кроку їх дискретизації (наприклад, від декадного до пентадного або тижневого) за потребою користувача.

За структурою побудови така модель може бути умовно розглянута у двох площинах:

– у *вертикальній площині* необхідно визначити вегетаційні значення величин основних метеорологічних характеристик (опадів, температури, дефіциту чи відносної вологості повітря) для визначеної за прийнятою схемою сукупності типових (характерних), розрахункових щодо умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційних періодів;

– у *горизонтальній площині* потрібно отримати типовий розподіл відповідних вегетаційних значень величин метеорологічних характеристик за розрахункові проміжки часу (пентада, тиждень, декада, місяць) всередині кожного розрахункового щодо умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційного періоду.

Оскільки кліматичні (метеорологічні) умови характеризуються не якоюсь певною метеорологічною величиною, а їхньою сукупністю, то, згідно з прийнятою практикою, у процесі виконання режимних меліоративних, екологічних та агрометеорологічних прогнозів традиційно використовуються такі метеорологічні характеристики як опади, температура, дефіцит та відносна вологість повітря, за якими в подальшому може бути визначено величину сумарного випаровування, суму активних температур, фотосинтетичну активну радіацію (ФАР) тощо.

Розподіл основних метеофакторів: P – атмосферних опадів; T – температури повітря; H – відносної вологості та D – дефіциту вологості повітря – згідно [7], здійснюється на основі комплексної оцінки умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційного періоду на такі типові групи за допомогою інтегрального показника забезпеченості CIP , який визначається за чотирма метеорологічними показниками та трьома метеорологічними комплексами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Схематизація кліматичних умов за розрахунковою забезпеченістю метеорологічних характеристик і комплексів

Забезпеченість p (%) за P, \bar{H}, CIP	Типові групи за розрахунковою забезпеченістю $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p} (n_p = 5)$	Забезпеченість p (%) за T, D
0...20%	$p = 1$, дуже волога	80...100%
20...40%	$p = 2$, волога	60...80%
40...60%	$p = 3$, середня	40...60%
60...80%	$p = 4$, суха	20...40%
80...100%	$p = 5$, дуже суха	0...20%

У такому випадку розподіл метеорологічних характеристик у внутрішньовегетаційному перерізі має такий вигляд для досліджуваного об'єкта, що розташований в межах відповідної області ω , $\omega = \overline{1, n_\omega}$ зони рисосіяння України

$$\bar{x}_{fp} = \{x_{fp\tau}\}, f = \overline{1, n_f}; p = \overline{1, n_p}; \tau = \overline{1, n_\tau}. \quad (3.6)$$

Кінцевий результат отриманих розподілів основних метеофакторів може бути представлено у векторно-матричному вигляді як розподіл сукупності основних метеорологічних характеристик за сукупністю розрахункових щодо

умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційних періодів

$$\bar{x}_{fp\tau} = \{x_{fp\tau}\} = (P_{p\tau}, \bar{T}_{p\tau}, \bar{D}_{p\tau}, \bar{H}_{p\tau}), \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}; \quad \tau = \overline{1, n_\tau}, \quad (3.7)$$

де $\bar{x}_{fp\tau}$ – вектори стану (масиви розрахункових даних) основних метеорологічних характеристик сукупності $\{f\}, f = \overline{1, n_f}$ ($n_f = 4$): сум опадів $P_{p\tau}$ (мм) та середніх значень температури $\bar{T}_{p\tau}$ ($^{\circ}\text{C}$), дефіциту $\bar{D}_{p\tau}$ (мм) і відносної вологості повітря $\bar{H}_{p\tau}$ (%) – за розрахункові інтервали часу в межах розрахункових вегетаційних періодів.

3.3.2. Схеми дослідження мінливості погодно-кліматичних умов в зоні Придунайських РЗС в часі

Для вирішення поставленого завдання був спланований та здійснений широкомасштабний машинний експеримент на ЕОМ за багаторічними ретроспективними (1891-1964 рр.) та сучасними (1981-2016 рр.) даними спостережень Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії (м. Ізмаїл, Одеська область). У даному випадку використані моделі прогнозу оцінки на довготерміновій основі нормованого розподілу у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізі основних метеорологічних характеристик за методами, інформаційним та програмним забезпеченням з їх реалізації на ЕОМ, що розроблені на кафедрі водної інженерії та водних технологій НУВГП [83].

Було сплановано та реалізовано наступні варіанти дослідження:

– **Варіант 1 – «Base»:** характеристика основних метеофакторів за період вегетації (IV-X місяці), що отримано за багаторічними ретроспективними даними;

– **Варіант 2 – «Recent»:** динаміка та нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподілу за період вегетації (IV-X місяці), що отримано в сучасних умовах за 1981-2009 рр.;

– **Варіант 3а – «СССМ»:** нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації (IV-X місяці), що отримано з урахуванням змін клімату за моделлю Канадського кліматологічного центру, чутливість якої до подвоєння CO_2 – $3,5^{\circ}\text{C}$, що

передбачає підвищення середньорічної температури повітря до 4° С;

– **Варіант 3б** – «УКМО»: нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації (IV-X місяці), що отримано з урахуванням змін клімату за моделлю Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства, чутливість якої до подвоєння CO₂ – 3,5° С, що передбачає підвищення середньорічної температури повітря до 6° С.

Прогноз здійснено для п'яти типових груп періодів вегетації розрахункових років щодо загальної тепло- та вологозабезпеченості (дуже вологий – 10%, вологий – 30%, середній – 50%, сухий – 70%, дуже сухий – 90%) за такими основними метеорологічними характеристиками як температура повітря, опади, відносна вологість, випаровуваність, фотосинтетично активна радіація (ФАР), коефіцієнт вологозабезпеченості, як відношення суми опадів до сумарного випаровування.

Однією з головних задач є розробка кліматичних сценаріїв прикладного характеру, зокрема типових схем метеорологічних режимів на довгостроковій основі за допомогою відповідних моделей, які описуватимуть типовий розподіл основних метеорологічних характеристик при зміні кліматичних умов з урахуванням глобального потепління. Розподіл векторів основних метеорологічних характеристик в умовах зміни клімату може бути представлено в неявному вигляді як

$$\vec{X}_f = \vec{X}_f^o + \Delta\vec{X}_f, \quad f = \overline{1, n_f}, \quad (3.8)$$

де \vec{X}_f^o – вектор середньобагаторічних норм f – го метеофактора, який визначається за базовим сценарієм на основі ретроспективних статистичних метеоданих формування метеорологічних режимів в сучасних умовах.

$\Delta\vec{X}_f$ – відповідні прогнозовані зміни середньобагаторічних норм f – го метеофактора при зміні клімату, визначені за відповідними моделями (СССМ та УКМО).

Загальна, принципова блок-схема вирішення даної задачі наведена на рис. 3.2.

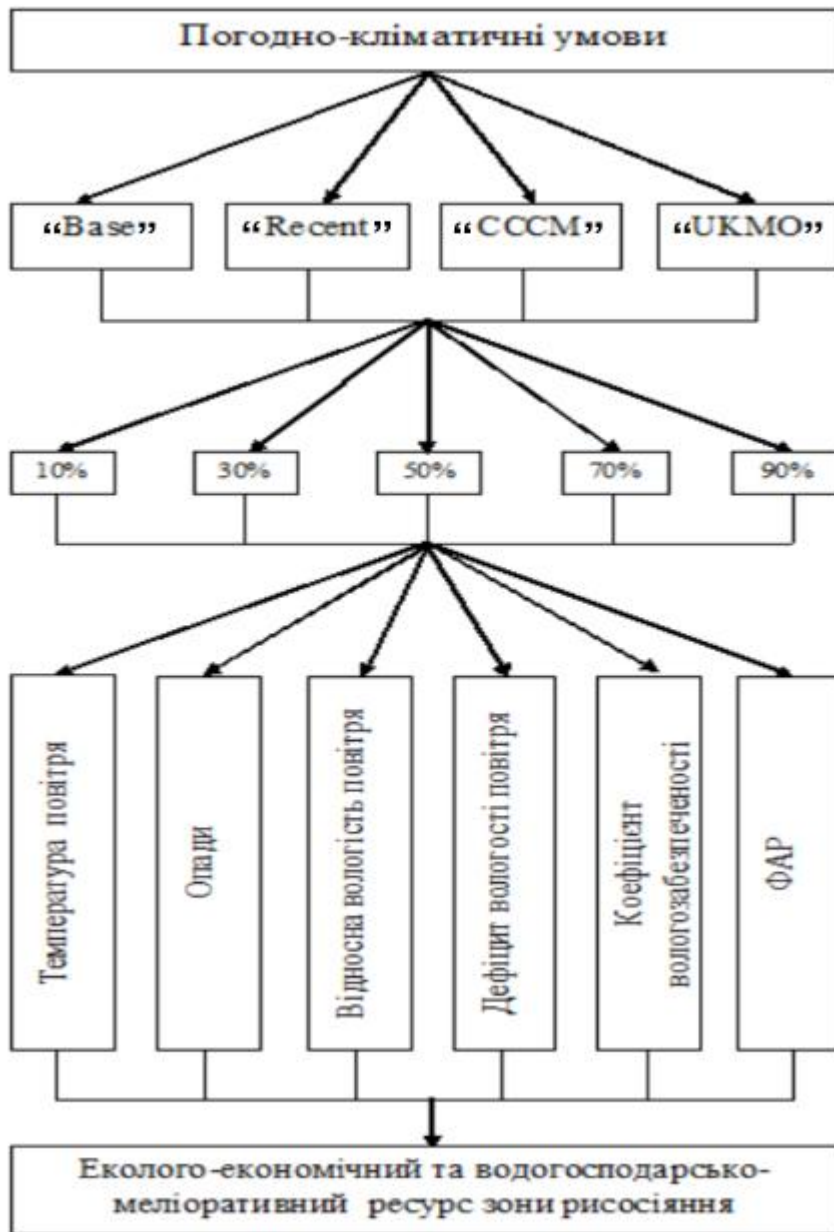


Рис. 3.2. Схема виконання оцінки погодно-кліматичних характеристик в ретроспективних («Base»), сучасних («Recent») та перспективних («CCCM», «UKMO») умовах

Оцінка здійснювалась за такими основними метеорологічними характеристиками як температура повітря, опади, відносна вологість, дефіцит вологості, фотосинтетично активна радіація (ФАР) та коефіцієнт вологозабезпеченості.

Як показали дослідження [208], характер розподілу вегетаційних норм метеорологічних характеристик у багаторічному перерізі достатньо добре узгоджується теоретичному розподілу, що описується біноміальною

асиметричною кривою.

Тоді, при реалізації моделі у вертикальній площині (в багаторічному перерізі) значення вегетаційних норм основних метеорологічних характеристик в умовах зміни клімату можуть бути визначені за формулою

$$\bar{X}_{fp} = k_{pfp} \cdot \bar{X}_f, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (3.9)$$

де \bar{X}_{fp} – вегетаційне значення f -ї метеорологічної характеристики в p – ї розрахунковий щодо умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційний період;

k_{pfp} – відповідне усереднене значення модульного коефіцієнта за кривою розподілу забезпеченості вегетаційних значень f - ї метеорологічної характеристики у багаторічному перерізі;

\bar{X}_f – прогнозована вегетаційна норма f -ї метеорологічної характеристики в умовах зміни клімату.

Усереднене значення k_{pfp} може бути визначено як

$$k_{pfp} = 1 + C_{v_f} \cdot \Phi_{fp}, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (3.10)$$

де C_{v_f} – коефіцієнт варіації вегетаційного значення f - ї метеорологічної характеристики;

Φ_{fp} – відповідні усереднені значення нормованого відхилення від середнього значення ординат розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива розподілу) для f -ї метеорологічної характеристики в межах p -ї розрахункової за умовами тепло- й вологозабезпеченості групи.

Розподіл вегетаційних значень метеорологічних величин \bar{X}_{fp} , $f = \overline{1, n_f}$; $p = \overline{1, n_p}$ за розрахункові проміжки часу $\{\tau\}$, $\tau = \overline{1, n_\tau}$ у межах розрахункових вегетаційних періодів (реалізація моделі у в горизонтальній площині) може бути описано кривою Фур'є 2-го порядку.

$$\bar{x}_{fp} = a_{1fp} + a_{2fp} \cdot U_1 + a_{3fp} \cdot U_2 + a_{4fp} \cdot U_3 + a_{5fp} \cdot U_4, \quad f = \overline{1, n_f}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (3.11)$$

де $a_1..a_5$ – коефіцієнти кривих Фур'є 2-го порядку;

$$U_1 = \cos C \cdot \tau; \quad U_2 = \sin C \cdot \tau; \quad U_3 = \cos 2C \cdot \tau; \quad U_4 = \sin 2C \cdot \tau, \quad (3.12)$$

де C – константа, яка дорівнює $306^\circ / N_x$ (де N_x – кількість розрахункових

інтервалів часу в циклі);

τ – фактична кількість одиниць часу до даного моменту, починаючи від довільно обраного стартового циклу (порядковий номер розрахункового інтервалу часу).

У табл. 3.2 наведено основні результати виконаного прогнозу можливих змін погодно-кліматичних умов у вигляді коефіцієнтів кривих Фур'є розподілу основних метеофакторів за розрахунковими роками в процесі оцінювання природно-ресурсного потенціалу Придунайських РЗС протягом 1981-2016 рр. за даними спостережень Ізмаїльської обсерваторії.

Таблиця 3.2

Коефіцієнти кривих Фур'є 2-го порядку типового розподілу основних метеофакторів за розрахунковими вегетаційними періодами

№ з/П	Типові групи років за умовами тепло-вологозабезпеченості та	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Опади (\bar{P}_{pt}), мм						
1	p = 1, дуже волога	0,437	0,482	-0,275	-0,282	-0,047
2	p = 2, волога	0,170	0,201	-0,294	-0,217	0,017
3	p = 3, середня	0,178	0,078	-0,236	-0,053	-0,172
4	p = 4, суха	-0,192	-0,099	-0,103	-0,294	0,294
5	p = 5, дуже суха	-0,283	0,266	0,202	-0,030	-0,111
Температури повітря (\bar{T}_{pt}^{rc}), С°						
1	p = 1, дуже волога	2,788	0,377	-0,082	-0,067	0,061
2	p = 2, волога	2,801	0,403	-0,050	-0,097	-0,002
3	p = 3, середня	2,806	0,401	-0,068	-0,106	0,056
4	p = 4, суха	2,836	0,408	-0,061	-0,072	0,029
5	p = 5, дуже суха	2,870	0,398	-0,095	-0,106	0,075
Відносна вологість повітря (\bar{H}_{pt}^{rc}), %						
1	p = 1, дуже волога	4,261	-0,040	0,010	-0,030	-0,038
2	p = 2, волога	4,239	-0,051	0,042	-0,004	-0,039
3	p = 3, середня	4,210	-0,065	0,019	-0,003	-0,025
4	p = 4, суха	4,185	-0,111	0,007	-0,019	-0,031
5	p = 5, дуже суха	4,134	-0,079	0,086	-0,022	-0,045
Дефіцит вологості повітря (\bar{D}_{pt}^{rc}), мм						
1	p = 1, дуже волога	1,681	0,510	-0,122	0,044	0,163
2	p = 2, волога	1,740	0,578	-0,182	-0,061	0,109
3	p = 3, середня	1,833	0,584	-0,122	-0,067	0,109
4	p = 4, суха	1,903	0,688	-0,091	-0,017	0,087
5	p = 5, дуже суха	2,047	0,610	-0,278	-0,048	0,178

Отримані сценарії типових погодно-кліматичних умов дають змогу реалізувати будь-які агрометеорологічні прогнози та інженерно-меліоративні розрахунки з обґрунтування основних режимно-технологічних параметрів зрошення рису та супутніх культур, типу, конструкції та параметрів рисових зрошувальних систем та їх складових елементів (зрошувальна мережа, дренажно-скидна мережа, гідротехнічні споруди, насосні станції тощо) у проектах їх будівництва, реконструкції, модернізації та експлуатації.

3.3.3. Прогнозна оцінка можливих змін погодно-кліматичних умов у регіоні

Серед численних екологічних та соціально-економічних проблем людства на рубежі XX-XXI століть постала проблема глобального потепління клімату.

Результати інструментальних досліджень, що ведуться вже близько 100-150 років та катастрофічні явища великих масштабів, що мають місце в даний час, переконливо свідчать про те, що клімат дійсно почав змінюватись, причому відносно швидко, впливаючи суттєво на умови життя та діяльності людини [25; 244; 208; 214].

Одна з головних причин глобального потепління є підвищення концентрації в атмосфері вуглекислого газу (за останні 100 років на 40%), метану (у 2,4 рази) та окису азоту (на 20%). Основними джерелами надходження цих речовин до атмосфери є промислові підприємства, транспорт, а також висока розораність ґрунтів.

Україна також належить до числа регіонів планети, де зміни клімату, що відбуваються, є відчутними. Навіть за відсутності спеціальних спостережень стало помітно, що тривалість зимових періодів значно скоротилась, а самі зими стали менш холодними, почастишали посухи. У XX ст. на території України зафіксовано 43 посушливих роки, зокрема 7 із них в останні 15 років минулого століття.

Аналіз погодно-кліматичних умов України з 1900 по 1995 рр. свідчить, що підвищення температури повітря знаходиться в межах 0,3-0,7° С. Річні суми опадів за вказаний період збільшились на 50-100 мм, при цьому на півночі та

заході, а також в АР Крим, кількість опадів зменшилась на таку ж величину, зросла також внутрішньосезонна їх мінливість.

Катастрофічним для України може бути викликане глобальним потеплінням переміщення у помірні широти північної периферії поясу субтропічних циклонів та незворотного процесу опустелювання південних регіонів країни.

Глобальне потепління та зумовлені ним зміни клімату в Україні, в тому числі і в зоні рисосіяння, створили певні труднощі в процесі обґрунтування відповідних технічних рішень у проектах рисових зрошувальних систем, пов'язаних з неможливістю подальшої орієнтації на базові багаторічні значення основних метеорологічних характеристик та необхідністю врахування зміни погодно-кліматичних умов.

Згідно результатів моделювання погодно-кліматичного стану зони рисосіяння України за умови подвоєння CO_2 в атмосфері за моделями «СССМ» та «УКМО» прогнозується підвищення температури повітря в усі сезони року [83]. При цьому, за сценаріями, побудованими на основі моделі «СССМ», температура повітря зросте найбільш суттєво взимку, а за сценарієм «УКМО» – навесні. Але лише за останнім сценарієм потепління в Україні чітко підсилюватиметься в напрямку з півдня на північ і буде найбільш значним в зоні Полісся протягом зимового та весняного сезонів. Щодо аграрного виробництва загалом, то потепління клімату в узагальненому вигляді позитивно вплине на продуктивність рослинництва. При подвоєнні вмісту вуглекислого газу прискорення процесу фотосинтезу рослин у залежності від тепло- і вологозабезпеченості може скласти 30-100%.

Дотого ж різні типи рослин на збільшення вмісту CO_2 реагуватимуть по різному [208]. Рослини групи С-3 (рис, пшениця, ячмінь, соняшник, соя) будуть швидше рости і дозрівати, їх урожайність може зрости на 20-30%. Урожайність кукурудзи, сорго, цукрових буряків, проса та інших рослин групи С-4, що є менш чутливими до вмісту CO_2 , навпаки може істотно знизитись, перш за все через інтенсивний ріст супутніх бур'янів.

Підвищення вмісту CO_2 при позитивному впливі на врожайність

сільськогосподарських культур спричинить погіршення якості зерна, а саме зниження вмісту азотистих речовин, білка, а отже і поживності продуктів.

Підвищення температури призведе до скорочення міжфазних періодів та вегетаційного циклу і, відповідно, до більш ранніх строків дозрівання і збирання культур.

Відомо, що продуктивність пізньостиглих культур вища, ніж ранньостиглих, тому скорочення тривалості періоду вегетації може спричинити зниження врожайності ранньостиглих зернових культур. З іншого боку, збільшення вмісту CO₂ зумовить зростання вегетативної маси, тому врожайність трав і коренеплідних культур, особливо цукрових буряків та картоплі, має зрости.

За всіма сценаріями прогнозується збільшення кількості опадів, яке в окремі сезони може перевищувати на 20% існуючий рівень (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Прогнозні зміни величини середньомісячних і річних температур повітря та атмосферних опадів для зони Степу України
(І. Букша, П. Гожик, Ж. Ємельянова та ін., 1998)

Місяці / Показники		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	За рік
Температура (різниця)	«СССМ»	6,27	5,51	5,53	4,1	3,82	3,81	4,19	3,71	3,49	2,92	3,61	4,16	4,26
	«УКМО»	4,47	6,30	6,21	5,98	3,97	4,08	5,09	4,33	3,98	4,62	5,68	4,58	4,93
Опади (відношення)	«СССМ»	0,97	0,98	1,00	0,95	0,92	0,86	0,67	0,66	0,82	1,16	1,16	1,31	0,98
	«УКМО»	1,00	1,12	0,99	0,83	1,12	0,95	0,97	1,87	1,03	0,72	1,35	1,06	1,04

3.3.4. Порівняльний аналіз ретроспективного, сучасного та перспективного стану погодно-кліматичних умов у зоні Придунайських РЗС

На підставі викладених вище принципів були реалізовані моделі оцінювання та довгострокового прогнозу вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик та внутрішньовегетаційного розподілу їх середньодекадних значень за варіантами досліджень на прикладі Придунайських РЗС.

Узагальнені результати розрахунку вегетаційних значень основних метеорологічних факторів (опадів, температура, дефіцит та відносна вологість повітря) та похідних від них характеристик (ФАР, коефіцієнт вологозабезпеченості) по розрахункових роках за варіантами досліджень для умов Придунайських РЗС наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Визначені вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик по розрахункових роках за варіантами досліджень для умов Придунайських РЗС

Показники, моделі		Роки розрахункової тепло- й вологозабезпеченості				
		10 %	30 %	50	70 %	90 %
Сума опадів (Р, мм)	«Base»	387,5	337,2	287,0	236,8	186,6
	«Recent»	363,1	265,0	261,8	185,5	167,0
	«CCCM»	321,3	279,4	237,6	192,7	147,8
	«UKMO»	362,4	315,4	268,5	217,7	167,0
Середня температура повітря (Т, °С)	«Base»	16,2	16,6	17,1	17,4	18,1
	«Recent»	16,9	17,2	17,2	17,8	18,4
	«CCCM»	19,4	20,1	20,9	21,3	22,2
	«UKMO»	20,0	20,8	21,7	22,2	23,3
Сума дефіциту вологості повітря (D, мм)	«Base»	1142	1343	1531	1705	1920
	«Recent»	1214	1307	1433	1582	1814
	«CCCM»	1430	1682	1867	2136	2405
	«UKMO»	1455	1731	1933	2226	2520
Середня відносна вологість повітря (Н, %)	«Base»	71,9	68,4	65,6	62,8	60,3
	«Recent»	71,0	69,4	67,5	65,9	62,7
	«CCCM»	71,9	68,2	65,8	61,9	58,7
	«UKMO»	72,7	69,0	66,6	62,6	59,6

Сума ФАР, (МДж/м ²)	«Base»	1849,6	1886,5	1925,5	1947,0	1997,4
	«Recent»	1905,6	1924,0	1931,8	1974,9	2027,2
	«СССМ»	2109,8	2164,0	2221,0	2252,5	2326,2
	«УКМО»	2150,8	2216,4	2285,6	2323,8	2413,3
Коефіцієнт вологозабезпече- ності (K _w)	«Base»	0,56	0,41	0,32	0,23	0,16
	«Recent»	0,49	0,33	0,30	0,19	0,15
	«СССМ»	0,38	0,28	0,21	0,15	0,10
	«УКМО»	0,43	0,31	0,23	0,16	0,10

Порівняльна оцінка зміни абсолютних величин основних метеорологічних чинників за розрахунковими роками сучасних («Recent») та прогнозованих («СССМ» та «УКМО») умов щодо їх середньобаторічних норм («Base») для більшої наочності представлена як в аналітичному (табл. 3.5), так і графічному вигляді (рис. 3.3).

Таблиця 3.5

Порівняльна оцінка зміни вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик по розрахункових роках сучасних («Recent») та прогнозованих («СССМ» та «УКМО») умов щодо їх середньобаторічних норм («Base») для Придунайських РЗС (%)

Показники, моделі		Розрахункові роки					Середнє, %
		10%	30%	50%	70%	90%	
Опади, (P)	«Recent»	-6,3	21,4	-8,8	-21,7	-10,5	-14,7
	«СССМ»	-17,1	17,1	-17,2	-18,6	-20,8	-18,3
	«УКМО»	-6,5	-6,5	-6,4	-8,1	-10,5	-7,8
Температура повітря, (T)	«Recent»	4,3	3,6	0,6	2,3	1,7	2,3
	«СССМ»	19,8	21,1	22,2	22,4	22,7	22,0
	«УКМО»	23,5	25,3	26,9	27,6	28,7	26,9
Дефіцит вологості повітря, (D)	«Recent»	6,3	-2,7	-6,4	-7,2	-5,5	-4,6
	«СССМ»	25,2	25,2	22,0	25,3	25,3	24,5
	«УКМО»	27,4	28,9	26,3	30,6	31,5	29,1
Відносна вологість повітря, (H)	«Recent»	-1,3	1,5	2,9	4,9	4,0	3,1
	«СССМ»	0,0	-0,3	0,3	-1,4	-2,7	-0,9
	«УКМО»	1,1	0,9	1,5	-0,3	-1,2	0,3

Сума ФАР (ФАР)	«Recent»	3,0	2,0	0,4	1,4	1,5	1,4
	«СССМ»	14,1	14,7	15,4	15,7	16,5	15,5
	«УКМО»	16,3	17,4	18,8	19,4	20,8	18,9
Коефіцієнт волого- забезпеченості (K_w)	«Recent»	-12,5	-19,5	-6,3	-17,4	-6,3	-12,2
	«СССМ»	-32,1	-31,1	-34,4	-34,8	-37,5	-34,4
	«УКМО»	-23,2	-24,4	-28,1	-30,4	-37,5	-29,6

Щодо порівняльної оцінки змін сучасних та прогнозованих вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик за розрахунковими роками та в середньому між ними у досліджуваних умовах можна зробити наступні висновки:

– **щодо опадів:** у сучасних погодно-кліматичних умовах («Recent») порівняно з ретроспективним («Base») має місце зменшення кількості опадів за всіма розглянутими розрахунковими роками, що у середньому складає 14,7%. Найбільші відхилення спостерігаються у «вологі» (p=30%) – 21,4% та «сухі» (p=70%) – 21,7% розрахункові роки. Відповідно за прогнозними варіантами також очікується зменшення кількості опадів щодо їх середньобігаторічних норм («Base»), яке у середньому становить за моделлю «СССМ» – 18,3% та «УКМО» – 7,8%. Водночас величини прогнозованих відхилень поступово зменшуються для граничних «дуже вологих» (p=10%) та «дуже сухих» (p=90%) розрахункових років;

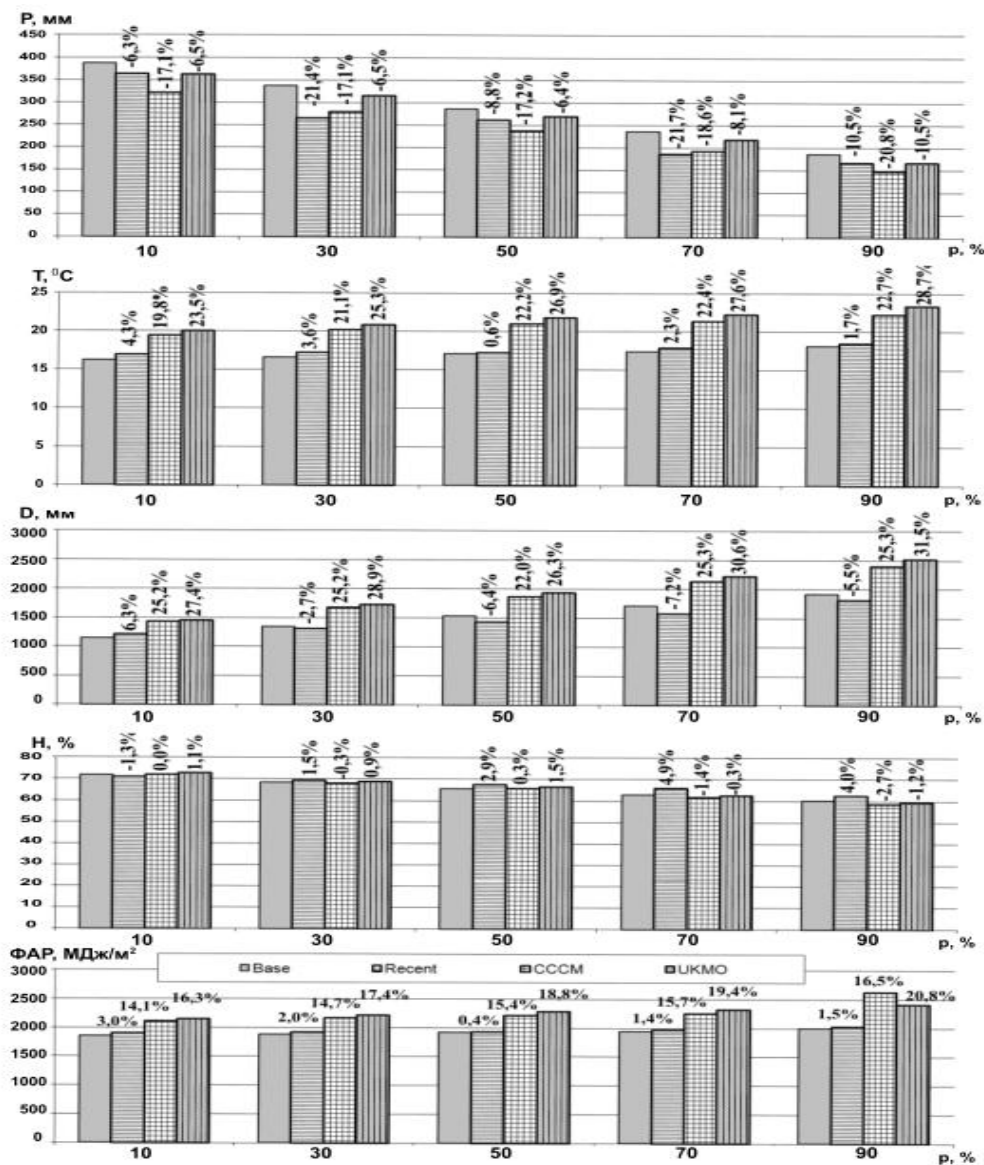


Рис.3.3 – Характер зміни (%) вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик по розрахункових роках сучасних («Recent») та прогнозованих («CCSM» та «UKMO») умов щодо їх середньобагаторічних норм («Base») для умов Придунайських РЗС

– *щодо температури повітря*: то вже у сучасних умовах («Recent») у порівнянні з ретроспективними («Base») має місце виражене підвищення температури повітря, яке у середньому за розрахунковими роками становить 2,3% і збільшується у вологі та посушливі роки. Сучасні значення температур повітря у «середні» (p=50%) розрахункові роки близькі до середньобагаторічних значень, відхилення зростає при переході від «середніх» до «дуже сухих» (p=90%) та «дуже вологих» (p=10%) розрахункових років. За прогнозними варіантами «CCSM» та «UKMO» прогнозується значне підвищення температури повітря відносно даних за варіантом «Base» на 22,0%

та 26,9% відповідно;

– *щодо дефіциту вологості повітря*: характер зміни даного метеорологічного показника аналогічний зміні температури повітря з деякими відхиленнями за розрахунковими роками та дещо більшою зміною за прогнозними варіантами – для «СССМ» збільшення складає 24,5%, а для «УКМО» – 29,1%;

– *щодо відносної вологості повітря*: у сучасних умовах («Recent») має місце деяке підвищення, що складає 4,0-4,9%, у «сухі» та «дуже сухі» роки, всі інші значення за усіма варіантами відрізняються незначно – $\pm 1-3\%$;

– *щодо ФАР*: характер зміни даного метеорологічного показника повністю аналогічний зміні температури повітря з деякими відхиленнями за розрахунковими роками та дещо меншою зміною за прогнозними варіантами – для «СССМ» збільшення складає 15,5%, а для «УКМО» – 18,9%;

– *щодо коефіцієнту вологозабезпеченості*: характер зміни даного метеорологічного показника повністю ідентичний характеру зміни опадів за розрахунковими роками. Водночас за прогнозними варіантами він значно зменшується – для «СССМ» зменшення складає 34,4%, а для «УКМО» – 29,6%.

Наведені дані також переконливо свідчать про те, що більшість вегетаційних значень метеорологічних характеристик, крім температури і ФАР, за розрахунковими роками та в середньому між ними вже в сучасних умовах знаходяться або в зоні, або на рівні прогнозованих їх величин за умовами зміни клімату.

Що стосується характеру змін внутрішньовегетаційного нормованого розподілу середньодекадних значень основних метеорологічних характеристик за розглянутими варіантами досліджень для умов Придунайських РЗС, то їх оцінка представлена у графічному вигляді на рис. 3.4.

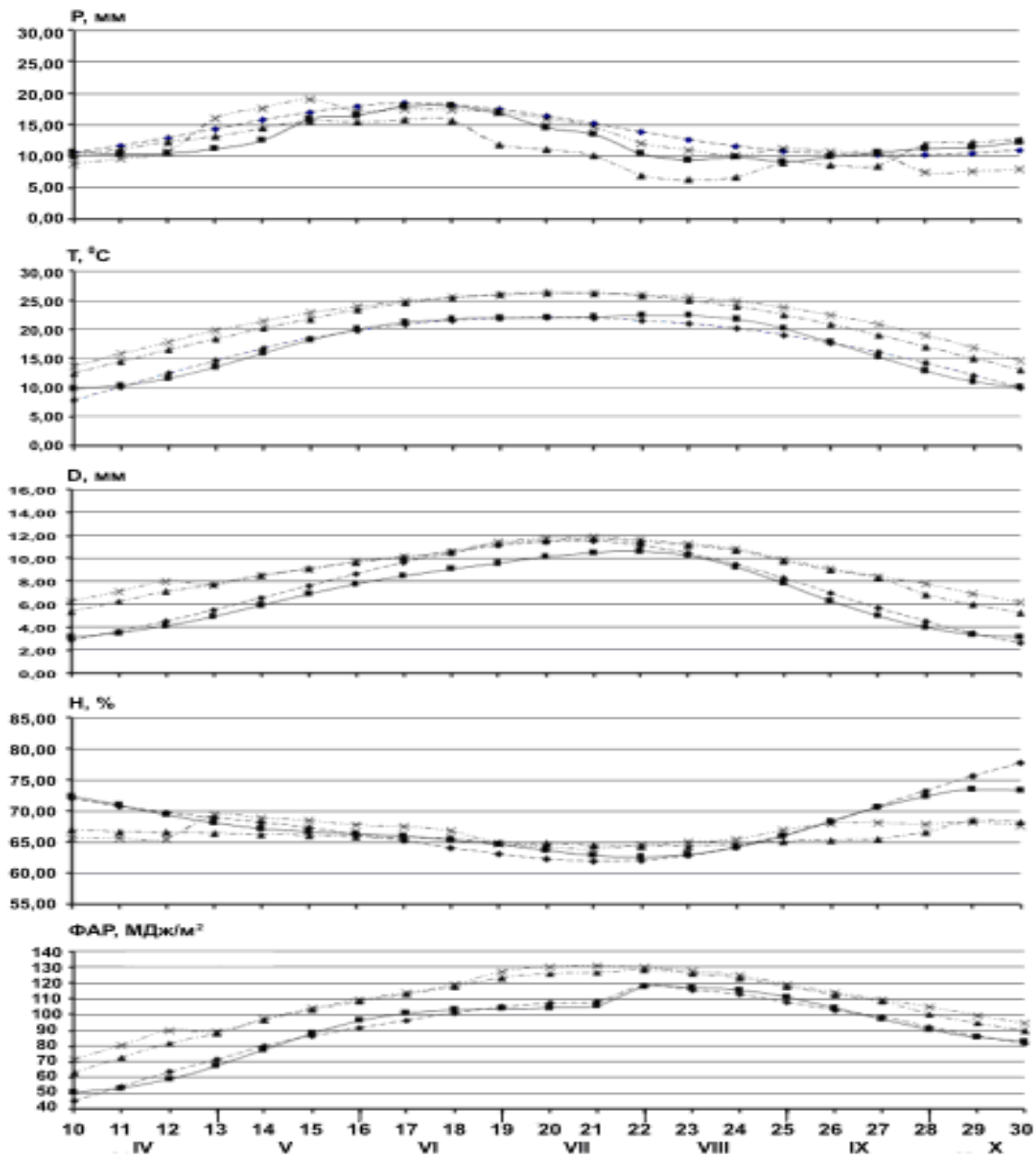


Рис. 3.4. Внутрішньовеgetаційний нормований розподіл середньодекадних значень основних метеорологічних характеристик за варіантами досліджень для умов Придунайських РЗС

Наведені дані свідчать, що зміни внутрішньовеgetаційного розподілу основних метеорологічних чинників загалом аналогічні характеру змін їх вегетаційних значень, але при цьому може бути виділена одна характерна особливість, притаманна для умов Придунайських РЗС за усіма варіантами досліджень погодно-кліматичних умов. Вона стосується невідповідності щодо найбільш відповідального та напруженого періоду для росту та розвитку вирощуваних культур рисової сівозміни, який за характером внутрішньовеgetаційного розподілу температури та, відповідно, ФАР і

дефіциту вологості повітря припадає в середньому на 19-23 декади періоду вегетації, а пік випадіння атмосферних опадів – на 13-19 декади, що значно погіршує умови їх вологозабезпеченості у найбільш критичний період.

Цей же період буде також найбільш відповідальним з точки зору формування та забезпечення досягнення необхідного рівня технологічної, екологічної та економічної ефективності функціонування рисових зрошувальних систем.

Загалом, отримані результати з порівняльної оцінки формування погодно-кліматичних умов у зоні функціонування Придунайських РЗС за варіантами їх досліджень свідчать про те, що по всіх основних метеорологічних показниках, за виключенням відносної вологості повітря, насамперед це стосується температури повітря, як визначального фактора сучасних змін клімату, а також ФАР, як її похідної, вже відбуваються зміни, які у найближчій перспективі можуть перевищувати 10% критичний екологічний поріг (“норму”), що за Н. Ф. Реймерсом [208] незворотньо призведе до відповідних змін в екологічному стані довкілля також і в зоні рисосіяння.

Так, при наявних темпах та рівні змін погодно-кліматичних умов слід очікувати погіршення природно-меліоративних умов взагалі як в зоні Придунайських РЗС, так і в зоні рисосіяння України загалом. Це неминуче негативно відобразиться на функціонуванні рисових систем в результаті відповідних змін еколого-економічного ресурсу, що потребує розробки адаптивних технічних та режимно-технологічних заходів з управління цими системами через відповідні комплексні наукові галузеві, державні та міждержавні дослідження і програми.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЗАГАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЗС ПРИ ЗМІННИХ ПРИРОДНО- МЕЛІОРАТИВНИХ УМОВАХ

4.1. Обґрунтування сукупності різнорідних показників як критеріїв оцінювання загальної ефективності функціонування РЗС

Процес функціонування РЗС, як складного об'єкта дослідження і управління, необхідно розглядати як комплексне та динамічне явище, який не може бути оцінений на основі єдиного, навіть універсального показника, а потребує обґрунтування й визначення сукупності критеріїв як найбільш вагомих чинників впливу на процес формування врожайності культур рисової сівозміни.

Тому відповідно до поставленої мети та сформованих завдань дисертаційного дослідження, оцінювання ефективності технології водо- та енергокористування на РЗС, як СПТЕЕС, потребує визначення відповідної сукупності різнорідних та взаємопов'язаних показників, які можна виразити у вигляді вимог до регульованих факторів, що повинні відображати основні аспекти та умови їх функціонування: *меліоративні (технологічні), екологічні, економічні, кліматичні* [215].

Виходячи із загальної постановки задачі та за дослідженнями Рокочинського А. М. [228; 229; 230] обґрунтування визначеної сукупності показників (критеріїв) водного і загального ПМР на РЗС є необхідною умовою реалізації комплексної моделі оптимізації та їх регулювання за різнорідними показниками шляхом непрямой оцінки екологічної прийнятливості гідромеліоративних заходів.

У свою чергу, визначення цих показників спирається на сукупність імітаційних моделей з прогнозою оцінки природно-меліоративних факторів впливу на умови їх формування. Водночас виконання прогнозно-оптимізаційних розрахунків на довготерміновій основі потребує виконання схематизації природно-меліоративних умов досліджуваного об'єкта відповідно за типовими погодними умовами розрахункових щодо вологозабезпеченості

періодів вегетації рису та супутніх культур рисової сівозміни [19].

Тому перелічений комплекс питань ґрунтується на необхідності дослідження й визначення умов формування водного, сольового, фільтраційного режимів рисового поля, що визначають його загальний ПМР і, що дозволить виконати порівняльну оцінку їх загальної ефективності за відповідними показниками (критеріями).

В процесі регулювання водного, сольового та фільтраційного режимів зрошуваних земель РЗС мають місце два часто протилежних або періодично змінюваних процеси – зрошення та осушення, що відрізняє їх від звичайних зрошувальних систем. Крім того особливістю РЗС є те, що вони побудовані на засолених землях і ефективно їх використання можливе лише за умови створення промивного водно-сольового режиму ґрунтів. Тому у практиці рисосіяння вирощування рису здійснюється в умовах затоплення, що відповідає біологічним особливостям цієї культури та забезпечує промивний режим на ґрунтах схильних до повторного засолення.

Виходячи з прийнятої технології вирощування затоплюваної культури рису та особливостей розташування і конструкції ПРЗС витікає, що для їх ефективного функціонування необхідне створення й постійне підтримання промивного режиму ґрунтів, що залежить від інтенсивності фільтраційних процесів, яка в свою чергу, визначається цілим рядом факторів, насамперед, швидкістю фільтрації з поверхні рисового поля.

Тому серед критеріїв оцінювання ефективності рисового поля повинні бути показники, які характеризують процес водообігу на рисовому полі з урахуванням основних конструктивних характеристик РЗС.

Водно-сольовий режим рисового поля характеризується сукупністю діючих у часі процесів використання, накопичення, розподілу і перетворення ґрунтової вологи, її взаємодії з іншими природними тілами під дією зовнішніх природних (переважно кліматичних) і меліоративних (способи водорегулювання) факторів. Водночас, значущість окремих процесів, що відбуваються, часто визначити важко через надзвичайно складний характер їхньої взаємодії. Цим і пояснюються, передусім, існуючі розбіжності в думках

щодо показників або критеріїв, за допомогою яких доцільно виконувати оцінювання стану водного і загального ПМР РЗС в процесі реалізації гідромеліоративних заходів.

Так, авторами [6] запропоновані наступні показники меліоративного режиму, які необхідно використовувати при обґрунтуванні меліорацій в різних природних зонах:

1. Допустимі границі регулювання вологості активного кореневмісного шару ґрунту:
2. Допустима глибина РГВ, що змінюється протягом року, та границі її короточасних підйомів, викликані проведенням зволожувальних заходів або інтенсивними опадами.
3. Спрямованість вологообміну між кореневмісним шаром ґрунту і ґрунтовими водами та його інтенсивність.
4. Допустимий вміст токсичних солей в ґрунті, катіонів натрію і магнію у ґрунтовому поглинальному комплексі та реакція pH ґрунтового розчину.
5. Граничні значення загальної мінералізації поливної води, співвідношення в ній катіонів Na , Ca і Mg , реакції ґрунту pH .
6. Комплекс агрохімічних показників родючості ґрунтів і направлений характер їх зміни та ін.

Наведені показники доцільно використовувати для оцінювання водно-сольового режиму та ЕМС полів зайнятих супутніми культурами рисової сівозміни.

Що ж стосується РЗС, то запропоновані вище показники для оцінювання їх загального ПМР потребують деякого корегування і доповнення. Так глибина залягання РГВ протягом вегетаційного періоду на зрошувальних і осушувальних системах є одним із головних факторів, який характеризує водний режим ґрунтів. На рисовій же системі протягом практично всього періоду вегетації РГВ змикається із шаром води, який створюється на поверхні рисового поля, а тому управляти його режимом в цей період неможливо. Звідси слідує, що одним із головних показників, за яким оцінюється ефективність роботи дренажу на рисових системах, є норма осушення в міжполивний період,

тобто глибина спрацювання РГВ у цей період, і спроможність останнього підтримувати досягнутий РГВ до початку нового поливного сезону. Слід відмітити, що цей досить короткий період після скидання води з рисового поля, на нашу думку, є одним з найважливіших періодів з точки зору опріснення і оздоровлення засолених ґрунтів, які при вирощуванні рису затопленням перебувають у фільтраційно-незадовільному стані. Цей період необхідний для відновлення родючості, а саме, щоб болотні процеси в ґрунтах були перервані до наступного зрошувального сезону. Це досягається зниженням РГВ до глибини, при якій гідрологічна ємність зони аерації в будь який момент часу більша за об'єм зливи чи затяжного дощу та нижче критичної глибини залягання при якій може початись їх вторинне засолення.

У весняний період глибина залягання РГВ повинна забезпечувати нормальні умови для посіву рису та супутніх культур рисової сівозміни і в оптимальні строки. Вона визначається на основі встановлення залежності водно-сольового режиму від глибини РГВ різної мінералізації та хімічного складу з врахуванням досвіду отримання планових врожаїв вирощуваних культур. Чим триваліший цей період (залягання РГВ нижче критичної глибини), тим краще протікають відновні процеси в ґрунті і тим вищі показники його родючості створюються на початок нового посівного періоду. Тому одним із показників, який необхідно враховувати при оцінюванні ПМР ґрунтів РЗС є тривалість стояння РГВ нижче критичної глибини.

На РЗС повинно забезпечуватись не лише пониження РГВ до певної глибини, а й оптимальні швидкості фільтрації з поверхні рисового поля. В період постійного затоплення посівів рису для вилучення продуктів болотного (анаеробного) розкладу та солей, а також збагачення ґрунту киснем, що розчинений в поливній воді на рисовому полі повинен забезпечуватись мінімально необхідний промивний режим, який сприяє призупиненню висхідних потоків солей обумовлених різницею хімічних потенціалів (дифузійний рух солей). Інтенсивність фільтрації води, за свідченнями багатьох науковців-рисовиків, повинна забезпечувати створення оптимальних швидкостей фільтрації з поверхні рисового чека [93; 184; 191; 190; 192; 214].

На нашу думку, яка ґрунтується на аналізі результатів досліджень фільтрації, що були проведені нами та у свій час рядом науковців [93; 145; 191; 214] для створення оптимальних водно-повітряного і сольового режимів ґрунтів зони аерації інтенсивність фільтрації в період вегетації рису повинна бути рівномірною по всій площі поливної карти, а сам фільтраційний процес має бути регульованим.

Так як ґрунти рисових полів впродовж довгого часу, більше 140 діб перебувають у стані постійного перезволоження, то для попередження небажаного ходу ґрунтових процесів, які впливають на кількість і якість сільськогосподарської продукції, дренажно-скидна мережа повинна забезпечувати оптимальні швидкості вертикальної фільтрації протягом всього вегетаційного періоду, оперативне зниження РГВ в інші відповідні технологічні періоди вирощування рису й у післяполивний період, регулярну аерацію ґрунтів зони аерації і ґрунтових вод.

Іншим показником, що характеризує меліоруючу дію технології вирощування затоплюваного рису, а саме підтримання на них необхідного промивного водного режиму як обов'язкової умови їх використання у якості угідь сільськогосподарського призначення виступає зрошувальна норма (M).

Досвід показує, що в умовах підвищеної небезпеки заболочення і засолення ґрунтів, підвищення їх родючості забезпечується при швидкому зниженні РГВ після скиду води із чеків і підтримання їх у міжвегетаційний період на глибині більше 1,5 м від поверхні землі [65; 69; 145; 6; 223; 247]. Незадовільні фільтраційні процеси, які протікають на рисових системах і пов'язані з їх некерованістю на протязі вегетаційного періоду є однією з головних причин їх незадовільного ЕМС і зниження урожайності рису і супутніх культур. Накопичення дренажного стоку у групових дренажно-скидних каналах та його несвоєчасне відведення в післяполивний період обумовлюють високе стояння РГВ (45-60 см), що негативно впливає на сольовий режим ґрунтів і активізує відновні процеси в них, які досягають піку якраз з кінця серпня і до початку жовтня. Разом з тим, використовуючи акумулюючу ємкість групової колекторної мережі і періодичну роботу дренажних насосних станцій можна

управляти процесами водорегулювання та водообігу на РЗС.

В умовах рисових систем дельти Дунаю, де оперативне управління РГВ здійснюється дренажною мережею та роботою насосних станцій і в обмежених діапазонах, які визначаються параметрами дренажу, гідрогеологічними умовами, конструкцією системи, вмістом рису в сівозміні підтримання сприятливого водно-сольового режиму ґрунтів повинно базуватись на оптимізації процесів водорегулювання за множинними змінними природно-агро-меліоративних умов, які в свою чергу ґрунтуються на системному розгляді меліоративного об'єкту як СПТЕЕС.

Так, *глибина РГВ (H_g , м)* в міжвегетаційний період для рису та в вегетаційний період для супутніх культур рисової сівозміни, *мініралізація ґрунтових вод (G , г/л)*, *інтенсивність фільтраційних процесів (швидкість фільтрації з поверхні рисового чеку – V , мм/добу)*, *тривалість періоду із стоянням РГВ нижче критичної глибини (T , дів)*, *ступінь засолення кореневмісного шару ґрунту, (S , %)*, *зрошувальна норма рису (M , мм) та загальний об'єм перекачаної води, (W_p , м³/га)* є основними показниками для РЗС, за допомогою яких доцільно виконувати оцінювання екологічної ефективності водорегулювання на РЗС при культурі рису.

Окрім того, для відображення впливу сформованого ПМР та агро-еколого-меліоративних умов зрошуваних земель РЗС на розвиток посівів рису виступає комплексний *показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів РЗС (A , бали)*. Цей показник виступає у якості комплексної (інтегральної) характеристики впливу водного, сольового, поживного й інших режимів ґрунтів на умови формування врожайності провідної культури рису і відображає, по суті, ефективну родючість ґрунту у характерних для рисової системи умовах і визначається відношенням фактичних значень врожаю рису по роках досліджень до максимально отриманої її величини у розглянутих умовах.

$$\dot{A} = \frac{\dot{O}_{\delta}}{\dot{O}_{i\delta}} \quad (4.1)$$

Показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів за своїм фізичним змістом та суттю певною мірою відповідає поняттю «бонітету ґрунту»,

особливо зважаючи на існуючі методики спеціального бонітування ґрунтів з використанням агроекологічного методу, який враховує не лише основні загальноприйняті критерії оцінки родючості ґрунту, а й показники їх екологічного стану [230; 232; 243].

Усі розглянуті показники та їх складові можуть бути визначені експериментально або за відповідними моделями прогнозування водного і загального ПМР та врожаю вирощуваних культур на РЗС.

Для визначеної сукупності показників виникає наступне логічне запитання щодо їх представництва (типовості та об'єктивності), взаємозв'язку між ними і спроможності виступати в якості критеріїв оцінки екологічної ефективності водного і загального ПМР земель РЗС в комплексних моделях оптимізації.

Для реалізації ідеї «Врожайність – функція багатьох змінних» потрібні значні дослідження, практичним результатом яких повинна бути методика побудови статистичних залежностей для прогнозу врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур з урахуванням обґрунтованої, стосовно рівня їх значущості, сукупності чинників впливу на процес формування врожайності, вибір яких доцільно здійснити за допомогою методу багатокритеріального регресійного аналізу. Згідно [156; 232], даний метод базується на побудові кореляційної матриці $|r_{mn}|$ виду

$$|r_{mn}| = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (4.2)$$

де r_{mn} – коефіцієнт парної кореляції між чинниками впливу на процес формування врожаю вирощуваної культури.

В ході багатокритеріального регресійного аналізу нами поступово виключалися ті чинники впливу, які мали найменші дольові частки впливу на процес формування врожайності культури затоплюваного рису.

Отже, маючи ряд факторів впливу на процес формування врожайності рису та потребу звести їх до комплексу найбільш вагомих, нами був здійснений багатокритеріальний регресійний аналіз багаторічних ретроспективних та сучасних даних з виробництва рису в дельті р. Дунай (КРЗС в складі ПРЗС) за

період 1966-2016 рр., з урахуванням всієї попередньо розглянутої сукупності критеріїв.

У кінцевому підсумку нами було обґрунтовано наступний комплекс критеріїв ефективності функціонування РЗС: *врожайність рису ($Y, \text{ц/га}$)* – як головний показник економічної ефективності виробництва; *глибина РГВ ($H_g, \text{м}$), їх мінералізація ($G, \%$) та тривалість стояння РГВ нижче критичної глибини ($T, \text{дів}$)* – показники, що визначають комбіновану дію факторів впливу; *зрошувальна норма рису ($M, \text{м}^3/\text{га}$) та об'єм перекачаної води ($W_p, \text{м}^3/\text{га}$)* – меліоративний (технологічний) ресурс виробництва; *показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів ($A, \text{бали}$) та засоленість кореневмісного шару ґрунту ($S, \%$)* відображають умови формування врожаю рису – екологічний ресурс виробництва; *швидкість фільтрації ($V, \text{мм/добу}$)* – ступінь впливу меліоративного (технологічного) ресурсу, що безпосередньо впливає на екологічну складову процесу формування врожаю.

Остаточні результати багатокритеріального регресійного аналізу багаторічних ретроспективних та сучасних даних з виробництва рису в дельті р. Дунай представлені у вигляді коефіцієнті парної кореляції, що подані в табл. 4.1.

Розглянуті показники мають досить високий рівень сполученості між собою, враховують динаміку й комплексність досліджуваних процесів і досить адекватно відображають різні сторони формування й виявлення водного та загального природно-меліоративного режимів за різних природно-меліоративних умов як складного природно-техногенного явища. Відмітною їх особливістю є можливість визначення наявними методами експериментальним шляхом або за допомогою рекомендованих методів і моделей для прогнозних режимних розрахунків на довготерміновій основі. Це надає можливість використовувати такі показники у будь-якому сполученні, залежно від вирішуваного завдання, як критерії екологічної ефективності в комплексних моделях оптимізації водорегулювання на РЗС.

Таблиця 4.1

Кореляційний аналіз показників ефективності функціонування РЗС

	<i>У</i>	<i>М</i>	<i>Hg</i>	<i>G</i>	<i>V</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>A</i>
<i>У</i>	1	0,0914	0,4348	0,2215	0,8086	0,8099	-0,7944	-0,144	0,9058
<i>М</i>	0,1914	1	0,111	0,2794	0,213	0,0681	0,0036	0,9563	0,145
<i>Hg</i>	0,4348	0,111	1	0,0279	0,3309	0,42	-0,6324	-0,0947	0,3779
<i>G</i>	0,2215	0,2794	0,0279	1	0,426	-0,3005	0,3014	0,2883	0,2021
<i>V</i>	0,8086	0,2131	0,3309	0,4261	1	0,722	0,6607	-0,2618	0,7396
<i>T</i>	0,8099	0,0681	0,42	-0,3005	0,722	1	-0,6645	-0,1485	-0,6548
<i>S</i>	0,7944	0,0036	-0,6324	0,3014	-0,661	0,6645	1	0,0564	0,6473
<i>W</i>	0,144	0,9563	-0,0947	0,2883	-0,262	-0,1485	0,0564	1	-0,1491
<i>A</i>	0,9058	0,145	0,3779	0,2021	0,7396	-0,6548	0,6473	-0,1491	1
Стандартні похибки коефіцієнтів кореляції									
<i>У</i>	—	0,15	0,12	0,02	0,12	0,05	0,10	0,11	0,05
<i>М</i>	0,15	—	0,14	0,14	0,15	0,14	0,08	0,10	0,11
<i>Hg</i>	0,12	0,14	—	0,13	0,14	0,14	0,05	0,15	0,08
<i>G</i>	0,02	0,14	0,13	—	0,13	0,07	0,12	0,14	0,07
<i>V</i>	0,12	0,15	0,14	0,13	—	0,12	0,03	0,14	0,10
<i>T</i>	0,05	0,14	0,14	0,07	0,12	—	0,12	0,14	0,15
<i>S</i>	0,10	0,08	0,05	0,12	0,03	0,12	—	0,12	0,14
<i>W</i>	0,11	0,10	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	—	0,15
<i>A</i>	0,05	0,11	0,08	0,07	0,10	0,15	0,14	0,15	—
$r^2=0,887$ $r=0,942$									

Остаточні вид, кількість критеріїв, умови та моделі екологічної оптимізації визначаються щодо рівня вирішуваних завдань, загальної структури побудови комплексних моделей оптимізації, раціональної кількості прийнятих до розгляду альтернативних варіантів тощо.

Матриця коефіцієнтів парної кореляції дає характеристику всіх взаємозв'язків у досліджуваній системі показників. У першому рядку та першому стовпчику таблиці наведені коефіцієнти парної кореляції, що характеризують зв'язок врожайності рису з розглянутими чинниками впливу.

Як слідує з табл. 4.1, сукупний вплив отриманого комплексу показників є досить значним, що підтверджує їх загальний коефіцієнт множинної кореляції ($r = 0,942$). Найбільш тісний кореляційний зв'язок за абсолютною величиною коефіцієнтів парної кореляції врожайність культури рису має з такими чинниками впливу як:

- показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів $|r_{mn}| = 0,90$;

- швидкість фільтрації $|r_{mn}| = 0,80$;
- тривалість стояння РГВ нижче критичної $|r_{mn}| = 0,80$;
- засоленість кореневмісного шару ґрунту $|r_{mn}| = 0,79$;

Дещо слабший, але досить істотний кореляційний зв'язок має місце з наступними чинниками:

- глибина залягання РГВ в міжполивний період $|r_{mn}| = 0,43$;
- мінералізація ґрунтових вод $|r_{mn}| = 0,22$;

Щодо показника (*M*) то, з нашої точки зору, дещо нижчий рівень його впливу $|r_{mn}| = 0,19$ на формування врожаю рису обумовлений тим, що переважна частина зрошуваної норми витрачається на створення шару води на рисовому полі та на фільтраційні втрати, а не на покриття дефіциту водоспоживання, який визначає рівень врожайності рису. Тому зрошувальна норма має опосередкований вплив на формування врожаю рису при його вирощуванні шляхом затоплення. Попри все, цей показник є також невід'ємною складовою розглянутої сукупності, оскільки підкреслює і наочно характеризує, перш за все, саме меліоративну (техногенну) складову впливу на умови формування водного і загального ПМР рисового поля. Це відноситься і до показника об'єму перекачаної води, який має теж низький вплив на формування врожаю рису $|r_{mn}| = 0,14$.

Згідно отриманих даних регресійного аналізу маємо наступний розподіл вагомості впливу досліджуваних чинників, залежно від їх дольової участі в процесі формування культури рису:

- об'єм перекачаної води – **4%**;
- засоленість активного шару ґрунту – **17%**;
- тривалість стояння РГВ нижче критичної глибини – **13%**;
- мінералізація ґрунтових вод – **8%**;
- показник агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів РЗС – **25%**;
- швидкість фільтрації з поверхні чеку в вегетаційний період – **15%**;
- зрошувальна норма рису – **8%**;
- глибина залягання РГВ в міжполивний період – **10%**.

Отже, в процесі формування врожайності культури рису в умовах ПРЗС визначальне значення мають показник *агро-еколого-меліоративного стану ґрунтів (A, бали)*, *засоленість активного шару ґрунту (S, %)* (екологічна складова), *швидкість фільтрації води з поверхні рисового чека в вегетаційний період (V, мм/добу)*, *тривалість стояння РГВ нижче критичної глибини (T, діб)* (меліоративна складова) та дещо слабше значення - *глибина залягання РГВ в міжполивний період (Hg, м)*.

Наведені дані свідчать про досить високий рівень сполученості між розглянутими чинниками, різними за своєю природою, та суттєвість їх впливу на процес формування врожайності рису.

Отримані результати створюють передумови для подальшого цілеспрямованого управління РЗС з метою підвищення загальної ефективності їх функціонування з дотриманням сучасних еколого-економічних вимог на основі комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей, у тому числі моделей врожайності культур рисової сівозміни.

Так, оцінка ефективності функціонування ПРЗС за визначеними критеріями надасть можливість об'єктивно підійти до вирішення питання щодо обґрунтування раціональних способів, режимів та схем регулювання ПМР на зрошуваних землях рисової системи й, відповідно, типів, конструкцій, параметрів, схем та режимів роботи РЗС з дотриманням існуючих екологічних вимог.

У свою чергу, це створить можливість обґрунтовувати не лише технічно й технологічно досконалі, але й екологічно безпечні інженерні рішення в практиці проектування, реконструкції та експлуатації РЗС.

Тепер розглянемо сукупність показників, які характеризують ефективність функціонування РЗС в цілому.

Що ж стосується вирощування супутніх культур рисової сівозміни, то на підставі аналізу й узагальнення численних даних літературних джерел [20; 55; 21; 214; 224; 223], наукових досліджень рекомендується для використання така сукупність показників, які висвітлюють різні сторони складного характеру умов формування водного режиму під дією кліматичних і меліоративних факторів:

Hg_1 – глибина РГВ (середня за період вегетації), м; IW – рівень вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; $n(IW)$ – тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію; Q – величина сумарного вологообміну за вегетацію, $m^3/га$; 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; IC – комплексний показник вологозабезпеченості ґрунту за вегетацію; M – зволожувальна норма за вегетацію, $m^3/га$; S_1 – засоленість активного шару ґрунту, %; G_1 – мінералізація ґрунтових вод, г/л; Θ – частка рису в сівозміні, %.

Тут глибина РГВ Hg_1 і вологість W_h найбільш активного шару ґрунту $h = 0,4-0,6$ м, представлені для більшої показовості і зручності порівняння у відносному вигляді як IW , є основними загальноприйнятими показниками, за допомогою яких традиційно виконується оцінка і характеризується водний режим зрошуваних та осушуваних земель. Але середні значення цих показників у цілому за період вегетації не відображають динамічний характер їхньої зміни в часі під дією зовнішніх факторів.

Для усунення цього недоліку введено так званий *показник надійності* (тривалості) підтримання сприятливого водного режиму активного шару ґрунту у цілому за період вегетації $n(IW)$. Він визначається як відсоток (%) або частка тривалості підтримання сприятливого водного режиму в межах відповідного розрахункового періоду. Разом з показником сумарного вологообміну $\pm Q$, що визначається як результуюча між інфільтрацією (-) VI та живленням (+) VP активного шару ґрунту h – і є загальною характеристикою напрямку, величини й інтенсивності геологічного кругообігу води на меліорованих землях (рис. 4.1), для оцінки різних способів зволоження ґрунтів РЗС (підґрунтове зволоження і зрошення дощуванням) розглядається показник витрат води на зволоження M (зволожувальна норма) відповідним способом.

дольова частка рису в сівозміні (як показник ступеню його меліоративного впливу), як правило, змінюється, що відповідно позначається як на загальній ефективності функціонування РЗС, так і на її найважливіших складових.

Таким чином, розглянуті показники враховують динаміку й комплексність досліджуваних процесів і досить адекватно відображають різні сторони формування й виявлення водного та загального ПМР за різних природно-меліоративних умов як складного природно-техногенного явища. Відмітною їх особливістю є можливість визначення наявними методами експериментальним шляхом або за допомогою рекомендованих методів і моделей для прогнозних режимних розрахунків на довготерміновій основі. Це надає можливість використовувати такі показники у будь-якому сполученні, залежно від вирішуваного завдання, як критерії екологічної ефективності в комплексних моделях оптимізації водорегулювання на РЗС.

4.2. Агротехнічні та агроеліоративні умови вирощування рису та супутніх культур

4.2.1. Агротехнічні особливості вирощування рису

Розробка технології вирощування рису – складне науково-практичне та виробниче завдання. У загальному випадку така технологія повинна враховувати ґрунтово-кліматичні та ландшафтні особливості регіону, передбачати увесь комплекс прийомів з обробітку ґрунту, підвищення його родючості, раціонального використання органічних і мінеральних добрив, хімічних засобів захисту рослин, забезпечення своєчасності посіву, сприятливого водного, сольового режимів та загального еколого-меліоративного стану, боротьби з бур'янами, хворобами і шкідниками, максимальної механізації всіх робіт тощо. Крім того, вона повинна передбачати комплекс природоохоронних заходів для максимального зниження шкідливого впливу рисосіяння на довкілля як середовища проживання населення.

Традиційна технологія вирощування рису в Україні ґрунтується на застосуванні, головним чином, мінеральних добрив і не орієнтована на

одночасне відновлення родючості ґрунтів. Водночас не всі, навіть ефективні технологічні прийоми, які спрямовані на підвищення врожаю культури, одночасно позитивно впливають на родючість ґрунтів, меліоративний стан та екологічне середовище.

В процесі розроблення технології вирощування рису потрібно виходити, насамперед, з основних біологічних особливостей рису як теплолюбивої культури для якої найважливіше значення мають не лише кліматичні чинники (інтенсивність освітлення, температура ґрунту, повітря та води, водозабезпеченість), але й едафічні (забезпеченість мінеральними елементами живлення, органічною речовиною). Крім того, ці фактори постійно відхиляються від оптимуму як під впливом природних умов, так і господарської діяльності, які, в кінцевому підсумку, визначають рівень урожайності культури. На кінцевий урожай впливають також засоленість і заболоченість ґрунтів, меліоративні та гідрологічні умови, які необхідно враховувати при проведенні технологічних операцій.

Так, найбільший ефект від застосування технології вирощування рису буде досягатись лише за умови виконання всього комплексу необхідних агро- та меліоративних прийомів у їх взаємозв'язку і послідовності.

Основними показниками, що визначають ЕМС сільськогосподарських земель є:

- рівень та хімічний склад ґрунтових вод;
- тип і ступінь засоленості ґрунтів;
- ступінь дренажності рисового поля;
- екологічний стан агроландшафту.

Найсприятливішим РГВ на більшості рисових систем України у міжвегетаційний період є показник 1,5-1,8 м. Вважається, що при такому РГВ забезпечується промивний режим ґрунтів і встановлюється сприятливий ЕМС загалом. При відхиленні цього показника у менший бік знижується врожайність і якість зерна рису.

На ділянках з близьким стоянням РГВ, а, отже, і незадовільними меліоративними умовами, внаслідок перезволоження верхнього горизонту

ґрунтів за рахунок підтікання вологи з капілярної кайми, відбувається посилення відновних процесів. Це призводить до накопичення не тільки шкідливих солей, а і закисних форм заліза, сірководню, рухомих форм марганцю, зростання величини pH та зменшення вмісту азоту. На ґрунтах, які до моменту сівби рису не встигають добре окислитися, неокислені сполуки викликають значну розрідженість сходів і зниження врожаїв рису.

Накопичення солей у верхніх шарах ґрунту починається ранньою весною і до моменту сівби може перевищувати поріг токсичності. Вміст солей на рівні 0,1-0,2% маси сухого ґрунту вважається сприятливим для рослин рису. Але, тим не менш, необхідно постійно пам'ятати, що процеси засолення – розсолення динамічні і зниження уваги до них може призвести до негативних наслідків. Про це свідчить той факт, що на землях, виведених з рисових сівозмін, активно йдуть процеси засолення як ґрунтів, так і підвищення мінералізації ґрунтових вод. За 4-7 років відбувається відновлення рівня засолення ґрунтів.

У зв'язку з цим, для збереження сприятливого ЕМС земель, на яких розташовані рисові системи необхідне обов'язкове виконання наступних експлуатаційних і технологічних заходів:

- систематичний контроль за зрошувальною системою і дренажною мережею, своєчасне їх очищення та ремонт;
- утримання гідротехнічних споруд у робочому стані;
- якісне та своєчасне вирівнювання посівних площ, економія зрошувальної води, що сприяє мінімізації об'ємів скидів води;
- виконання всіх агротехнічних прийомів, постійне спостереження за еколого-меліоративним станом ґрунтів, підвищення показників родючості;
- застосування хімічних меліорантів (гіпс, фосфогіпс, подрібнений вапняк тощо).

Якщо дотримання перерахованих заходів не дає відповідного ефекту, то для досягнення і підтримання сприятливого ЕМС необхідно передбачати більш кардинальні технічні заходи. Впровадження в практику рисосіяння принципово нових конструкцій РЗС (за принципом роботи системи В. Й. Маковського),

рисових систем з удосконаленою дренажно-скидною мережею дасть змогу застосовувати енерго- та ресурсозберігаючі технології вирощування рису і супутніх сільськогосподарських культур, забезпечить економію зрошувальної води та сприятливий ЕМС земель, високі врожаї екологічно безпечного рису.

4.2.2. Ефективність вирощування супутніх культур та обґрунтування структури рисової сівозміни

Безпосереднім призначенням РЗС, виходячи з їх спрямування, є вирощування рису, однак тривале вирощування цієї культури негативно впливає на стан родючості ґрунтів, сприяючи їх деградації.

Тому важливою умовою стабільного виробництва на зрошуваних землях РЗС без порушення їх екологічної рівноваги є дотримання науково обґрунтованих рисових сівозмін як необхідної умови забезпечення перебігу сприятливих ґрунтових процесів.

Рисові сівозміни є спеціалізованими і кожний гектар рисового поля повинен забезпечувати отримання максимальної кількості зерна провідної затоплюваної культури рису за рахунок, насамперед, створення необхідного водно-повітряного та сольового режимів на картах-чеках.

Тому, на рівні з необхідними режимно-технологічними умовами, на рисових полях повинні бути введені такі сівозміни і підібрані такі попередники, які б сприяли дотриманню необхідних вимог та забезпеченню проектного рівня продуктивності посівів рису. Ефективність впливу цих культур на наступні врожаї рису залежить від ступеня їх розвитку і врожайності.

В зв'язку з цим, питання вибору та обґрунтування структури рисових сівозміни повинно вирішуватися з точки зору впливу попередників на хімічні, фізичні і біологічні фактори підвищення родючості ґрунту.

Визначення раціональної, з точки зору досягнення максимальної ефективності функціонування РЗС, структури рисової сівозміни потребує проведення аналізу ретроспективного та сучасного стану виробництва супутніх культур рисової сівозміни, аналогічно до проведеної оцінки виробництва культури рису.

Різними питаннями ефективності функціонування РЗС України у свій час займалися Л. В. Скрипчинська, Д. Г. Шапошников, Т. М. Кірієнко, І. С. Жовтоног, О. Я. Олійник, О. Д. Обухов, С. М. Гончаров, М. Г. Степаненко, С. М. Коробченко, С. В. Ковальов, М. І. Жовтоног.

Однак, обмеженість досліджень та інформації стосовно результатів вирощування суходільних культур рисової сівозміни, у тому числі і на ПРЗС, унеможлиблює проведення відповідної систематичної оцінки ефективності їх функціонування.

У зв'язку з чим, нами опрацьовані лише наявні фрагментарні дані, що характеризують продуктивність посівів суходільних культур на КРЗС у складі ПРЗС у межах періоду 1966-2016 рр. за матеріалами науково-технічних звітів роботи наукових експедицій у складі співробітників УІВГ (нині НУВГП) та річних звітів Одеського обласного управління водних ресурсів.

Впродовж досліджуваного проміжку часу на зрошуваних землях ПРЗС у виробництво вводилися різні рисові сівозміни як за структурою, так і за дольовою часткою супутніх культур рисової сівозміни. При цьому також мали місце і не поодинокі випадки порушення структури прийнятих сівозмін та недотримання режимно-технологічних вимог вирощування сільськогосподарських культур.

Основним критерієм реалізованого поділу є структура рисової сівозміни, а саме дольові частки провідної та супутніх культур рисової сівозміни:

1966-1992 рр. – період з високою часткою рису в сівозміні (100-75%).

Освоєння засолених земель дельти р. Дунай культурою затоплюваного рису вже через 2-3 роки забезпечило формування прісноводної «подушки» та розсолення верхніх шарів ґрунту практично по своїй території системи, що надало можливість вирощувати суходільні культури.

В якості супутніх суходільних культур рисової сівозміни в перші роки експлуатації ПРЗС намагались вирощувати кукурудзу, ячмінь, озиму пшеницю, люцерну та інші культури. Але майже всі вони, з огляду на різні чинники, головним з яких є залишкове засолення ґрунтів після перших років вирощування рису, не дали очікуваних врожаїв.

Під час проведення поверхневого поливу або зрошенні дощуванням зрошувальною нормою від 230 до 1330 м³/га їх врожайність коливалась від 2 до 10 ц/га зерна у різні за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації. Водночас, не була врахована й інша особливість території дельти р. Дунай – висока її забур'яненість.

Серед приведених сільськогосподарських культур найкращі результати давала люцерна в різні роки свого життя. Під час поверхневого поливу або зрошенні дощуванням зрошувальною нормою від 1160 до 3000 м³/га її врожайність на зелену масу становила 213-305 ц/га для 1-го року вирощування та 749-973 ц/га – для 2-го року. В результаті вирощування люцерни без зрошення її врожайність в 1-й та 2-й рік життя становила 42-52 ц/га й 150-166 ц/га відповідно.

Розрахунки та дослідження режимів зрошення супутніх культур рисової сівозміни на Придунайських РЗС проведені Л. В. Скрипчинською та В. П. Волошиним [250] показали, що рекомендовані значення зрошувальної норми люцерни, на переважно легких за гранулометричним складом ґрунтах, у залежності від погодно-кліматичних умов складають від 900 до 3600 м³/га (табл. 4.2, 4.3).

Таблиця 4.2

Розрахункові зрошувальні норми люцерни під покривом ячменю на супіщаних ґрунтах по розрахункових роках

Розрахункові за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації	Зрошувальна норма, м ³ /га
дуже сухий (90%)	2600
сухий (70%)	2000
середній (50%)	1100
вологий (30%)	-
дуже вологий (10%)	-

Окрім досить високої продуктивності, люцерна відіграє значну роль в покращенні водно-сольового, теплового і фізико-хімічного режимів ґрунту, що сприяло отриманню врожаїв рису 30,6-45,8 ц/га, наближених до проектного рівня – 47 ц/га. Тому в досліджуваних умовах люцерна виявилась найкращим попередником для рису.

Розрахункові зрошувальні норми люцерни другого року на середньосуглинистих ґрунтах по розрахункових роках

Розрахункові за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації	Зрошувальна норма, м ³ /га
дуже сухий (90%)	3600
сухий (70%)	3100
середній (50%)	2200
вологий (30%)	900
дуже вологий (10%)	-

Дані, що відображають результати вирощування супутніх культур рисової сівозміни (за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації відносяться до «дуже сухих»), у виробничих умовах на різних за гранулометричним складом ґрунтах представлені в табл. 4.4.

Для більшості рисових систем, розміщених на територіях зі складними гідрогеологічними умовами, характерна відносно неглибока картова дренажно-скидна мережа (як правило, глибиною до 1,5 м) і ґрунтові води впродовж вегетаційного періоду залягають на глибині до 1,5...2,5 м, завдяки такому положенню РГВ коренева система рослин здатна використовувати ґрунтову воду впродовж всього вегетаційного періоду.

Це можливе лише за умови вирощування рису при високому його вмісті у сівозмінах, що забезпечує формування прісноводної «подушки» на системі в цілому. У зв'язку з цим, у більшості рисових господарств взагалі не проводились поливи супутніх культур.

При значному зменшенні вмісту або виведенні рису з сівозміни прісноводна «подушка» досить швидко спрацьовується і виникає необхідність поливу супутніх культур: по-перше, для створення промивного режиму ґрунтів та не допущення їх повторного засолення; по-друге, влітку РГВ буде знижуватись до глибини 2,5...3,0 м.

Отже позитивними сторонами сівозмін з високим вмістом рису були наступні:

Таблиця 4.4

Результати виробництва супутніх культур рисової сівозміни на КРЗС

Чек	Супутні культури	Спосіб поливу	Зрошувальна норма, м ³ /га	Врожайність, ц/га
легкосуглинкові ґрунти				
1	ячмінь (люцерна під покривом ячменю)	полив дощуванням	1130	3,0
2	ячмінь (люцерна під покривом ячменю)	полив дощуванням	1330	5,0
3	овес (горох під покривом вівса)	затоплення + полив дощуванням	970	3,0
4	овес (горох під покривом вівса)	затоплення + полив дощуванням	470	2,0
середньосуглинкові ґрунти				
1	ячмінь (люцерна під покривом ячменю)	затоплення	1020	18,3
2	ячмінь (люцерна під покривом ячменю)	полив дощуванням	490	14,6
легкосуглинкові ґрунти				
3	кормовий буряк	затоплення	2680	-
4	кормовий буряк	затоплення	1680	-
супіщані ґрунти				
1	ячмінь	полив дощуванням	230	10,5
2	ячмінь	полив дощуванням	230	4,7

Примітка. Затоплення + полив дощуванням – перший полив на початкових фазах розвитку культури шляхом затоплення чеків, наступні поливи – дощуванням

- значні посіви рису при високих реалізаційних цінах давали значні прибутки;

- підтримання періодичного промивного режиму на схильних до вторинного засолення землях;

- значна питома вага в сівозміні (до 33%) багаторічних трав (люцерни) сприяла підвищенню врожайності рису, збагаченню ґрунтів свіжими органічними речовинами корневих залишків, покращувала водно-фізичні

властивості ґрунту та гарантувала забезпечення тваринництва кормами, що особливо важливо в посушливих степових районах.

Водночас, перебування затоплюваного рису протягом 2, 3 і більше років на одному полі виявили низку негативних наслідків застосування таких сівозмін. Перш за все, тривале затоплення земель під посівами рису призвело до інтенсивного розвитку деградаційних процесів у ґрунтах, де накопичувались закисне залізо, рухомий марганець і сульфідні сполуки, повне окислення яких, до моменту посіву рису в наступному році, не відбувалося, що суттєво знижувало родючість ґрунтів.

Крім того, дослідження динаміки рівня засолення ґрунтів під посівами суходільних культур свідчать, що при близькому заляганні високомінералізованих ґрунтових вод, характерних для ПРЗС, активізуються процеси вторинного засолення. Це пояснюється інтенсивним випаровуванням вологи в міжполивні періоди, і, як результат - підтягуванням солей з нижніх горизонтів.

1993-2001 рр. – період з низькою часткою рису в сівозміні (33-30%).

Розвиток деградаційних процесів на зрошуваних землях РЗС та сукупний вплив соціально-економічних змін в країні на початку 90-х років минулого століття призвели до кризового стану в галузі рисосіяння.

Так, обумовлене недостатнім фінансуванням галузі необґрунтоване та неорганізоване ведення господарської діяльності на землях рисосійних господарств, що проявлялося у вигляді недотримання режимно-технологічних вимог вирощування культур рисової сівозміни та відсутністю самих сівозмін, призвело до погіршення загального ЕМС зрошуваних земель та значно знизило досягнуті за попередні роки показники виробництва рису та суходільних культур.

На жаль, по даному періоду відсутні систематизовані дані щодо ефективності вирощування супутніх суходільних культур рисової сівозміни.

2002-2016 рр. – період з середньою часткою рису в сівозміні (60-50%).

Наявна ситуація потребувала негайного вирішення, зокрема, і у зв'язку із стійким зростанням попиту на рис як на світовому, так і на внутрішньому

ринку України.

Підвищення ефективності функціонування ПРЗС в сформованих умовах було можливим лише за рахунок впровадження науково-обґрунтованих рисових сівозмін, ресурсозберігаючих режимів зрошення рису, переходу на нові високопродуктивні сорти культур рисової сівозміни та неухильного дотримання режимно-технологічних вимог їх вирощування.

Однак, самого лише сортового потенціалу недостатньо, отримувати високі та стійкі врожаї рису з підтриманням допустимого екологічного ефекту можливо лише в системі сівозмін. Тому, важливою умовою підвищення ефективності функціонування РЗС є освоєння раціональних, науково та економічно обґрунтованих сівозмін, у яких найбільш вдало поєднуються системи чергування сільськогосподарських культур, обробітку ґрунту, застосування добрив і зрошення.

На жаль, на сьогодні питання структури посівів на зрошуваних землях РЗС вирішується не на підставі наукових рекомендацій, а орієнтуючись на існуючий на світовому та внутрішньому ринку України попит на рослинницьку продукцію, а отримання відносно високих врожаїв рису (37,6-55,8 ц/га) досягається, насамперед, лише за рахунок значного підвищення рівня хімізації виробництва, що негативно відображається на споживчій якості отриманої продукції та ЕМС земель РЗС й прилеглих до системи територій.

Дані, що відображають продуктивність та структуру посівів суходільних культур даного періоду при зрошенні дощуванням (нормою від 389 до 1397 м³/га) та поверхневому поливі (нормою від 2077 до 4114 м³/га), подані в табл. 4.5.

Наведені дані з виробництва суходільних культур рисової сівозміни на ПРЗС за період 1966-2016 рр. свідчать, що в умовах дельти р. Дунай, існує об'єктивна необхідність збільшення величини їх зрошувальних норм, особливо в контексті наявних та прогнозованих змін погодно-кліматичних умов.

Таблиця 4.5

Результати вирощування суходільних культур на ПРЗС за період 2006-2011 рр.

Рік	Характеристика року за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації	Суходільні культури	Зрошувальна норма, м ³ /га	Врожайність, ц/га
2006	сухий (70%)	озимі зернові	386,0	48,5
		кукурудза на зерно	597,0	69,6
		овочі	2077	269,0
		багаторічні трави	714,0	315,0
		кормовий буряк	500,0	704,8
		технічні	770,0	17,0
2007	дуже сухий (90%)	озимі зернові	2805	38,4
		кукурудза на зерно	4114	71,0
		овочі	1980	209,0
2008	сухий (70%)	озимі зернові	377	55,4
		ярий ячмінь	765	67,5
		кукурудза на зерно	727	80,4
		багаторічні трави	1397	214
2009	дуже сухий (90%)	озимі зернові	449	51,3
		ярий ячмінь	768	35,4
2010	сухий (70%)	озимі зернові	717	49,2
		ярий ячмінь	440	45,7
		кукурудза на зерно	635	69,3
2011	сухий (70%)	озимі зернові	471	44
		ярий ячмінь	483	50,5
		кукурудза на зерно	1095	56,4
		кукурудза на силос і з.к.	500,0	150

Вирішення такого питання потребує обґрунтування оптимального, в залежності від наявних умов та очікуваних результатів виробництва, співвідношення між дільовою часткою культури затоплюваного рису та супутніх суходільних культур як необхідного чинника формування сприятливої екологічної обстановки. При цьому, структура рисової сівозміни не може бути універсальною чи єдиною, а повинна розглядатися в кожному конкретному випадку щодо зміни напряму та рівня використання зрошуваних земель, їх загального агро-еколого-меліоративного стану.

Саме тому, впровадження у виробництво раціональних науково-обґрунтованих рисових сівозмін є необхідною умовою підвищення ефективності функціонування РЗС.

Сьогодні найбільш поширеними в Одеській області є 6, 7, 8 – пільні сівозміни з вмістом рису 25-33-50% (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Склад та питома вага окремих сільськогосподарських культур у сучасних рисових сівозмінах

№ поля	Склад сільськогосподарських культур в сівозміні				
	4-пільна	5-пільна	6-пільна	7-пільна	8-пільна
1	рис	рис	рис	рис	рис
2	зернові з підсівом люцерни	зернові з підсівом люцерни	зернові з підсівом люцерни	зернові з підсівом люцерни	зернові з підсівом люцерни
3	люцерна 2-го року	Люцерна 2-го року	люцерна 2-го року	люцерна 2-го року	люцерна 2-го року
4	озима пшениця	озима пшениця	люцерна 3-го року	озима пшениця	люцерна 3-го року
5	-	озима пшениця	рис	рис	озима пшениця
6	-	-	озима пшениця	соя	рис
7	-	-	-	озима пшениця	соя
8	рис – 25%; зернові – 50%; люцерна – 25%	рис – 20%; зернові – 60%; люцерна – 20%	рис – 33%; зернові – 33%; люцерна – 34%	рис – 29%; зернові – 43%; люцерна – 14%; соя – 14%	рис – 25%; зернові – 38%; люцерна – 25%; соя – 12%

До переваг таких сівозмін відносяться:

1. Зниження матеріальних витрат при вирощуванні культур в сівозміні;
2. Люцерна, розвиваючи потужну кореневу систему, використовує для водоспоживання ґрунтову воду з опрісненої «подушки» ґрунтових вод, сформованою до цього під рисом, що зменшує затрати води на її зрошення, або повністю виключає необхідність її поливу;
3. Підпокровний посів люцерни дає змогу отримати врожай покривної культури (ярового ячменю, озимої пшениці) до 2,5-3,0 т/га;

4. Новою і досить перспективною культурою в рисових сівозмінах стала соя, яка на рисових системах забезпечує отримання урожайності до 1,5-2,2 т/га;

До недоліків таких сівозмін відносяться:

1. Насиченість рисових сівозмін основною культурою не перевищує 33%, що недостатньо для ефективної промивки ґрунтів від солей і створюється випітний водно-сольовий режим і відбувається повторне засолення та деградація ґрунтів, що призводить до різкого зниження врожайності;

2. Низьке насичення сівозмін рисом призводить до зниження загальної продуктивності сівозмін, а значить ефективність використання дорогих РЗС також знижується, що може в подальшому призвести до значних збитків рисосійних господарств.

Оскільки в останні роки зростає попит на рисову крупу і реалізаційні ціни на неї зростають то при наявності удосконаленої дренажної мережі, можна рекомендувати впровадження на зрошуваних землях 6, 7, 8 – пільних сівозмін з вмістом рису 50% і вище (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Рекомендоване чергування сільськогосподарських культур у рисових сівозмінах

№ поля	Склад сільськогосподарських культур в сівозміні		
	6-пільна	7-пільна	8-пільна
1	люцерна під покрив зернових	ярі на з/к +літній посів люцерни	люцерна під покрив зернових
2	люцерна	люцерна	люцерна
3	рис	люцерна	рис
4	рис	рис	рис
5	агромеліоративне поле +сидеральна культура	рис	агромеліоративне поле +сидеральна культура
6	рис	агромеліоративне поле +сидеральна культура	рис
7	-	рис	агромеліоративне поле +сидеральна культура
8	-	-	рис
	насичення рисом – 50%	насичення рисом – 42,8%	насичення рисом – 50%

Рекомендоване насичення сівозмін основною культурою рисом дає змогу стабілізувати загальне водоспоживання на раціональному рівні, забезпечує

підвищення родючості ґрунту за рахунок використання кращих попередників і застосування органічних та сидеральних добрив, а також дає змогу своєчасно звільнити поля від супутніх культур для проведення агротехнічних заходів й підтримання належного фітосанітарного та еколого-меліоративного стану систем.

На агро-меліоративному полі вирощують, в першу чергу, культури, які максимально використовують весняні запаси вологи, а тому менше потребують поливів, швидко нарощують зелену масу і пригнічують розвиток бур'янів.

До таких культур відносяться ярі та озимі зернові культури, зернобобові, гречка, однорічні трави, бобові та хрестоцвітні культури: буркун, ярий ріпак і гірчиця, які є непоганими попередниками для рису. Також добрими попередниками є соя та горох, які забезпечують ґрунти органічно зв'язаним азотом. Ячмінь ярий є також добрим попередником для рису. Однією з переваг вирощування ячменю ярого в рисових сівозмінках є те, що посіви цієї культури найбільш повно використовують весняні запаси ґрунтової вологи, що дає змогу рослинам швидко нарощувати вегетативну масу і пригнічувати розвиток бур'янів. Також необхідно відмітити, що у роки масового пересіву загиблої озимини площі під ярим ячменем значно підвищуються, а в південних регіонах – навіть у багато разів, бо основна маса озимини сіють на півдні.

Вирощування інших культур, які входять до рисової сівозміни, необхідне для підтримання у подальшому родючості ґрунтів рисових полів. Найкращим попередником рису є люцерна двох – трьохрічного віку. Як сидеральна культура, всім вимогам відповідає озиме жито з посівом у дозріваючий рис.

Зернобобові культури та однорічні трави вирощують у зайнятих та сидеральних парах в якості проміжних культур на зелений корм та зелене добриво.

Таким чином, існує необхідність розробки наукових рекомендацій з обґрунтування раціональних структур рисових сівозмін та величин зрошувальних норм як рису, так і суходільних культур, в залежності від вихідних умов та поставлених цілей функціонування РЗС, що повинні ґрунтуватися на комплексі прогнозно-оптимізаційних моделей, у тому числі і моделей врожайності культур рисової сівозміни.

4.3. Водний та сольовий режими рисових систем

4.3.1. Водний баланс рисового поля при укороченому режимі зрошення із застосуванням протизлакових гербіцидів

Із існуючих режимів зрошення найбільш відповідає біологічним особливостям рису укорочене затоплення. У рисосіючих господарствах України найбільш поширеним у практичному застосуванні є укорочений режим зрошення рису з використанням протизлакових гербіцидів для захисту посівів рису від бур'янів, шкідників та хвороб. Виходячи з особливостей формування водного режиму та технологій водорегулювання затоплюваної культури рису, розрахункова схема для побудови моделі їхньої оцінки та прогнозу представлена на рис. 4.2.

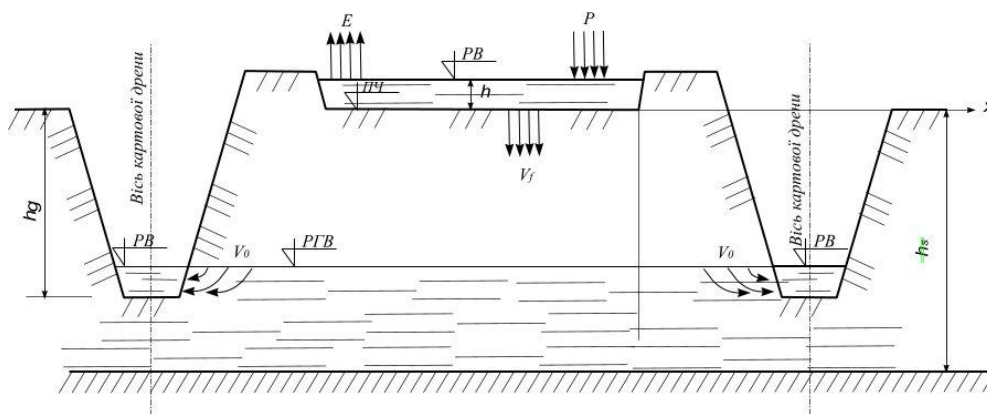


Рис. 4.2. Розрахункова схема моделі водного режиму та технологій водорегулювання при вирощуванні культури затоплюваного рису

В процесі застосування режиму зрошення з використанням протизлакових гербіцидів (рис. 4.3) зрошувальна норма визначається на основі рівняння водного балансу рисової карти за формулою

$$M = (E + T - P) + (W + V_f + V_0) + S_{ТСК} + S_{ПР} + S_{НСК}, \text{ м}^3 / \text{га} , \quad (4.4)$$

де E – випаровування з водної поверхні чеків, $\text{м}^3/\text{га}$; T – транспірація рослинами рису, $\text{м}^3/\text{га}$; P – опади, $\text{м}^3/\text{га}$; W – об'єм води, який іде на насичення ґрунту, $\text{м}^3/\text{га}$; V_f – об'єм води на вертикальну фільтрацію в ґрунті, $\text{м}^3/\text{га}$; V_0 – об'єм води на фільтраційний відтік в водовідвідну мережу і сусідні незрошені території, $\text{м}^3/\text{га}$; $S_{ПР}$ – об'єм води на створення проточності, $\text{м}^3/\text{га}$; $S_{ТСК}$ – об'єм води на технологічні скиди після початкового затоплення, кушціння, при підживленні,

при осінній просушці, $\text{м}^3/\text{га}$; $S_{НСК}$ – об’єм води на непланові скиди, які викликаються несправністю зрошувальної мережі, $\text{м}^3/\text{га}$.

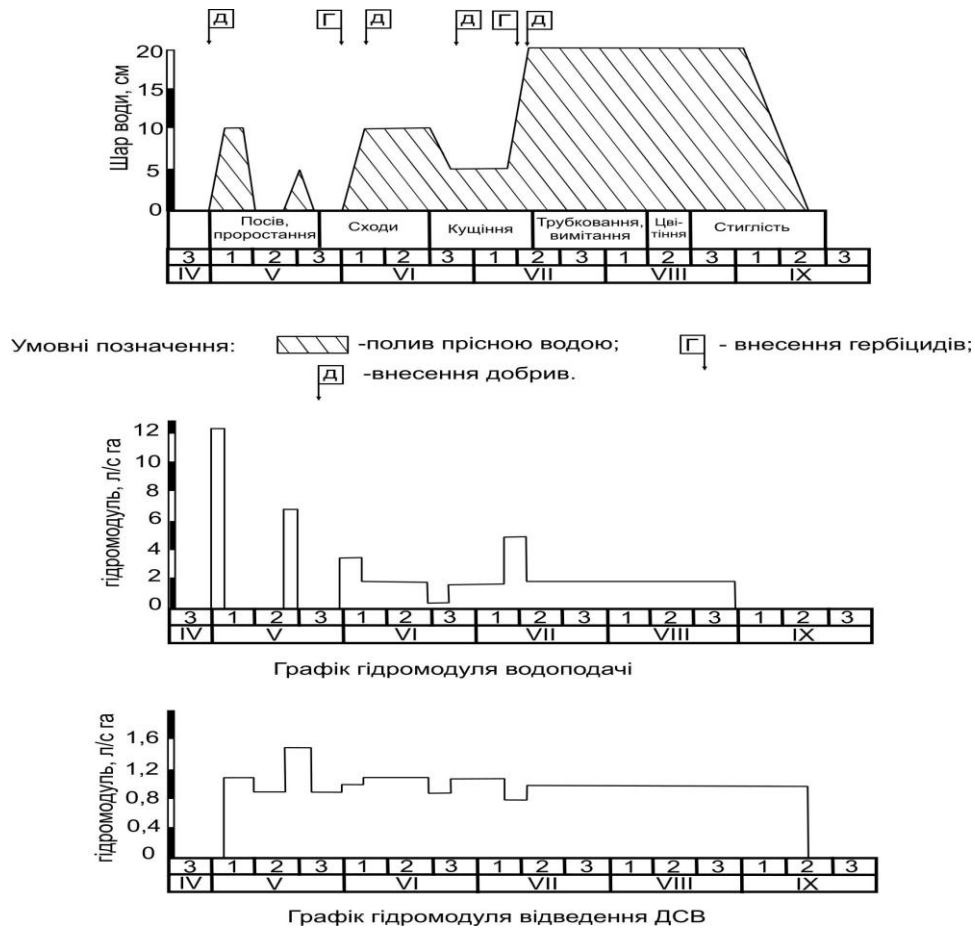


Рис. 4.3. Режим зрошення рису з застосуванням протизлакових гербіцидів

Технологічні скиди $S_{ТСК}$ не враховуються, оскільки передбачається повільне спрацювання шару води на випаровування і фільтрацію після початкового затоплення та при дозрівання рису.

Об’єм води, який іде на насичення ґрунту визначаємо за формулою

$$W = A \times \beta \times h_S, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4.5)$$

де A – шпаруватість ґрунту, % об’єму; β – вологість ґрунту, що відповідає повній вологоємності %; h_S – глибина залягання РГВ перед затопленням чеків, м

Сумарний об’єм води на бокову і вертикальну фільтрацію V_f і V_0 , тобто загальну фільтрацію F визначається за формулою

$$F = 100 \times h_n \times t, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4.6)$$

де h_n – добове пониження шару води по чеках, м; t – тривалість періоду, доби;

Сумарне випаровування з водної поверхні чеків і транспірація рослинами рису визначається за формулою

$$E + T = k_{\delta} \times E_i, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4.7)$$

де E_i – випаровування з водної поверхні, $\text{м}^3/\text{га}$; K_{δ} – коефіцієнт, який враховує біологічні властивості рису.

Об'єм води на створення проточності визначається за формулою

$$S_{np} = 0.1(E + T + F), \text{ м}^3/\text{га} \quad (4.8)$$

Сумарне випаровування, транспірація і фільтраційні втрати визначаються на основі узагальнених експериментальних спостережень, проведених рядом авторів на ПРЗС [69; 73; 71; 148; 170; 83; 214; 238].

Для розрахунків важливу роль відіграє гідромодуль водопадчі, він визначається на основі рівняння водного балансу для кожного характерного періоду впродовж вегетації рису

$$q_{\text{ПОД}}^{\text{ВОД}} = \frac{W_{\text{ВОД}}}{86,4 \times t}, \text{ м}^3/\text{га}. \quad (4.9)$$

Гідромодуль дренажно-скидних вод (ДСВ) визначається за формулою

$$q_{\text{ДС}} = \frac{W_{\text{ДС}}}{86,4 \times t}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4.10)$$

де $W_{\text{вод}}$ – водоподача, $\text{м}^3/\text{га}$; $W_{\text{дс}}$ – дренажний скид, $\text{м}^3/\text{га}$; t – тривалість відповідно періоду водоподачі або водовідведення, діб.

Розрахунок складових водного балансу проводився шляхом розбиття періоду вегетації рису на кілька найбільш важливих періодів, що характерні для водного режиму рису. Результати розрахунку складових водного балансу наведено в табличній формі (табл. 4.8).

З таблиці видно, що значення зрошувальної норми рису при запровадженні укороченого режиму зрошення з застосуванням протизлакових гербіцидів становить $M=22315 \text{ м}^3/\text{га}$. Найбільш суттєвою складовою водного балансу є втрати води на випарування і транспірацію ($E+T=8440 \text{ м}^3/\text{га}$) та фільтраційні втрати ($F=10540 \text{ м}^3/\text{га}$). Величина фільтрації найбільша на протязі травня у фазі посіву і проростання. Далі значення фільтрації зменшується. Втрати на випаровування і транспірацію починають збільшуватися в кінці третьої декади травня на початку фази сходів. Це пов'язано з тим, що збільшується листовая поверхня рослин, а отже збільшується і випаровування з них ($E+T=80 \text{ м}^3/\text{га}$ ·

добу).

Однією із складових водного балансу є технологічні скиди ($S_{ТСК}$), які можуть утворюватись на неспланованих картах-чеках при скиданні води перед сходами, кушінні та перед осіннім просушуванням чеків.

Об'єм зміни шару води рівний об'єму проточності ($S_{пр}=1160 \text{ м}^3/\text{га}$). Проточність створюється на рисових картах у фазі сходів, що припадає на першу декаду червня і закінчується у фазі стиглості, яка припадає на першу декаду вересня.

Суперечливим залишається питання доцільності застосування проточності на рисових чеках в період від сходів до фази дозрівання, на яку витрачається до $1160 \text{ м}^3/\text{га}$ зрошувальної води.

У свій час прихильники проточної системи зрошення підкреслювали її переваги [91] такими аргументами: з надходженням нових порцій води надходять поживні речовини і кисень, необхідний для дихання коренів і підводної частини рослин; разом з проточною водою виносяться розчинені у воді солі, що знижує рівень засоленості земель; регулюється температурний режим ґрунту; значно згладжується температура ґрунту, води і приземного шару повітря; припиняється процес заростання водоростями, які негативно впливають на урожайність рису; рух води на поверхні поля підсилює аерацію ґрунту.

Відзначаючи велику ефективність проточної води, М. Жапбасбаєв [91], разом з тим вважав, що проточність на чеках повинна чітко регулюватися, оскільки надмірна її величина так само шкідлива, як і абсолютна її відсутність. Більшість науковців признають необхідність проточності лише на сильнозасолених важких ґрунтах, як засіб зниження мінералізації води в чеках. Виробничі досліді, проведені багатьма дослідниками в різних умовах, засвідчують, що при значній проточності об'єм врожайності у більшості випадків не підвищується, а навіть зменшується. Причиною цього є погіршення температурних умов та умов дренажності чеків, оскільки відбувається

Таблиця 4.8

Розрахунок складових водного балансу рисового поля з застосуванням протиізлакових гербіцидів

Фенологічні фази, складові водного режиму	Привагість періоду, діб	Динаміка шару затоплення		Складові зрошувальної норми, м ³ /га							Водоподача, м ³ /га		Дренажно-скидний стік, м ³ /га	
		глибина шару, см	на початку / в кінці	Насичення ґрунтів	Створення шару води	Технологічні скиди	Випаровування і транспірація	Загальна фільтрація	Об'єм води на проточність	Об'єм, м ³ /га	Гідромодуль, л/с·га	Об'єм, м ³ /га	Гідромодуль, л/с·га	
Початкове затоплення	3	0		2025	1000	-	120	0	0	3145	12,1	0	0	
		10												
Спрацювання шару води	7	10		-	-	-	280	690	0	0	0	0	690	
		0												
Просушування чеку після початкового зволоження	7	0		-	-	-	180	550	0	0	0	0	550	
		0												
Технологічний полив	3	0		730	500	-	120	400	0	1750	6,8	400	1,5	
		5												
Спрацювання шару води	3	5		-	-	-	100	380	0	0	0	380	1,5	
		0												
Просушування чеку	7	0		-	-	-	200	540	0	0	0	540	0,9	
		0												
Створення шару води при сходах	5	0		740	1000	-	300	450	0	2490	5,8	450	1,0	
		10												
Підтримання шару води 10 см до кушення	15	10		-	-	-	900	1200	210	2310	1,8	1410	1,1	
		10												
Пониження шару до 5 см при кушінні	5	10		-	-	-	310	380	0	0	0	380	0,9	
		5												
Підтримання шару води 5 см при кушінні	15	5		-	-	-	950	1050	200	2200	1,7	1250	1,0	
		5												
Підвищення шару води до 20 см при кушінні	5	5		-	1500	-	320	350	-	2170	5,0	350	0,8	
		20												
Підтримання шару води 20 см до фази дозрівання	50	20		-	-	-	4000	3500	750	8250	1,9	4250	1,0	
		20												
Спрацювання	15	20		-	-	290	660	1050	-	-	-	1340	1,0	
		0												
Р а з о м:				3495	4000	290	8440	10540	1160	22315		11990		

переповнення скидними водами колекторно-дренажної мережі. Застосування проточності в деяких випадках призводить до винесення разом з водою значної частини мінеральних добрив, що призводить до погіршення екологічної ситуації.

Замість постійної проточності, при якій рух води в рисових чеках відбувається від точки водовипуску зі зрошувального каналу в чек до точки водовипуску з чека в дренажно-скидний канал по діагоналі чеку (по лінії найменшого гідравлічного опору) рекомендується проводити періодичну зміну води в чеку при досягненні її мінералізації до 2 г/л [256]. Поверхневі скиди при менших затратах води забезпечують повний водообмін, чого не досягається в процесі проточності. Отже, на промитих ґрунтах рисових систем України застосовувати проточний режим зрошення з метою опріснення води і верхнього шару ґрунту недоцільно.

Так, відмова від застосування проточного режиму зрошення на рисових чеках, дасть можливість економити понад 1000 м³/га зрошувальної води, а відповідно і затрат на її подачу та відкачування. Скиди води із рисових чеків після обробки посівів гербіцидами на протязі періоду їх детоксикації з наступним водовідведенням в джерела зрошення чи інші природні водойми (затоки морів, озер) призводять до їх забруднення та отруєння.

Отже, на сьогоднішній день однією з головних задач рисівництва, яка направлена на вирішення екологічних проблем при вирощуванні рису, є застосування укороченого режиму затоплення без застосування гербіцидів.

4.3.2. Водний баланс рисового поля при укороченому режимі зрошення без застосування протизлакових гербіцидів

На сучасному етапі найбільш обґрунтованим, як з точки зору, екологічних вимог до вирощування рису, так і з точки зору зменшення сільськогосподарських витрат, зменшення витрат на придбання протизлакових гербіцидів є впровадження укороченого режиму затоплення без застосування протизлакових гербіцидів (рис. 4.4).

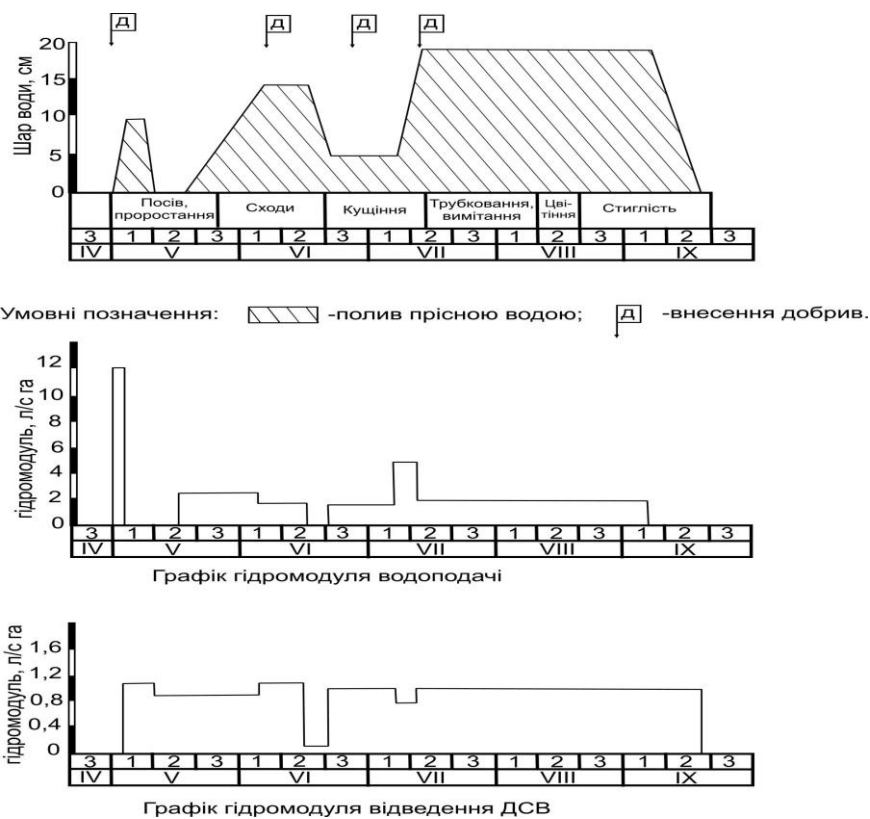


Рис. 4.4. Режим зрошення рису без застосування протизлакових гербіцидів

При такому режимі перед посівом проводиться внесення добрив в ґрунт. Після посіву рисові поля затоплюються шаром води до 10 см. В подальшому цей шар поступово спрацьовується на випаровування і фільтрацію.

Проростання відбувається без шару води, але, починаючи з другої декади травня рисові поля починають поступово затоплювати. При цьому шар води збільшують на протязі 15 діб до 15 см для знищення злакових бур'янів, які не можуть тривалий час витримувати постійне затоплення.

Шар води 15 см підтримують до закінчення фази сходів (приблизно до 2-ї декади червня). В період кушіння шар затоплення поступово зменшують за рахунок випаровування та фільтрації до 5 см (третья декада червня) і підтримують він практично до закінчення фази кушіння. Водночас проводять підкормку посівів добривами. В кінці кушіння (перша декада липня) шар води підвищують до 20 см для пониження температури води в чеку, що збільшує зернистість. Цим прийомом особливо користуються при отриманні рідких сходів, коли треба добитися максимальної зернистості. В цей період вносять добрива. Починаючи з фази трубкування глибина шару води постійно підтримується на рівні 20 см. В кінці фази дозрівання рису шар води поступово

спрацьовується за рахунок втрат на випаровування і фільтрацію. Доцільно проводити спрацювання води протягом 15-19 діб. Припиняють подачу води завчасно, щоб до настання стиглості вона повністю профільтрувалась і випарувалася.

Такий порядок осіннього передзбирального осушення полів зменшує ймовірність полягання рису і забезпечує раціональне використання зрошувальної води, не перевантажуючи, водночас, дренажно-скидну мережу.

Розрахунок складових водного балансу для даного режиму зрошення виконано за формулами, наведених в попередньому підрозділі (див. 4.3.1).

Результати розрахунку складових водного балансу при даному режимі зрошення наведено в табличній формі (табл. 4.9).

Порівнявши складові водного балансу з використанням гербіцидів і без таких бачимо, що значення зрошувальної норми рису в першому випадку ($M_1=22315 \text{ м}^3/\text{га}$) значно більше ніж в другому ($M_2=21089 \text{ м}^3/\text{га}$). Водночас втрати води на випарування і транспірацію практично не відрізняються і становлять відповідно $8440 \text{ м}^3/\text{га}$ та $8444 \text{ м}^3/\text{га}$. Фільтраційні втрати при застосуванні гербіцидів більші ніж, якщо їх не використовувати і становлять відповідно $10540 \text{ м}^3/\text{га}$ та $10176 \text{ м}^3/\text{га}$. Прихідна частина водного балансу для РЗС дельти Дунаю в обох випадках визначається величиною зрошувальної норми, та становить 94-95% від неї. Найбільш вагомою складовою витратної частини є загальна фільтрація, яка знаходиться в межах 10-11 тис. $\text{м}^3/\text{га}$, що становить 47-48% витратної частини водного балансу. Інші витратні статті водного балансу (насичення ґрунту, випаровування, сумарне водоспоживання, поверхневі скиди) не залежать як від режиму зрошення так і конструкції та параметрів поливних карт.

Затрати води на насичення ґрунтів до повної вологоємності залежать від шпаруватості ґрунту, її вологості на момент проведення поливу, а також глибини залягання РГВ. Чим важчі ґрунти за гранулометричним складом, тим більше часу потрібно для насичення їх водою. На суглинистих ґрунтах вода

Таблиця 4.9

Розрахунок складових водного балансу рисового поля без застосування гербіцидів

Фенологічні фази, складові водного режиму	Тривалість періоду, днів	Динаміка шару затоплення		Складові зрошувальні норми, м ³ /га							Водоподача, м ³ /га		Дренажно-складний стік, м ³ /га	
		глибина шару, см	на початок / в кінці	Створення шару води	Технічні скиди	Випаровування і транспірація	Затяжна фільтрація	Об'єм води на проточність	Об'єм, м ³ /га	Літр/га	Об'єм, м ³ /га	Літр/га		
Початкове затоплення	3	0	2025	1000	-	120	0	0	3145	12,1	0	0		
		10												
Спрацювання шару води	7	10	-	-	-	280	690	0	0	-	-	690	1,1	
		0												
Просушування чеку після початкового зволоження	7	0	-	-	-	180	550	0	0	-	-	550	0,9	
		0												
Затоплення посівів з метою боротьби з бур'янами	19	0	820	1500	-	720	1414	0	4454	2,2	0	1414	0,9	
		15												
Підтримання шару води 15 см до куціння	13	15	-	-	-	780	1040	0	1820	1,6	0	1040	1,1	
		15												
Пониження шару до 5 см при куцінні	7	15	-	-	-	434	532	0	-	-	-	532	0,1	
		5												
Підтримання шару води 5 см при куцінні	15	5	-	-	-	950	1050	0	2000	1,7	0	1050	1,0	
		5												
Підвищення шару води до 20 см при куцінні	5	5	-	1500	-	320	350	-	2170	5,0	-	350	0,8	
		20												
Підтримання шару води 20 см до фази дозрівання	50	20	-	-	-	4000	3500	0	7500	1,9	0	3500	1,0	
		20												
Спрацювання шару води	15	20	-	-	290	660	1050	-	-	-	-	1340	1,0	
		0												
Р а з о м:			2845	4000	290	8444	10176	0	21089			10466		

інтенсивно поглинається протягом перших 2-3 годин від початку затоплення. За цей час зволожується в основному верхній 0,5 м шар ґрунту.

Різке зменшення витрат води на поглинання (після зволоження верхнього шару ґрунту) дає можливість створити шар на поверхні чеку значно швидше, ніж відбудеться насичення ґрунту до глибини залягання ґрунтових вод або водоупору.

Як показали спостереження на КРЗС, в умовах суглинистих солонцюватих ґрунтів в перші 2-3 доби після затоплення рисового поля в ґрунт поглинулось від 5-3,2 см шару води за добу, а далі лише 0,2-0,4 см.

На насичення в залежності від гранулометричного складу ґрунту та глибини залягання ґрунтових вод на початку поливного періоду витрачається 2,8-3,5 тис. м³/га зрошувальної води, що становить 13,5-15,6% для наведених режимів зрошення.

Створення і підтримання необхідного водного режиму ґрунтів рисового поля забезпечує отримання високих врожаїв рису, зокрема і на засолених землях.

Співставляючи дані по фактичних зрошувальних нормах для КЧД з різними параметрами дренажно-скидної мережі Гончаров С.М. [73; 69] прийшов до висновку, що при міждренній відстані 200 м зрошувальна норма на 2550 м³/га та 3440 м³/га вища ніж при відстані 250 та 500 м. При цьому врожай рису також при відстані 200 м був вищим (36-45 ц/га).

Низька врожайність рису на картах з відстанню 500 м (20-21 ц/га) пояснюється погіршенням їх ЕМС та незадовільним сольовим режимом ґрунтів, який обумовлений відсутністю промивного режиму зрошення із-за низької фільтраційної спроможності даної рисової карти.

4.3.3. Формування сольового режиму рисових систем

Вивчення водного і сольового режиму рисових зрошуваних територій має важливе значення для загального контролю меліоративного стану земель і попередження процесів вторинного засолення ґрунтів і погіршення меліоративної обстановки на масивах нового освоєння, а також для розробки

науково обґрунтованих заходів з меліорації вже засолених і вибулих з сільськогосподарського виробництва земель.

Головною агроекологічною особливістю засолених ґрунтів є наявність у кореневмісному шарі шкідливих солей в кількості, що перевищує допустиму для розвитку сільськогосподарських рослин або приводить до значного зменшення їх урожайності. Засоленість ґрунту впливає на врожайність практично всіх сільськогосподарських культур. Так, наприклад, при слабкому засоленні урожайність ячменю знижується на 30-40%, кукурудзи на 40-50%, пшениці на 50-60%. При середньому засоленні врожайність ячменю знижується на 40-60%, кукурудзи на 60-70%, а пшениця гине. Навіть врожайність рису, яка отримана при вирощуванні його під шаром прісної води, при високому ступені засолення не перевищує 10-15 ц/га [250].

Інтенсивність розсолення ґрунтів на рисових системах при тривалому вирощуванні затоплюваного рису визначалось вихідним засоленням і хімізмом легкорозчинних солей, водопроникністю, розміщенням досліджуваних площ відносно зрошувальної та дренажної мережі, здатністю дренажу активно впливати на рівневий і сольовий режим ґрунтових вод, що у першу чергу залежить від конструкції і параметрів останнього.

Багаторічні дослідження науковців, в тому числі, наші дають можливість прослідкувати динаміку сольового режиму ґрунтів і вивчити складові елементи сольового балансу на ПРЗС.

Уже після першого року експлуатації рисових систем запаси солей в 1,5-метровому шарі ґрунту зменшились на 44%, а після другого року – на 63% від початкового їх вмісту [123]. Тому освоєння засолених земель, в першу чергу, вимагає проведення попередніх промивок ґрунтів, технологія яких залежить від конкретних ґрунтово-меліоративних умов території. З цієї точки зору здійснення промивки засолених земель дельти Дунаю шляхом вирощування культури затоплюваного рису, на нашу думку, було цілком доцільним.

В перші роки експлуатації рисових систем з метою досягнення швидкого промивного ефекту була запропонована технологія вирощування рису, яка передбачала його високий вміст в сівозміні, навіть перехід на монокультуру

впродовж трьох і більше років. Така технологія на рисових системах дельти Дунаю забезпечила вже через 4-5 років достатнє опріснення ґрунтів і ґрунтових вод при високому їх вихідному засоленні. При цьому промивний ефект досягався за рахунок тривалої примусової фільтрації значних об'ємів прісних вод при зрошувальних нормах більше 25 тис. м³/га. Поступове проникнення поверхневих зрошувальних вод в глибину ґрунтового профілю та під тиском зверху впродовж тривалого терміну обумовило формування «подушки» прісних вод. Спостереження за мінералізацією ґрунтових вод (МГВ) до глибини 10 м показала, що так звана «подушка» слабомінералізованих (до 10 г/л) ґрунтових вод за перші чотири роки експлуатації системи під рисом в умовах суглинистих ґрунтів досягла глибини 2,3-3,5 м [69; 73; 71]. Наявність такого прісного прошарку ґрунтових вод гарантує в деякій мірі стійкість досягнутого за декілька років промивного ефекту. Але поступове скорочення площ посівів рису, починаючи з 1991 року, порушили досить нестійкий меліоративний стан раніше засолених або схильних до засолення земель ПРЗС, які майже більше тридцяти років знаходились у періодичному промивному режимі з сформованим комплексом взаємопов'язаних водних і ґрунтових процесів.

Аналіз інтенсивності розсолення показав, що найбільші її значення на всіх ґрунтах і типах поливних карт спостерігались впродовж першого року вирощування рису, коли мало місце високе вихідне засолення при переважанні хлоридів та сульфатів, тобто найбільш легкорозчинних солей. Зменшення засоленості відбувалось в основному за рахунок іонів Cl^- , SO_4^{2-} і Na^+ , K^+ . Зі зменшенням кількості найбільш легкорозчинних солей інтенсивність розсолення ґрунтів мала тенденцію до зниження і її мінімальні значення фіксувались при досягненні низького солевмісту в ґрунтах (<0,3 %), тобто на стадії завершення процесу вимивання легкорозчинних солей, тривалість якого залежно від конкретних умов складала від 3 до 12 років. По закінченню цього процесу, тобто зі значним зменшенням хлоридів і сульфатів в окремих випадках, особливо на важкосуглинистих ґрунтах, спостерігалось підвищення лужності з 0,03 до 0,08%, що супроводжувалось збільшенням pH водної витяжки з 6,6-7,0 до 8,5-8,7. Це свідчить про те, що надмірне тривале

промивання ґрунту може стати однією з причин активізації деградаційних процесів, про що уже говорилось раніше.

У зв'язку з цим з'явилась потреба встановлення залежності між інтенсивністю опріснення ґрунтів і вихідним вмістом солей в них для різних геологічних умов та при різних параметрах поливних карт. В результаті опрацювання багаточисленних даних з розсолення ґрунтів Степаненком М. Г. [256] встановлені залежності, які в загальному вигляді виражені рівнянням

$$K = A/C_e^x, \quad (4.11)$$

де $K = C_o/C_e$ – коефіцієнт інтенсивності опріснення 1 м шару ґрунту; A, x – емпіричні коефіцієнти; C_e – вміст солей в 1 м шарі ґрунту до початку затоплення чеків в % від маси сухого ґрунту; C_o – теж, після закінчення поливного сезону, в % від маси сухого ґрунту.

Запаси солей в ґрунті після вирощування на них рису визначаються за виразом

$$C_o = K \times C_e, \quad (4.12)$$

де коефіцієнт K знаходиться за наступним залежностям: $K = 0,380/C_e^{0,90}$ – для лугових важкосуглинистих ґрунтів з шириною карти 100 м; $K = 0,429/C_e^{0,354}$ – для лугових важкосуглинистих ґрунтів з шириною карти 200 м.

Аналогічні залежності встановлені і для інших типів ґрунтів та параметрів поливних карт. Використовуючи наведені залежності можна без проведення трудомістких хімічних аналізів встановити ступінь засолення 1 м шару ґрунту в залежності від вихідного засолення після вирощування на даних ґрунтах рису при різних параметрах поливних карт та ґрунтово-геологічних умовах.

Авер'яновим С. Ф. [2] запропоновані формули для визначення тривалості опріснення ґрунтів в залежності від інтенсивності фільтрації та шпаруватості ґрунту. При близькому заляганні водоупору тривалість опріснення визначається за формулою

$$t = \frac{m \cdot H_c}{v} \ln \frac{H_c}{H_c - x}, \quad (4.13)$$

де t – тривалість розсолення шару ґрунту, діб; m – активна шпаруватість; H_c – середня потужність водоносного горизонту, м; v – інтенсивність фільтрації,

м/добу; x – глибина опріснення ґрунту, м

Для умов ПРЗС нами побудований графік залежності тривалості опріснення ґрунтів від інтенсивності фільтрації та глибини розсолення (рис. 4.5).

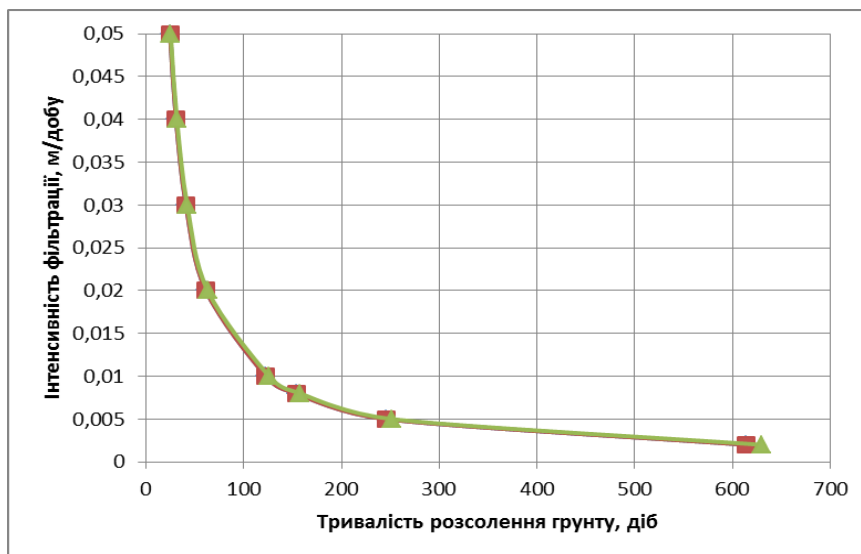


Рис. 4.5. Залежність тривалості опріснення ґрунтів на глибину 3 м від інтенсивності фільтрації для умов Придунайських РЗС

При певній інтенсивності фільтрації рисового поля можна встановити необхідний термін вирощування рису на ньому з метою опріснення ґрунту на необхідну глибину.

Середні швидкості фільтрації на картах-чеках ПРЗС в залежності від існуючих параметрів дренажно-скидної мережі за результатами експериментальних досліджень знаходяться в межах: при $B=200$ м – $V=0,004-0,005$ м/добу, при $B=250$ м – $V=0,002-0,004$ м/добу, а при $B=500$ м – $V = 0,001-0,002$ м/добу.

При таких малих швидкостях процес опріснення ґрунтів відбувається дуже повільно, що вимагає збільшення терміну вирощування рису на даному полі або підвищення його дренаваності. Так при середніх швидкостях фільтрації 1-2 мм/добу тривалість опріснення ґрунту становить при відповідних параметрах дренажно-скидної мережі, наприклад ($B=200$ м) – 2-3 роки.

Отримані результати співпадають з результатами Мендуся С. П, який пропонує розсолюючу здатність дренажу на КЧД визнати за формулою [170]

$$t = \frac{B \cdot (\ln S_0 - \ln S_t)}{2a \cdot h_g}, \quad (4.14)$$

де t – тривалість промивки, років; B – відстань між дренами, м; a – коефіцієнт, що залежить від гранулометричного складу ґрунту і рівний для легкосуглинистих ґрунтів – 54,5 і важкосуглинистих ґрунтів – 42; h_g – глибина закладання дрени, м; S_0 – вихідне засолення метрового шару ґрунту, % від м.с.г.; S_t – допустиме засолення метрового шару ґрунту, % від м.с.г.

Дані розрахунки підтверджують, що розсолення ґрунтів рисових систем вимагає збільшення дренаваності рисових полів, та в першу чергу, забезпечення рівномірної інтенсивності фільтрації по всій рисовій карті за рахунок зменшення міждренних відстаней на існуючих системах, провівши їх часткову реконструкцію.

В умовах ПРЗС на сольовий режим ґрунтів безпосередньо впливають ґрунтові води, які у міжвегетаційний період залягають неглибоко (до 2 м) і мають досить високу мінералізацію (20-30 г/л).

С. М. Кропивко [148] встановлено, що при мінералізації ґрунтових вод до 10 г/л вплив ґрунтових вод на засолення ґрунтів несуттєвий, а зі збільшенням мінералізації понад 10 г/л зв'язок між ступінню засолення ґрунту і мінералізацією ґрунтових вод досить тісний. Аналогічні результати отримали інші автори. Так академік О. М. Костяков [146] встановив залежність критичної глибини залягання рівня ґрунтових вод $H_{кр}$ від їх мінералізації (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Залежність критичної глибини РГВ ($H_{кр}$) від мінералізації (МГВ)

МГВ, г/л	>7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	1,5
$H_{кр}$, м	3,5	3,25	3,0	2,6	2,0	1,5

З таблиці видно, що чим вища мінералізація ґрунтових вод тим більшою має бути критична глибина їх залягання.

На основі даних, отриманих в результаті багаторічних досліджень інститут Укрводпроект рекомендує наступні величини $H_{кр}$ в залежності від МГВ і засолення ґрунтів (табл.4.11).

Таблиця 4.11

Значення допустимих глибин ґрунтових вод для зрошуваних земель

Засолення ґрунтів	Мінералізація ґрунтових вод до 3 г/л	Мінералізація ґрунтових вод >3г/л
Незасолені	1,2-1,3	1,3-1,5
Слабозасолені	1,3-1,5	1,5-1,8
Середньозасолені	1,5-1,8	1,8-2,0
Сильнозасолені	1,8-2,0	2,2-2,3

О. Я. Олійник [191] наводить наступні дані про допустимі величини залягання РГВ залежно від МГВ та гранулометричного складу ґрунтів (табл. 4.12).

Аналіз даних багаторічних спостережень за формуванням гідрохімічного режиму ґрунтових вод у межах рисових систем дельти Дунаю показав, що з вводом останніх в експлуатацію почався процес опріснення ґрунтових вод. Причому інтенсивність цього процесу у загальному випадку має яскраво виражений, затухаючий вниз по вертикалі характер.

Таблиця 4.12

Допустимі значення глибин залягання РГВ на незасолених і слабозасолених землях степової зони

Мінералізація ґрунтових вод, г/л	Піщані і супіщані ґрунти	Легко - і середньосуглинисті ґрунти
До 5,0	До 1,0	До 1,5
5,0-10	До 1,5	До 2,0
10-20	До 2,0	До 2,5
>20	До 2,5	До 3,0

Процес опріснення верхніх шарів ґрунтових вод носить досить нестабільний характер. Розмір площ з різною мінералізацією може змінюватися впродовж року на 100%. Причини такої неоднорідності не виявлені. По деяких припущеннях, це може бути пов'язано зі зміною напірності у водонасиченій товщі і переміщенні солей у вертикальному напрямку за рахунок сил конвективної дифузії.

Зміна мінералізації ґрунтових вод при тривалому вирощуванні рису супроводжувалась і зміною їх хімічного складу, в першу чергу за рахунок зменшення вмісту хлоридів і сульфатів. Суттєво зменшилась в ґрунтових водах

кількість всіх катіонів і аніонів, за виключенням HCO_3^- , вміст яких у деяких випадках навіть підвищувався (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Хімічний склад ґрунтових вод на КРЗС

Тип поливної карти	Між-дренна відстань, м	Мінералізація, г/л	Аніони, г/л			Катіони, г/л			Сума аніонів і катіонів, г/л
			HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
КЧД**	200	23,2	0,362	7,342	7,903	0,447	1,924	4,533	22,511
		4,0	0,622	0,954	0,958	0,080	0,202	0,854	3,670
ККТ**	200	18,4	0,245	7,205	5,054	0,703	1,817	2,919	17,943
		6,0	0,195	2,940	0,710	0,040	0,178	1,927	5,990
КЧД*	250	4,8	0,390	0,784	2,104	0,044	0,393	0,875	4,590
		2,8	0,546	0,553	0,733	0,152	0,102	0,555	2,641
ККТ*	250	4,3	0,146	2,317	0,357	0,121	0,318	0,972	4,321
		3,6	0,366	1,015	0,891	0,164	0,153	0,776	3,400
КЧД**	250	13,7	0,268	6,124	2,219	0,200	0,986	3,061	12,858
		5,8	0,180	2,403	1,130	0,252	0,336	1,254	5,553
КЧД**	500	30,6	0,493	13,82	5,589	0,884	1,642	7,741	30,174
		21,6	0,268	5 9,340	3,790	0,960	0,782	5,414	201,55

* – у чисельнику дані перед початком затоплення (весна), у знаменнику – через 2 роки експлуатації (осінь); ** – у чисельнику дані перед початком затоплення (весна), у знаменнику – через 5 років експлуатації (осінь)

Детальний аналіз хімічного складу ґрунтових вод під поливними картами різної конструкції і різними параметрами показав, що їх надмірне опріснення приводить до збільшення відношення суми лужних катіонів натрію і калію до суми усіх катіонів. Так, наприклад, при зменшенні мінералізації ґрунтових вод з 23,2 до 4,0 г/л цей показник збільшується на 12% (з 51,9% до 64%), тоді як при зменшенні мінералізації з 30,6 до 21,6 г/л (міждрення 500 м), його значення збільшуються тільки на 1,0-1,5% і залишаються досить високими (66-67,5%). Існує думка, що при умові близького залягання ґрунтових вод такого хімізму останні можуть стати однією з головних причин деградації – осолонцювання зрошуваних земель ПРЗС. Досить високої активності ці процеси набувають при скороченні площ посівів рису.

Хотілось би також звернути увагу на збільшення площ, в останні роки, вторинного засолення ґрунтів у 3-4 рази порівняно з 1984 роком.

Тенденція є стійкою і вірогідно, що при малому вмісті рису в сівозмінах інтенсивність вторинного засолення буде збільшуватись по мірі розсмоктування прісної «подушки» ґрунтових вод та підвищення їх мінералізації.

Крім того, погодно-кліматичні умови останніх років відрізняються від умов попередніх років і середньорічних показників в бік збільшення температур повітря (на 1,1-2,4° С) у літній період. Збільшення випаровування з поверхні незайнятих рисом полів при неглибокому заляганні мінералізованих ґрунтових вод безумовно активізує процеси вторинного засолення.

Поява на рисових системах осолонцьованих ґрунтів свідчить про активізацію деградаційних процесів. До освоєння під рис слабою солонцюватістю на КРЗС характеризувались лише лукові важкосуглинисті ґрунти. Але зрошення дунайською водою гідрокарбонатно- кальцієвого типу призвело до розсолонцювання ґрунтів.

Процес вторинного осолонцювання на рисових зрошувальних системах виникає при створенні умов, які є сприятливими для накопичення в них натрію або магнію. Розвитку цього процесу сприяє той факт, що навіть незначне соленакопичення (ґрунт лишається незасоленим) супроводжується прогресуючим накопиченням в ґрунтовому розчині натрію, що призводить до порушення співвідношення катіонів натрію і кальцію на користь першого. Ця обставина створює реальні передумови для розвитку в ґрунтах процесів осолонцювання [123].

Осолонцювання викликає в ґрунтах глибокі деградаційні зміни, які відображаються на багатьох показниках стану ґрунтів і на їх функціонуванні. Наслідки розвитку вторинного осолонцювання в чорноземних ґрунтах є: підвищення лужності, підвищення розчинності гумусових речовин, погіршення практично всіх показників фізико-механічного і гідрофізичного станів ґрунтів, що викликає погіршення їх водно-повітряного режиму. Таким чином, процес осолонцювання сприяє більш швидкому розвитку в зрошуваних ґрунтах фізичної деградації, погіршенню гумусового стану і кальцієвого режиму.

Активізація процесів осолонцювання після виведення на довгий період

більшої частини площі зрошуваних земель з під рису, на нашу думку, пояснюється надмірним і тривалим попереднім промиванням солончакових ґрунтів.

Зменшення у ґрунті хлоридів і сульфатів і збільшення лужності з 0,03 до 0,07% після 10-12 років експлуатації, що супроводжувалось також збільшенням *pH* водної витяжки з 6,5-7,0 до 8,5-8,7, свідчить про появу у ґрунтах процесів содоутворення з усіма витікаючими звідси наслідками.

У тому випадку, коли у промитих ґрунтах залишається достатньо катіонів натрію, а існуюча дренажна мережа неспроможна забезпечити оптимальний водно-повітряний режим, процес деградації може ще посилитись.

Негативну дію на ріст і розвиток рослин на засолених ґрунтах здійснює не лише кількісний показник вмісту легкорозчинних солей, але і їх кількісний склад, тобто співвідношення в ґрунті різних іонів. Причому шкідливу дію на рослини здійснюють не всі, а лише токсичні солі, до яких відносяться Na_2CO_3 , MgCO_3 , NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, Na_2SO_4 , MgSO_4 , NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 .

За тривалий період експлуатації рисових систем відбулись значні зміни кількісних і якісних показників засолення ґрунтів, що з точки зору динаміки їх зміни у часі викликає науковий інтерес.

В умовах рисових систем дельти Дунаю, де оперативне управління рівневим режимом ґрунтових вод здійснюється тільки дренажною мережею і в обмежених діапазонах, які визначаються параметрами дренажу, гідрогеологічними умовами, конструкцією системи, підтримання сприятливого сольового режиму ґрунтів для вирощування супутніх культур можливе тоді, коли в сівозміні зберігається максимальна питома вага рису (50% і більше). Зменшення посівів рису до 30% і менше, неминуче, через кілька років, приведе до значної реставрації засолення ґрунтів на полях, які використовуються під посіви супутніх культур у зв'язку з неспроможністю існуючої дренажної мережі виконати вище викладені умови.

Цей висновок підтверджується результатами сольових зйомок (рис. 4.6, 4.7).

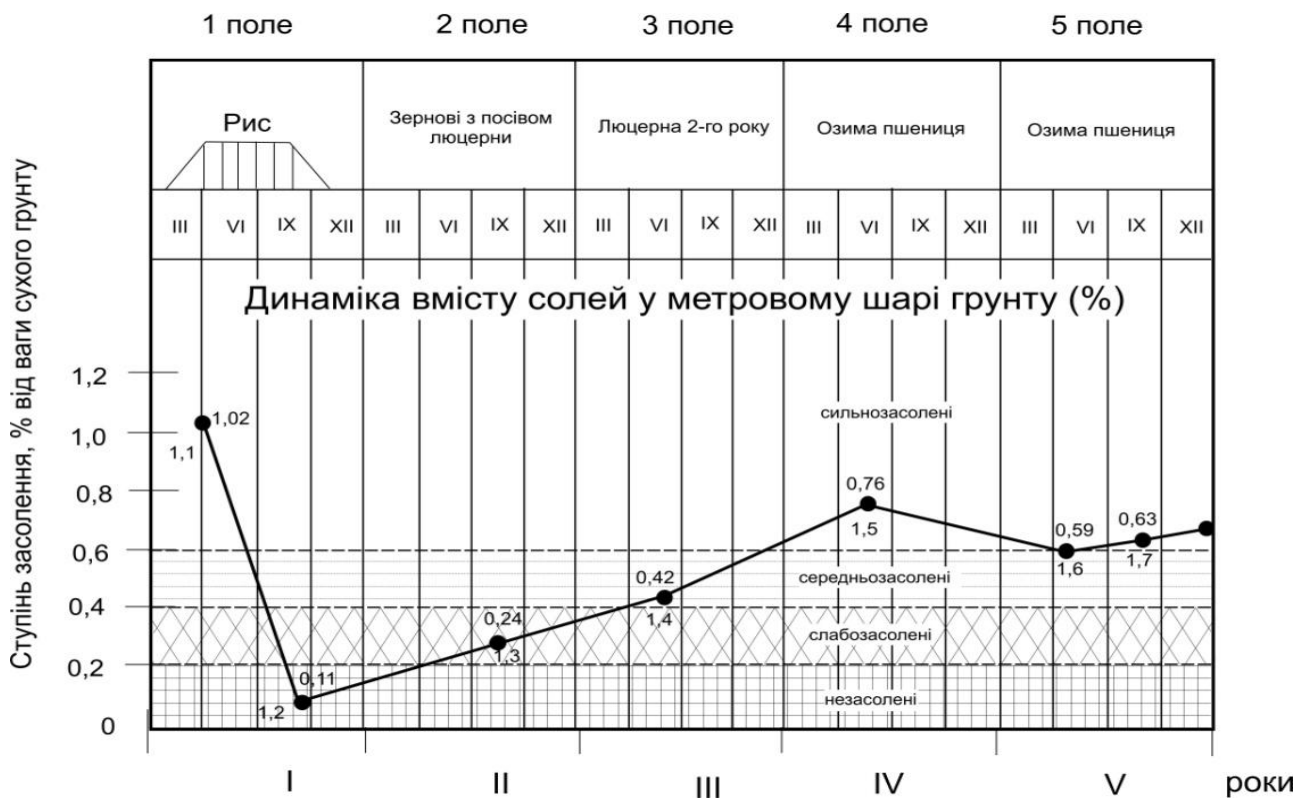


Рис. 4.6. Сольовий режим ґрунтів, що формуються у випадку виведення рису з сівоzmіни, КРЗС

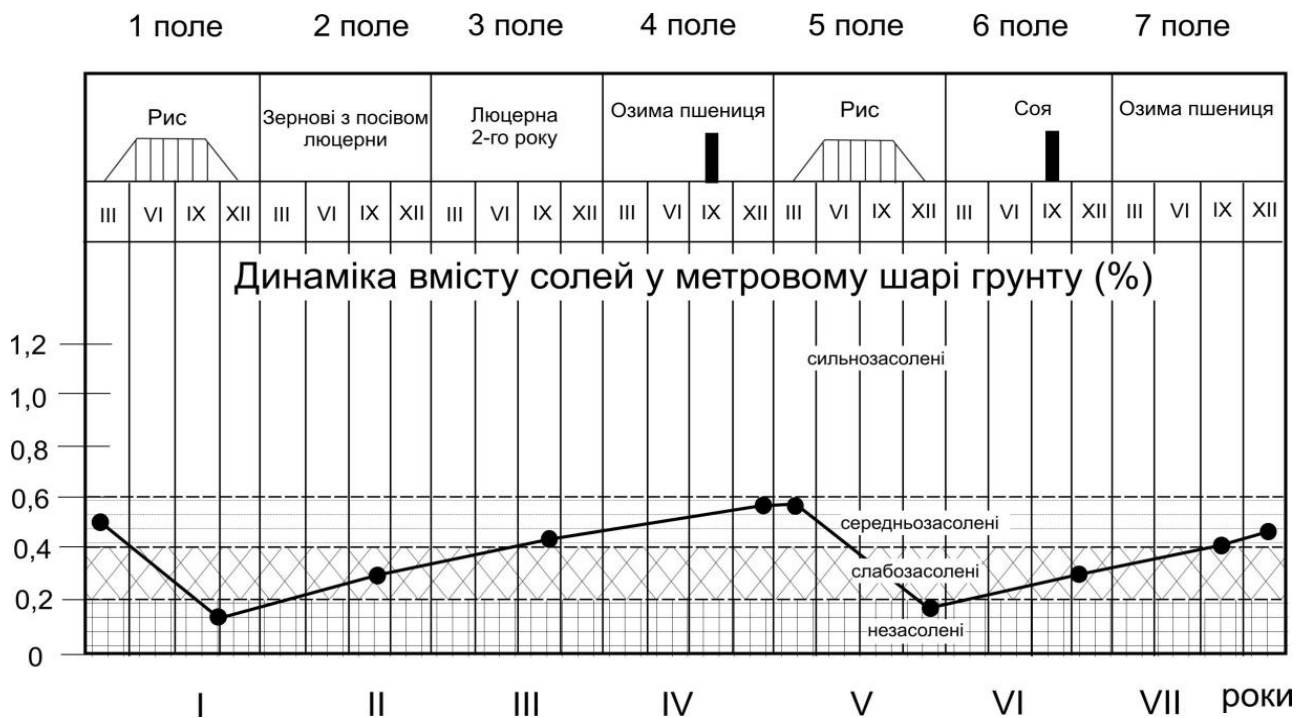


Рис. 4.7. Сольовий режим ґрунтів під 7-пільною рисовою сівоzmіною (рису – 29%, зернових – 29%, люцерни – 28%, сої – 14%, КРЗС)

Введення на рисових системах сівоzmін з вмістом рису 29-33% [133; 135] лише частково вирішує проблему збереження земель у належному ЕМС, так як передбачає вирощування умовно солестійких нерисових культур впродовж 3-х років без урахування конкретних ґрунтових і гідрогеологічних умов і значно

ускладнює систему дотримання рекомендованої ротації сільськогосподарських культур багаточисельними суб'єктами господарчої діяльності.

Крім того, підбір правильних науково-обґрунтованих сівозмін у сучасних умовах практично неможливий із-за кон'юнктури, що склалася в останні роки на внутрішньому і зовнішньому ринках України. Таким чином для умов ПРЗС на ділянках з близьким заляганням високомінералізованих ґрунтових вод вирощування супутніх культур навіть при незначному вихідному засоленні ґрунтів зони аерації (після вирощування рису) можливе впродовж двох років на важкосуглинистих ґрунтах і до одного року на ґрунтах легкого гранулометричного складу.

За критеріями оцінки фактичної еколого-меліоративної стійкості земель (глибина залягання сольових максимумів, глибина залягання і мінералізація ґрунтових вод, їх гідрохімічний склад і ін.) землі ПРЗС згідно ВБН 33-5.5-01-97 можна віднести до нестійких.

Тому використання рисових систем не за призначенням може привести, а у деяких регіонах уже привело, до виводу зрошуваних земель із сільськогосподарського виробництва тільки за рахунок засолення ґрунтів.

4.3.4. Сольовий баланс рисових карт та рисової системи

Дослідження З. Ф. Тулянової, Д. П. Хіміча [262; 296] та ін. показали, що розсолюючу дію дренажно-скидної мережі на картах рисових систем не можна оцінювати лише за об'ємом винесених через неї солей. В своїх роботах В. А. Ковда, С. В. Авер'янов, Д. М. Кац [2; 140; 122] й ін. вказують на необґрунтованість вивчення розсолення ґрунтів без врахування зміни солезапасів в ґрунтових водах, особливо при близькому їх заляганні [148]. Виходячи з цього, найбільш достовірне та повне бачення направленості сольових процесів в ґрунтах і ґрунтових водах рисових карт та систем в цілому, а відповідно і об'єктивна оцінка роботи дренажно-скидної мережі на ній може бути отримана при складанні сольового балансу, який враховує всі складові як прихідної так і витратної частин такого балансу.

Сольовий баланс рисових карт та системи загалом вивчався нами в шарі 3

м, що включає зону аерації і верхній шар ґрунтових вод. Саме в цьому шарі проходить відносно інтенсивний перерозподіл солей, що істотно впливає на врожайність сільськогосподарських культур.

Розрахунок сольового балансу проводився за рівнянням

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 \pm S_{10}, \quad (4.15)$$

де S_1 і S_2 – запаси солей відповідно в ґрунтах зони аерації і ґрунтових водах балансового шару на початку розрахункового періоду; S_3 – надходження солей зі зрошувальними водами; S_4 – надходження солей з добривами; S_5 і S_6 – запаси солей відповідно в ґрунтах зони аерації і ґрунтових водах балансового шару наприкінці розрахункового періоду; S_7 – винесення солей з дренажними водами; S_8 – винесення солей зі скидними водами; S_9 – винесення солей з врожаєм; S_{10} – солеобмін з нижніми горизонтами.

Дослідження показали, що важливим і суттєвим фактором, який впливає на сольовий баланс як ККТ так і КЧД є вихідний запас легкорозчинних солей в ґрунтах і ґрунтових водах, який на фоні дренажно-скидної мережі піддається суттєвому сезонному перерозподілу. Запаси солей в ґрунтах в перші роки їх експлуатації на ККТ становили 90-172 т/га в залежності від гранулометричного складу ґрунту, а ступінь засолення в межах 0,6-1,3% від маси сухого ґрунту. Вирощування рису затопленням з зрошувальною нормою понад 25 тис. м³/га призвело до їх зменшення до 17-54 т/га вже через 3-4 роки експлуатації ККТ і до 12-30 т/га – через 5-6 років. При цьому інтенсивність зниження запасів солей в ґрунті залежить від параметрів дренажно-скидної мережі. Так в умовах міждренної відстані 200 м на середньо-та важкосуглинистих ґрунтах зниження сольових запасів до допустимих значень відбулось вже через два роки вирощування рису, а при 400 м – лише через п'ять років. Опріснення ґрунтів на ККТ з міждренною відстанню 500 м, які розташовані на лугових сильнозасолених легкосуглинистих ґрунтах відбулось ще пізніше – через шість років вирощування затоплюваного рису.

Запаси солей в ґрунтових водах в початковий період експлуатації системи становили 56-172 т/га при мінералізації 14-76 г/л не дивлячись на те, що їх кількість за весь період спостережень знизилась до 13-55 т/га, повне опріснення

відбулось лише на середньосуглинистих ґрунтах з вихідною мінералізацією 5-15 г/л. Дослідження показали, що розсолення ґрунтів відбувалось в основному в перші три роки експлуатації системи.

Вирощування рису на КЧД привело до зменшення запасів солей в ґрунтах з 41-83 т/га до 20-70 т/га за п'ять років експлуатації рисових карт такого типу. При цьому на картах-чеках з міждренною відстанню 200 м з вихідним засоленням 40 т/га вже через два роки запаси солей знизились до допустимих величин. В той же час при засоленні 60-70 т/га для розсолення до допустимих значень знадобилось п'ять років, а для карт з параметрами дренажної мережі 500 м більш тривалий період.

Порівнюючи динаміку розсолення ККТ та КЧД можна відмітити більш високу інтенсивність розсолення на КЧД в середньому на 8-10%. Мінералізація ґрунтових вод на картах-чеках також суттєво знизилась, але повного опріснення ґрунтових вод так і не відбулось.

Так можна зробити висновок, що на картах-чеках розсолення відбувається більш інтенсивно ніж на ККТ з такими ж параметрами мережі.

Спостереження за зміною солезапасаів в ґрунтових водах також показали більш швидке розсолення їх на КЧД порівняно з ККТ на 6-10%, при цьому запаси солей в ґрунтових водах зменшились за перші роки експлуатації більш як в 2,5 рази.

На даних рисових системах легкорозчинні солі, які містяться в ґрунтах і в ґрунтових водах характеризуються великою рухомістю. Фільтрація води з зрошувальних каналів, нерівномірний її розподіл по площі при поливі рису та супутніх культур, витіснення солей в більш глибокі шари ґрунту та ґрунтові води в процесі вирощування рису, рух мінералізованих ґрунтових вод в дренажні канали – все це є причиною міграції солей в різних напрямках.

Формування сольового балансу КРЗС, яка розташована в центральній частині дельти Дунаю має свої особливості.

Вихідний вміст солей в ґрунтах і ґрунтових водах становив перед використанням їх під рисові системи 320 т/га. Вже після першого року використання під культуру рису загальний вміст солей скоротився до 240 т/га, а

після третього року – до 200 т/га. Через 5 років експлуатації КРЗС сольові запаси в ґрунтах і в ґрунтових водах балансового шару знизились до 105 т/га. В подальшому процес опріснення стабілізувався на досягнутому рівні. Доцільно зазначити, що розсолення ґрунтів відбувається більш інтенсивно ніж ґрунтових вод. Водночас балансовий шар розсолнюється в основному трьома шляхами: винос солей з дренажними водами (81%); винос солей з скидними водами (12,5%); витіснення солей в більш глибокі горизонти (7,5%).

Для дельтової частини системи, яка представлена переважно легкосуглинистими ґрунтами, що підстеляються супісками та пісками, характерне інтенсивне вилучення солей як з дренажно-скидними водами, так і переміщенням в більш глибокі горизонти. В осінньо-зимовий період винесення солей за межі як Кілійської системи так і інших рисових систем дельти Дунаю відбувалось шляхом відкачки дренажного стоку, який формується під дією фільтраційних потоків та ґрунтового водообміну. Щорічно в цей період за межі системи виносяться 18,3-7,3 т/га солей (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Винесення солей з рисової системи, [72]

Розрахунковий період	Фільтрація		Винос солей, т/га
	Об'єм, м ³ /га	Мінералізація, г/л	
Жовтень-грудень	768	17,6	13,5
Січень - квітень	1030	17,8	18,3
Жовтень-грудень	723	11,5	8,3
Січень - квітень	965	14,0	13,5
Жовтень-грудень	580	12,7	7,4
Січень - квітень	779	18,4	14,3
Жовтень-грудень	620	14,7	9,1
Січень - квітень	645	11,4	7,3
Жовтень-грудень	710	12,3	8,7

Розглядаючи зв'язок водного і сольового режимів ґрунтів рисових систем слід зазначити, що гранична рівновага стану легкорозчинних солей в ґрунті залежить як від складу солей і їх рухомості, так і від співвідношення швидкостей руху низхідних і висхідних потоків.

За даними Авер'янова С. Ф. [2], якщо ґрунтові води мінералізовані, і навіть відсутній їх рух ввєрх, солі в результаті своєї рухомості і фільтраційної дифузії

переміщуються і засолюють верхні горизонти ґрунту до рівня 40-70% мінералізації ґрунтових вод.

Це говорить про необхідність забезпечення постійного низхідного руху води в період експлуатації рисових систем, оскільки створення таких потоків ґрунтових вод забезпечує сприятливий вміст легкорозчинних солей в ґрунті. Тому завдання дренажу на рисових системах забезпечувати необхідні мінімальні швидкості фільтрації в період вегетації рису для створення промивного режиму ґрунтів і їх розсолення на необхідну глибину в найбільш важких місцях (міждреннях).

Формування інтенсивності промивного режиму на рисових чеках забезпечується створенням на поверхні рисового чека відповідного шару води та управлінням рівневим режимом дренажно-скидної мережі та її параметрами, що в свою чергу визначається водоподачею та водовідведенням на РЗС. Крім того, швидкості фільтрації на поверхні ґрунту залежать і від водно-фізичних властивостей цих ґрунтів.

Тому встановлення оптимальних величин інтенсивності вертикальної фільтрації на рисових чеках, яка залежить, як бачимо, від багатьох факторів, потребує техніко-економічних та оптимізаційних розрахунків на еколого-економічних засадах.

4.4. Особливості формування природно-меліоративного режиму та еколого-меліоративного стану Придунайських РЗС за прийнятими періодами та рівнями ефективності

Еколого-меліоративний стан РЗС визначається цілим рядом факторів, головними з яких є природні (кліматичні фактори) та антропогенні (зрошувальна норма, конструкція та параметри зрошувальної і дренажно-скидної мережі й ін.).

Усі ці чинники в сукупності і визначають ЕМС зрошуваних земель рисових систем, що є лімітуючим фактором росту врожайності рису і супутніх культур.

Оцінювання фактичного ЕМС зрошуваних земель рисової системи проводило ряд вчених [93; 148; 184; 191; 214], які доводять залежність врожаю рису від ряду факторів.

Досвід експлуатації ПРЗС показав, що ЕМС земель, від якого залежить врожай рису та супутніх культур рисової сівозміни визначається станом дренажно-скидної мережі та надійною роботою всіх її елементів. Дренаж на РЗС є основним засобом підтримання сприятливого ЕМС, без якого неможливо отримувати високі врожаї рису і супутніх культур. Одна з головних задач дренажу – це розсолення ґрунтів протягом 2-3 років вирощування рису, створення оптимальних швидкостей фільтрації води в ґрунті та забезпечення необхідного рівневого режиму ґрунтових вод в різні періоди вегетації як рису так і супутніх культур.

До будівництва рисових систем в дельті Дунаю ґрунтові води високої мінералізації (10-75 г/л) залягали на глибині 0,2-0,4 м на понижених і до 1,7-2,1 м на підвищених ділянках. Рівневий їх режим визначався підземним притоком з боку корінного берега річки Дунаю, атмосферним опадами і випаруванням, що власне і стало головною причиною утворення засолених ґрунтів.

З введенням в експлуатацію КРЗС (1966-1968 рр.), а з часом і других рисових систем, ґрунтові води отримали додаткові джерела поповнення за рахунок фільтрації із зрошувальної мережі і рисових полів. Задача підтримання ґрунтових вод у стабільно задовільному режимі була перекладена на дренажно-скидну мережу, ефективна робота якої визначалась з одного боку параметрами і конструкцією, а з другого – регулярністю відкачок дренажних вод насосними станціями. В результаті умови формування рівневого і сольового режиму ґрунтових вод зазнали суттєвих змін. Багаторічні дослідження показали, що в ґрунтово-гідрогеологічних умовах дельтових територій Дунаю спостерігається дві різні схеми режиму ґрунтових вод: із змиканням і без змикання зрошувальних і ґрунтових вод. Режим ґрунтових вод, який відповідає першій схемі спостерігається незалежно від параметрів і конструкцій поливних рисових карт на суглинистих ґрунтах. У період початкового затоплення

грунтові води стрімко піднімаються, заповнюючи за досить короткий період вільний шпаруватий простір зони аерації. Швидкість підйому РГВ залежить від конструкції поливних карт, зрошувальної мережі та величини фільтраційних втрат із неї. Змикання ґрунтових вод відбувається через 3-5 діб на легкосуглинистих ґрунтах, 10-15 діб на середньосуглинистих і 50-55 діб на важкосуглинистих.

Випереджаючий підйом РГВ у період початкового затоплення рисових полів, незначна потужність та досить висока водопроникність ґрунтів зони аерації в комплексі не забезпечують дотримання головного принципу зрошення – недопущення змикання поверхневих і мінералізованих ґрунтових вод на глибині вище висоти максимальної капілярної кайми. Така ситуація не тільки є причиною формування незадовільного аераційного режиму ґрунтів, а й може привести до іригаційного засолення, оскільки разом з ґрунтовими водами піднімаються і розчинені солі, в тому числі і токсичні. У наступні технологічні періоди вирощування рису гідрогеологічна обстановка, що створилась у період початкового затоплення практично не змінюється до кінця поливного сезону, оскільки малопотужна і розріджена дренажна мережа не забезпечує достатнього розвантаження ґрунтових вод. Можливість створення задовільного меліоративного режиму та відновлення родючості ґрунтів з'являється з закінченням поливного сезону, коли зникають причини підтримання ґрунтових вод у підпертому режимі, а дренажна мережа спроможна забезпечити швидке пониження їх рівнів до певних меж, гарантуючи тим самим позитивний хід окисно-відновних процесів у ґрунтах.

Після припинення водоподачі на рисову карту відбувається активне зниження РГВ в усіх ґрунтово-геологічних різновидах. Швидкість зниження РГВ залежить від відстані до картової дрени, активний вплив якої поширюється лише на 50-60 м.

Для відновлення родючості перезволожених тривалий час ґрунтів необхідно, щоб болотні процеси у них були перервані до наступного зрошувального сезону.

За даними С. М. Кропивка [148] та нашими дослідженнями, швидкість

пониження РГВ після спорожнення рисових чеків на різних типах поливних карт суттєво відрізняється як за параметрами дренажно-скидної мережі, так і по площі рисового поля. Інтенсивність передзбиральної просушки рисових полів КРЗС у перші 10 діб після скиду води з карт на КЧД найбільша у придренній смузі, а найменша у центральній частині карти (рис. 4.8).

На ККТ РГВ найбільш інтенсивно знижується теж у придренній смузі, а найменша інтенсивність зниження спостерігається на ділянці поливної карти, яка прилягає до зрошувального каналу.

Тривалість передзбирального осушення рисових полів є одним із найважливіших показників роботи рисової системи і дренажу на ній, особливо в умовах засолених ґрунтів. Від тривалості осінньої просушки залежать терміни збирання врожаю і проведення осінніх польових робіт, а саме зяблевої оранки.

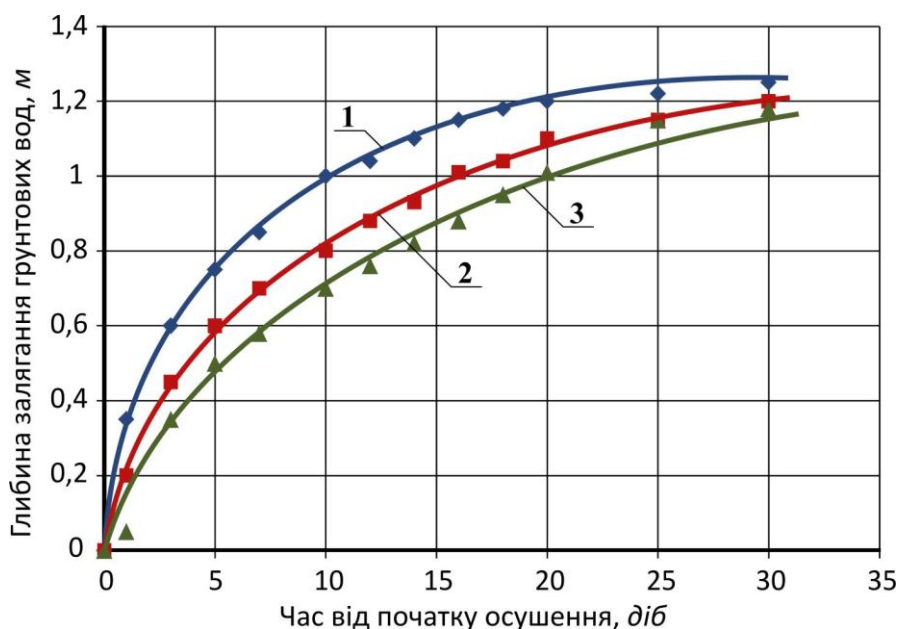


Рис. 4.8. Динаміка рівня ґрунтових вод на різній відстані від дрени для КЧД ($B=100$ м) в період осушення рисового поля (1 – 15 м , 2– 25 м, 3 – 50 м)

Зяблева оранка має цілий ряд переваг перед весняною оранкою, особливо якщо проводити її в вересні, або на початку жовтня, оскільки більш пізні строки її проведення знижують врожайність рису [73; 133; 148]. Як показали спостереження, осіння просушка рисових полів в умовах суглинистих ґрунтів залежить від параметрів поливних карт і в першу чергу від відстані між дренажно-скидними каналами. В залежності від величини міждренної відстані і конструкції карти осіння просушка триває 6-25 діб. За цей період РГВ

опускаються до глибини 0,5-0,6 м, а вологість півметрового шару ґрунту досягає 35-38%, що дозволяє роботу збиральної техніки. Водночас глибина залягання РГВ 0,5 м досягається на КЧД з міждренною відстанню 200 м та 250 м на 6-7 добу після скиду води з чеку, а на ККТ з такими ж параметрами на 14-16 добу.

Оцінюючи роботу картової дренажно-скидної мережі ПРЗС під час передзбирального осушення рисових полів і у осінньо-зимовий період С. М. Кропивко [148] дійшов висновку, що на КЧД і ККТ з міждренними відстанями 200, 250 м РГВ через 60-150 діб після скиду води встановлювався на глибині $1,5 \pm 0,3$ м і його коливання практично не залежать від типу поливних карт і визначаються, в основному, глибиною картових дрен і кількістю опадів, які випадають у міжполивний період (рис. 4.9).

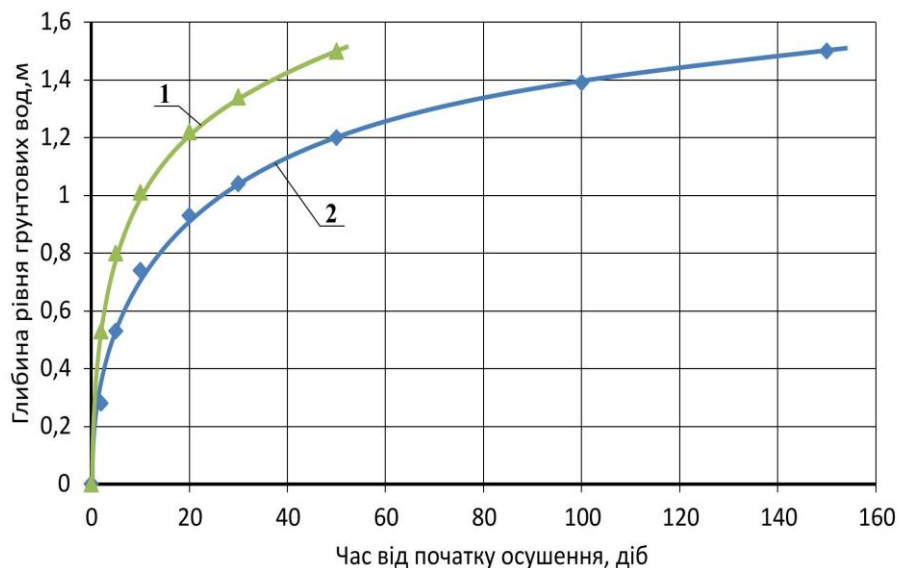


Рис. 4.9. Динаміка зниження рівня ґрунтових вод після скиду води з чеку 1 – для легко суглинчастих ґрунтів 2 – для важкосуглинчастих ґрунтів

На КЧД з міждренням 500 м РГВ у міжполивний період знаходився на 0,4-0,6 м вище і не опускався нижче глибини 1,5 м до початку наступного поливного сезону.

Це є однією з причин досить низької врожайності рису на поливних картах з такими параметрами.

Причина більш інтенсивного і рівномірного пониження РГВ, що призводить до швидкого просушування КЧД пояснюється наявністю

зрошувача-скида глибиною 0,7-1,0 м, який відіграє роль неглибокої дрени в результаті чого карта-чек дронується практично по всьому периметру.

Пониження РГВ до глибини 1 м в центральній частині чеку фіксується на КЧД через 20-25 діб, на ККТ термін пониження становить 30 і більше діб залежно від параметрів дренажу. При цьому інтенсивність зниження ґрунтових вод на відстані 25 м від дренажного каналу в перші дні після скиду води становить 20-12 см/добу, а на 20 день осушення знижується до 3-2 см/добу. На відстані 100 м від дренажного каналу швидкість опускання РГВ становить відповідно 4-3 см/добу та 0,5-1 см/добу (рис. 4.10).

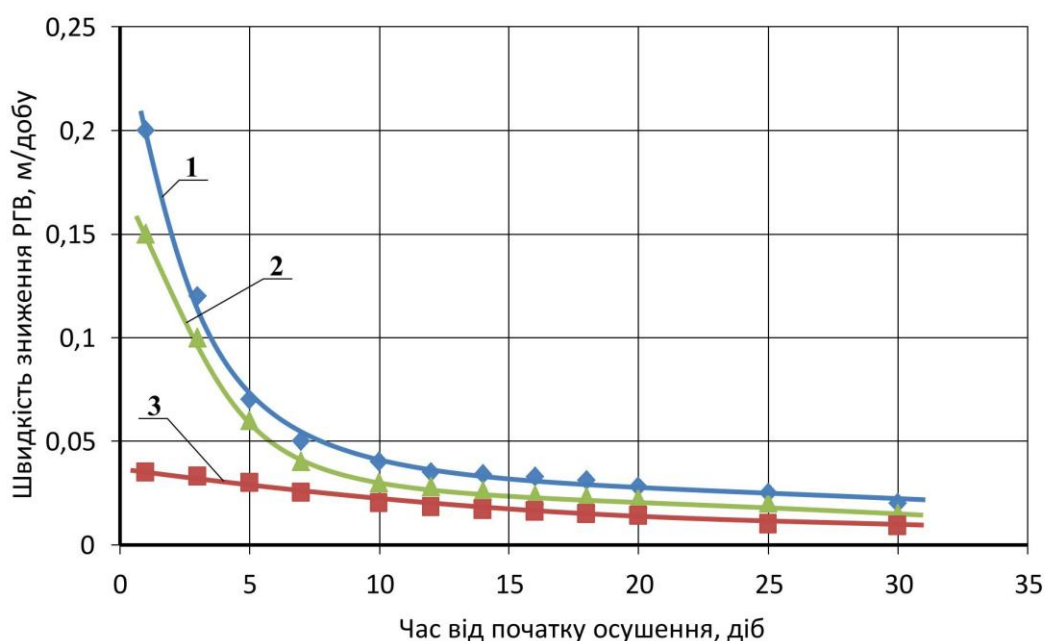


Рис. 4.10. Графік зміни швидкості зниження РГВ після скиду води з чеку (КЧД, В = 200 м, 1 – 25 м, 2 – 50 м, 3 – 100 м)

Важливим показником ефективності роботи дренажно-скидної мережі і одним з головних показників ЕМС на РЗС є глибина спрацювання РГВ на кінець поливного періоду до допустимої межі та його стабільність до початку весняно-польових робіт, з чим пов'язана інтенсивність окисно-відновних процесів ґрунтів.

На ділянках з близьким заляганням РГВ (50-60 см) відбувається посилення відновних процесів в верхньому горизонті, що призводить до накопичення закисних форм заліза, сірководню, рухливого марганцю і аміачного азоту, зростає величина рН та зменшується вміст нітратного азоту. Ґрунти на момент

посіву рису не встигають добре окислитись, що викликає сильну зрідженість сходів і як наслідок падіння врожаю рису.

Як уже згадувалось раніше, норма осушення, при якій створюються оптимальні умови для активізації окисних процесів у ґрунтах і відновлення їх родючості, складає 1,4-1,5 м. Тісний зв'язок між врожаєм рису та глибиною залягання РГВ в міжвегетаційний період показує, що чим менше зволожується кореневмісний шар ґрунту за рахунок капілярних потоків ґрунтових вод в осінньо-зимовий період, тим вищий врожай рису. Крім того, більш легкому гранулометричному складу ґрунту відповідає більш високий врожай рису при однаковій нормі осушення і, навпаки, для легких ґрунтів норма осушення може бути меншою, так як для них висота капілярного підняття менша. Для однотипних ґрунтів більш високий врожай відповідає більшій глибині залягання ґрунтових вод.

Жовтоногом І. С., Олійником О. Я. [92; 191] в натурних умовах встановлена закономірність зміни врожаю рису від глибини залягання РГВ в позавегетаційний період. Так при глибині в осінньо-зимовий період 1 м врожай рису складав 20-30 ц/га, при глибині 1,5 м – 40-50 ц/га, а при глибині 2-2,5 м – 70-80 ц/га (рис. 4.11).

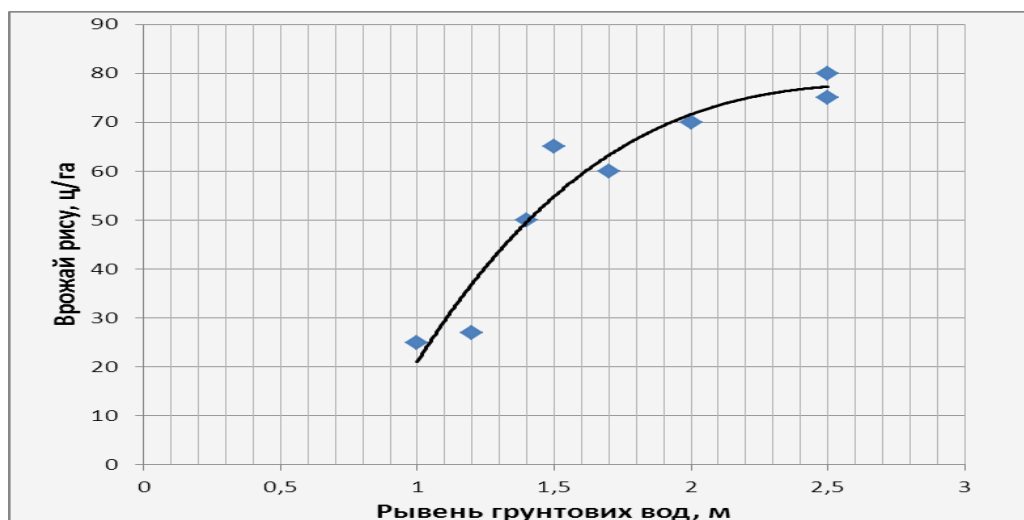


Рис. 4.11. Залежність врожайності рису від РГВ в позавегетаційний період

Аналогічні результати, щодо залежності врожайності рису від глибини залягання рівня ґрунтових вод в позавегетаційний період, отримані Приходько І. О. [203] для умов рисових систем Кубані. Ним встановлено, що при РГВ 0,7-1,0 м врожай рису становив 3-4 т/га, при РГВ 1,5 м – 4-5 т/га, при

РГВ 2 м – 5-6 т/га. Пониження РГВ до глибини 2,5 м не призводить до росту врожайності рису і вона становить також 5-6 т/га.

Дослідження Дудченко В.В. [84] показали прямолінійну залежність між РГВ вод в позавеgetаційний період і врожайністю рису ($r = 0,962$). Так встановлено, що при рівні 1,5 м і нижче ґрунтові води не впливають на врожайність рису. Якщо їх рівень вище цієї позначки, урожайність рису знижується, а при розташуванні ґрунтових вод на глибині 50-60 см від поверхні ґрунту урожайність рису знижується до нуля.

Аналогічні результати отримані у свій час С. М. Ващиком [43], С. М. Гончаровим [69], Р. Ж. Жулаєвим [96]. Вони переконливо свідчать про те, що на чеках де ґрунтові води у міжполивний період залягають глибше, ґрунтово-меліоративні умови для рису сприятливіші, родючість таких ґрунтів вища (рис. 4.12).

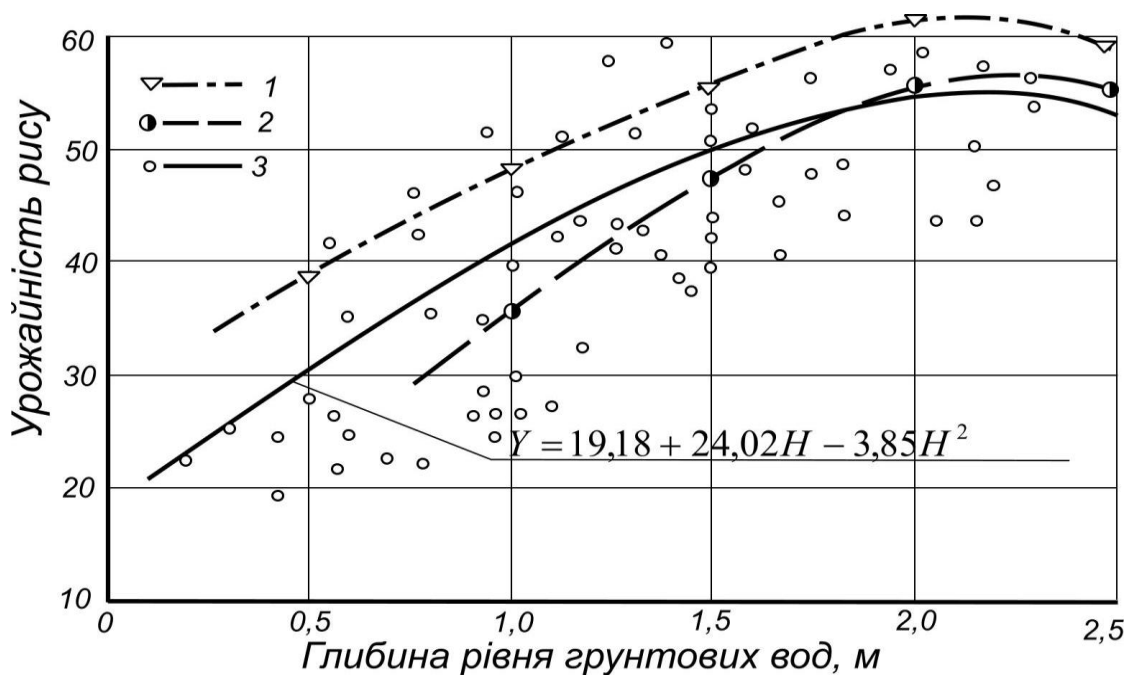


Рис. 4.12. Залежність урожайності рису від рівня ґрунтових вод у міжполивний період: 1 – за даними Р. Ж. Жулаєва і ін., для півдня Казахстану; 2 – за даними В. О. Попова, для Кубані; 3 – за даними С. М. Ващика, для рисових масивів Херсонської області

З пониженням РГВ у міжполивний період збільшує потужність шару ґрунту, що аерується. Це має велике значення для ліквідації наслідків болотних процесів і відновлення його родючості.

Т. І. Сафронова [247] для умов рисових систем Краснодарського краю

наводить значення норми осушення в післяполивний період для створення сприятливого окисно-відновлювального режиму ґрунтів, які перебувають під тривалим затопленням не менше 1,5 м (табл. 4.15).

Для умов рисових систем Краснознам'янської зрошувальної системи, що в Херсонській області, Никонюком А. М. [185] встановлена залежність врожаю рису ($У$) від глибини залягання рівня ґрунтових вод (h) на початок поливного сезону:

$$У=11,1h+25,4, \text{ ц/га.} \quad (4.24)$$

Таблиця 4.15

Норма осушення рисових полів в міжвегетаційний період

Гранулометричний склад ґрунту	Вміст часток фізичної глини %	Норма осушення, м	
		екологічна	екологічно-доцільна
Легкосуглинисті	20-30	1,5-1,8	1,5
Середньосуглинисті	30-40	1,6-1,9	1,5
Важкосуглинисті	40-50	1,7-2,0	1,6
Легкоглинисті	50-65	1,8-2,1	1,6
Середьоглинисті	65-80	1,9-2,2	1,7
Важкоглинисті	80-100	2,0-2,3	1,8

Т. М. Кириєнко [123], для цих же рисових систем запропонована залежність, що показує тісний зв'язок між глибиною залягання РГВ (h , м) із ОВП. Рівняння регресії такого зв'язку має вигляд

$$ОВП=47+225h. \quad (4.25)$$

Дослідженнями встановлено, що відносно повне окислення продуктів у ґрунтах РЗС спостерігається при величині ОВП 380-400 мВ, а це значить, що для створення оптимальних окислювально-відновлювальних умов ґрунтові води мають знаходитись на глибині не менше 1,5-1,6 м. За Грищенком Ю. М. [77] у перші години після затоплення рисових полів ОВП ґрунтів різко падає (впродовж доби на 70-100 мВ), далі інтенсивність зниження зменшується і через 80-90 діб встановлюється на рівні 140-320 мВ (рис. 4.13).

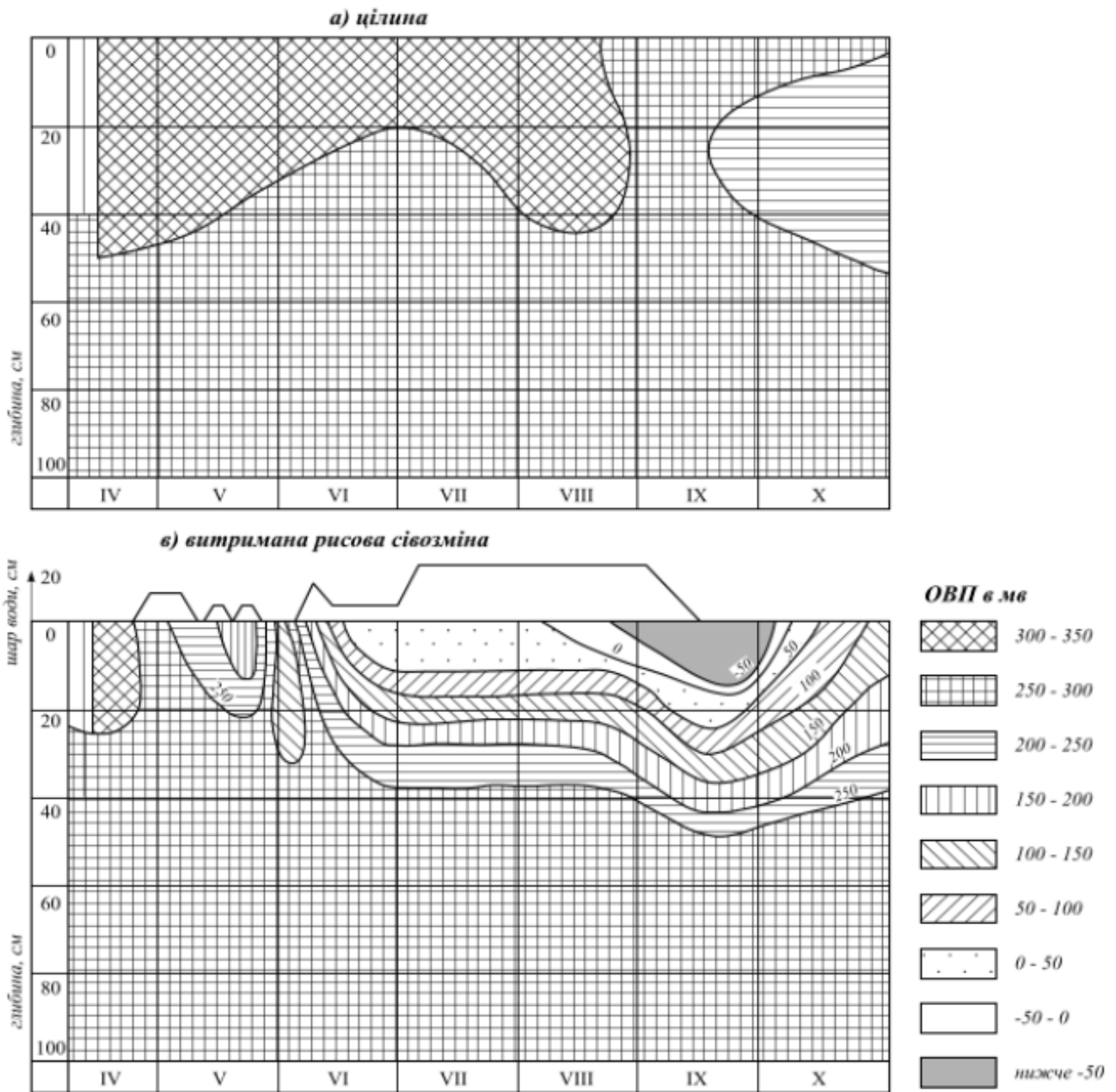


Рис. 4.13. Хроноізоплети окисно-відновного потенціалу в темно-каштанових солонцюватих ґрунтах [77]

В цих умовах у ґрунтах відчувається дефіцит кисню і переважають процеси відновлення нітратів до вільного азоту. Найбільш значні коливання ОВП характерні для верхнього гумусного шару (з 350-400 до 0-50 мВ і нижче).

Таким чином особливістю динаміки РГВ на рисових системах є синусоїдальний характер його зміни з низьким стоянням його в осінньо-зимовий період, а також при вирощуванні супутніх культур і підняття його при вирощуванні рису часто до поверхні та змикання з зрошувальними водами. В

період затоплення рисових карт його динаміка визначається, як правило, інтенсивністю відкачування ДСВ.

При нормальній роботі насосних станцій та поглиблені дренажно-скидної мережі РГВ після закінчення поливного сезону може понижатись до природних відміток на рисових картах з міждренною відстанню 200-250 м. Але оскільки в останні роки своєчасне відкачування дренажних вод у міжполивний період вкрай нерегулярне через відсутність коштів на оплату електроенергії, що споживається дренажними насосними станціями, тому питома вага площ ПРЗС де РГВ залягає на глибині вище 1 м у поза вегетаційний період залишається досить високою і досягає 50%, змінюючись в окремі роки у той чи інший бік. Підтвердженням цьому є стійка тенденція збільшення площ вториннозасолених і осолонцьованих земель на ПРЗС в останні роки.

Для умов ПРЗС вплив глибини залягання рівня ґрунтових вод в поза вегетаційний період на врожай рису приведений на рис. 4.14.

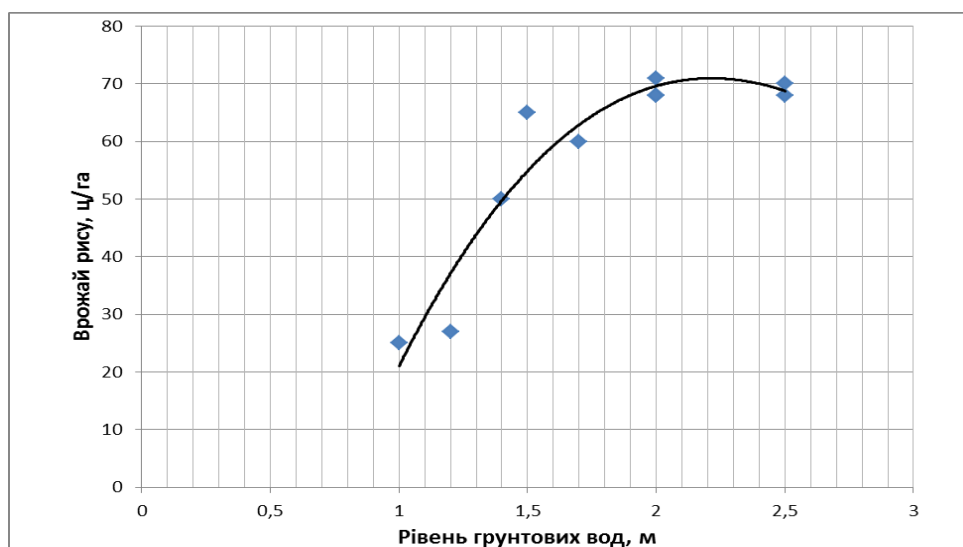


Рис. 4.14. Вплив глибини залягання рівня ґрунтових вод на врожайність рису в поза вегетаційний період в умовах ПРЗС

Отримані результати підтверджують вищенаведені результати досліджень, із яких можна зробити висновок, що для отримання високих врожаїв рису РГВ необхідно понижати в осінній період до глибини не менше 1,5 м і підтримувати його на такому рівні за допомогою роботи дренажно-скидної мережі до початку весняних польових робіт.

Перехід на ресурсозберігаючу технологію водокористування на ПРЗС

(2002-2016 рр.), яка характеризується зменшенням затрат води на створення шару затоплення рисового чека ($h = 0,15$ м) й відповідно зменшення величин водоподачі та водовідведення при укороченому режимі зрошення рису на фоні підвищення вмісту рису в сівозміні до 60-50% забезпечило тенденцію покращення ЕМС зрошуваних земель та підвищення врожайності рису порівняно з попередніми періодами (див. додаток А, табл. 6).

Так лише на 5% зрошуваних земель ПРЗС РГВ залягають на початок вегетаційного періоду вище 1,0 м, що є негативним фактором формування ЕМС ґрунтів цих систем. В той же час мінералізація ґрунтових вод на більше ніж 90% площ є досить високою (1-5 г/л), що може призвести до вторинного засолення вже промитих ґрунтів при порушенні технології водокористування.

Дослідженнями багатьох авторів [93; 169; 214; 191; 223] також встановлено, що дренаж повинен забезпечувати не лише регулювання глибини залягання РГВ, але і необхідні швидкості фільтрації з метою створення хорошої дренажності ґрунтів під рисовим чеком в період вегетації. В місцях де швидкість фільтрації була незначною, тобто в так званих застійних зонах, врожай рису був меншим. Урожай рису був вищим на ділянках чеку, які розташовані на відстані до 60 м від дрени, де середня швидкість фільтрації води в верхньому шарі ґрунту становила від 0,005 до 0,015 м/добу. Там, де вона була більша, або менша цих значень врожай рису був нижчим. Наприклад, на відстані 0,3 м від краю чеку (10 м від дрени) швидкість фільтрації досягала 0,12 м/добу, на відстані 4-5 м вона знизилась до 0,04 м/добу, а на відстані 100 м – до 0,002 м/добу. Відповідно до цього врожай рису змінювався: на відстані 0,3 м він становив 45 ц/га; на відстані 4 м – 80 ц/га; на відстані 40 м – 70 ц/га; на відстані 100 м – 50 ц/га.

Автори [93; 191] також підтверджують, що на врожай рису особливий вплив має ступінь дренажності ґрунту в вегетаційний період рису (рис. 4.15).

Вони обґрунтовують, що в період вегетації рису по всій площі рисового чеку повинна забезпечуватись швидкість вертикальної фільтрації в верхньому шарі ґрунту в межах 6-8 мм/добу.

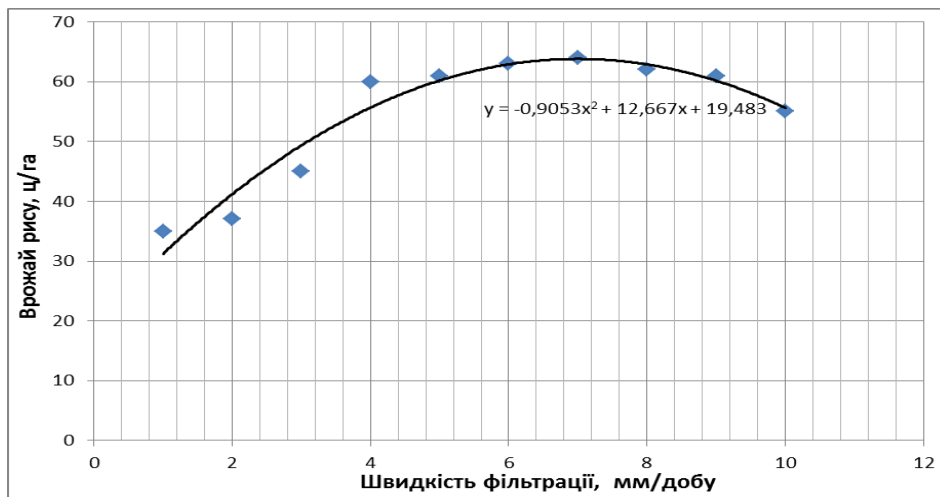


Рис. 4.15. Залежність врожайності рису від швидкості фільтрації з поверхні чеку у вегетаційний період

Про роль вертикальної фільтрації у формуванні врожаю рису до цих пір немає єдиної думки. В. Б. Зайцев [101] рахував, що фільтрація знижує урожайність рису із-за інтенсивного виносу поживних речовин. В. О. Попов [201], досліджуючи шляхи вдосконалення конструкції рисової карти, приводить дані про збільшення врожайності рису на добре дренованих ділянках рисового поля (табл. 4.16).

Таблиця 4.16

Зміна врожаю рису по ширині карти, ц/га

Характеристика рисових чеків за ступенем засолення	Місце відбору врожаю		
	10 м від зрошувача	Посередині карти	10 м від скиду
Незасолені	61,9	63,6	71,3
Засолені	31,1	47,4	60,4

Різна інтенсивність фільтрації по ширині чеку обумовлює велику різницю в мінералізації ґрунтових вод та засоленні ґрунтів, що призводить до того, що в межах одного і того ж чеку створюються різні природно-меліоративні умови і як наслідок різна врожайність рису.

Дослідження фільтрації з поверхні поливних карт рисових систем дельти Дунаю [69; 148; 250; 214] показали, що найбільші значення швидкості фільтрації (від 4 до 20 мм/добу) спостерігаються на частині рисового поля, у так званих придренних зонах, на відстані до 50 м від картових дрен при відсутності підпорів в дренажно-скидних каналах і відповідно максимальній

величині напірного градієнту. Далі, до середини міждрення, швидкості фільтрації, незалежно від конструкції поливних карт та відстані між дренажними каналами, знаходиться в межах 1-2 мм/добу, тобто практично відсутні, як видно з рис. 4.16, 4.17.

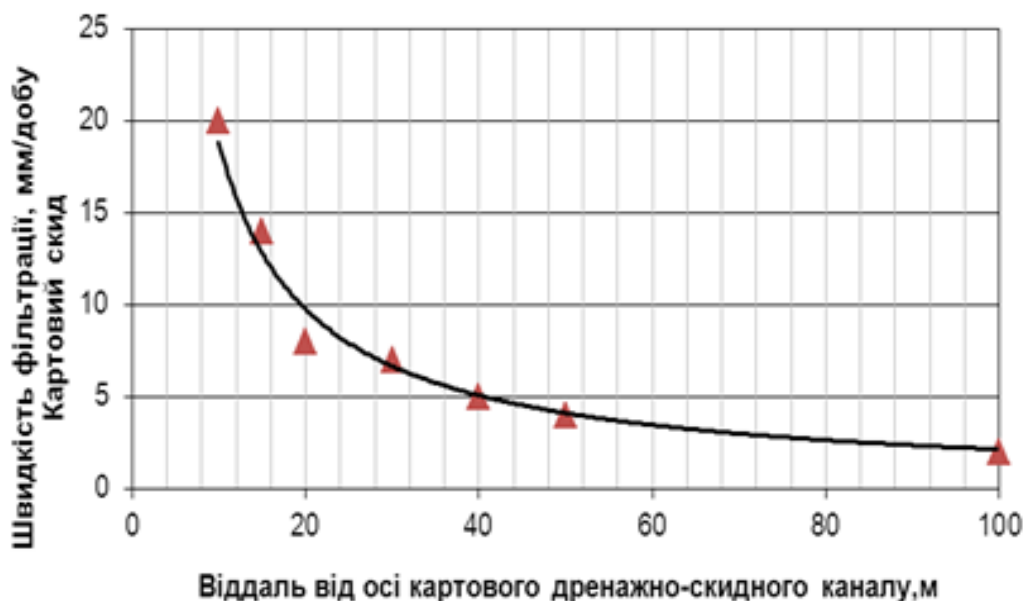


Рис. 4.16. Швидкість фільтрації з поверхні рисової карти-чека на ПРЗС

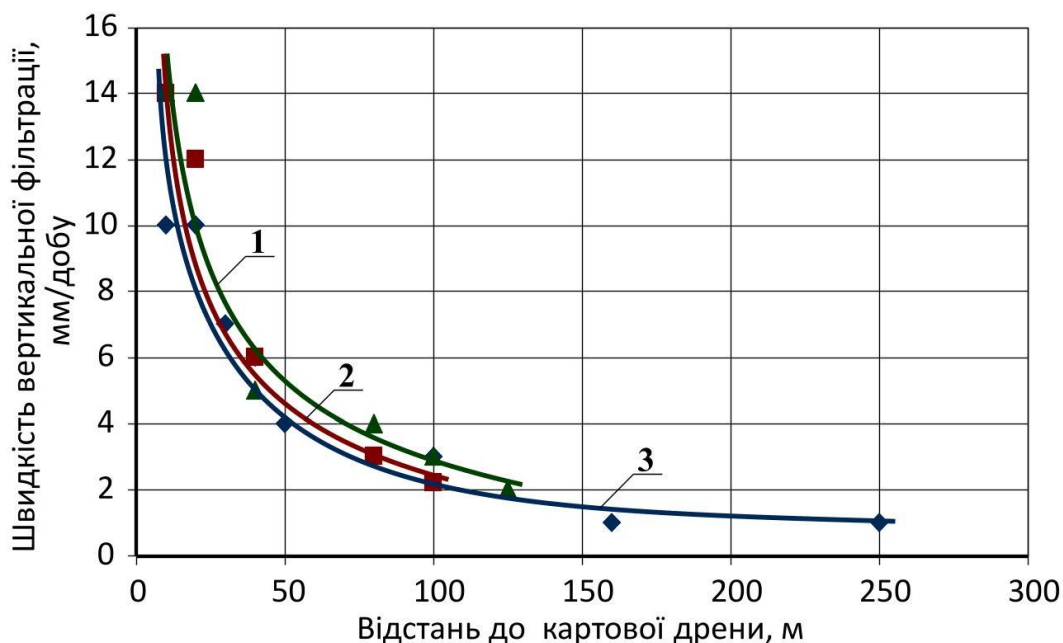


Рис. 4.17. Швидкість вертикальної фільтрації на картах-чеках в залежності від відстані між дренажними каналами: 1 – $V=200$ м, 2 – $V=250$ м, 3 – $V=500$ м

Середні значення швидкостей фільтрації з рисового поля протягом зрошувального сезону, як показали результати багаторічних досліджень карт-чеків широкого фронту затоплення (КЧД) на КРЗС, змінюються від 6-

12 мм/добу на початку поливного сезону до 1-3 мм/добу в період спрацювання шару води в залежності від механічного складу ґрунту.

Водночас із збільшенням терміну експлуатації рисової карти з культурою затоплюваного рису вони дещо зменшуються (рис. 4.18).

Полеві дослідження, проведені нами та рядом науковців [72; 133; 148; 186] на рисових системах дельти Дунаю засвідчили, що особливостями руху фільтраційних потоків на поливних картах у період підтримання шару води є те, що на частині їх площ утворюється зона випирання ґрунтових вод (вздовж зрошувальних каналів) та застійна зона – в центрі чеку (про що відмічалось вище), а активний рух ґрунтових вод має місце тільки на частині площі, яка прилягає безпосередньо до дренажно-скидного каналу (рис. 4.19).

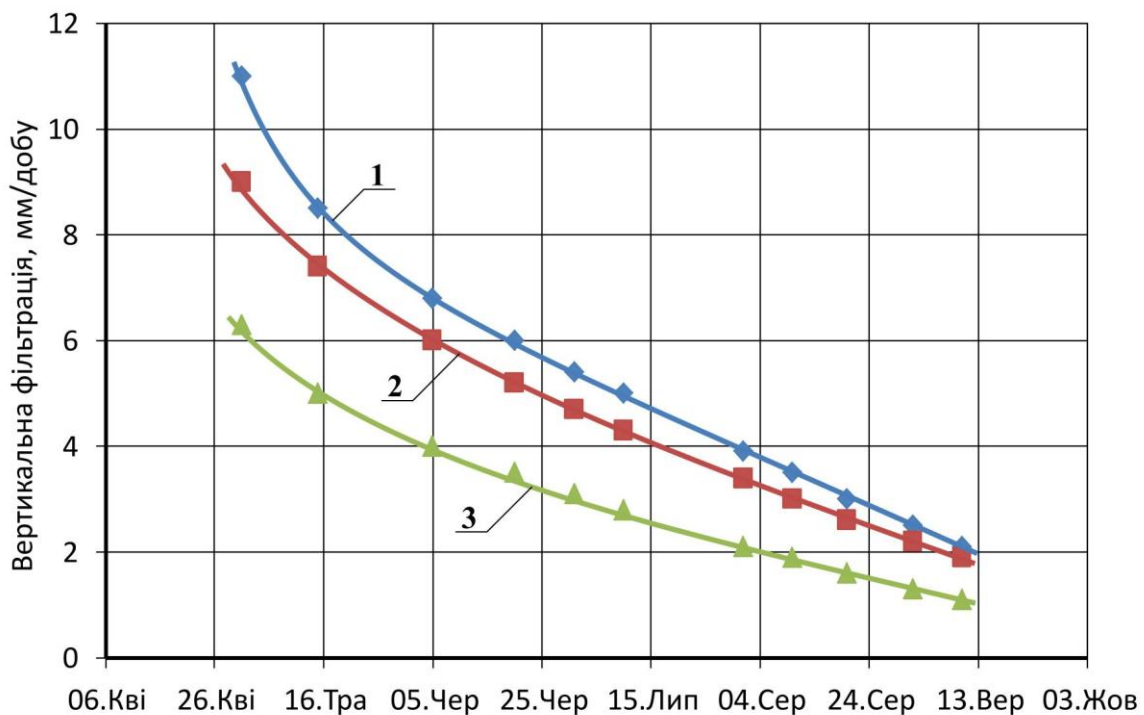


Рис. 4.18. Динаміка вертикальної фільтрації на картах-чеках протягом вегетаційного періоду рису: 1 – легкосуглинисті ґрунти, 2 – середньосуглинисті ґрунти, 3 – важкосуглинисті ґрунти

Розміри цих зон визначаються гіпсометричними характеристиками зрошувальних каналів, глибиною дрен та рівнями води в них, а також розмірами поливних карт. Наявність таких зон свідчить про нерівномірність дренажу території поливної карти. Загальна площа, яка практично не дренажується, складає понад 60% від площі поливної карти. Розрахунки

фільтраційних втрат з придрєнної зони за епюром швидкостей свідчать про те, що їх об'єм з придрєнної смуги складає 70-75% їх загального об'єму, а оскільки фільтрація з рисових полів складає приблизно половину зрошувальної норми, то зменшення фільтраційних втрат є одним з головних шляхів зменшення її величини і загальних обсягів водозабору та водовідведення при вирощуванні рису.

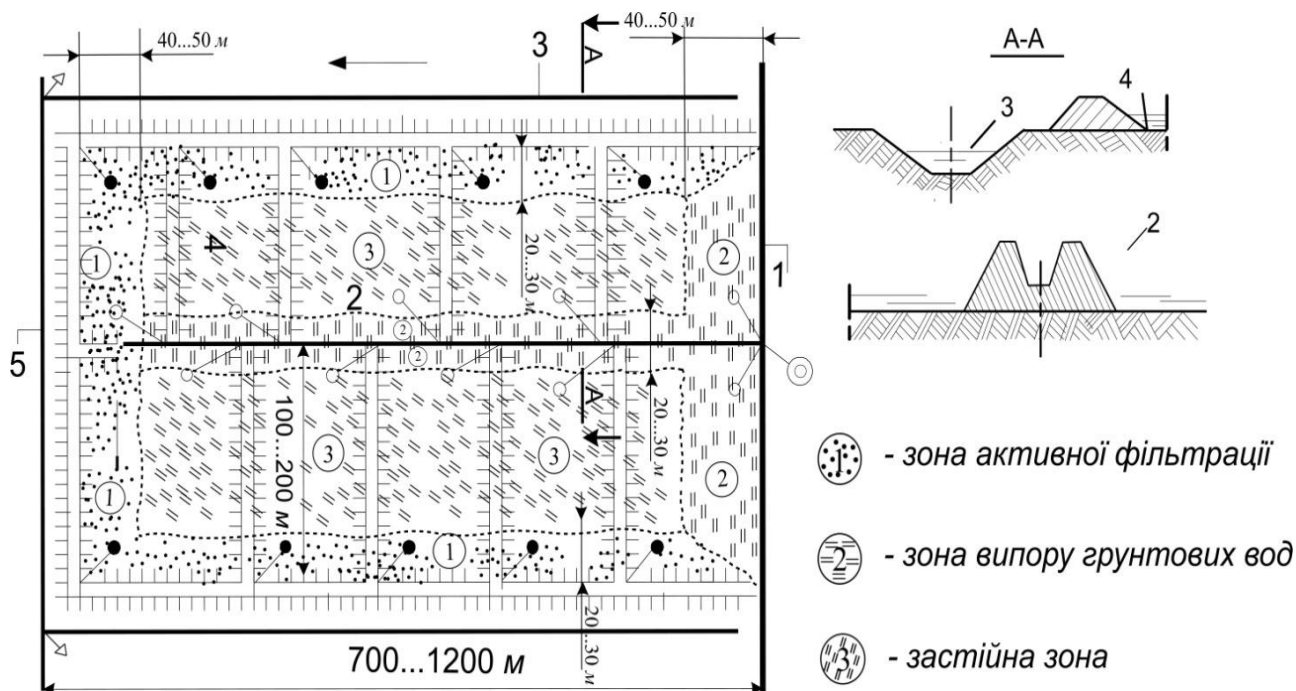


Рис. 4.19. Вплив конструктивних елементів РЗС на формування фільтраційних потоків на ККТ: 1 – внутрішньогосподарський розподільник; 2 – картовий зрошувач двостороннього командування; 3 – картовий дренажно-скидний канал; 4 – чек; 5 – ділянковий дренажно-скидний канал

Так, забезпечити формування сприятливого ПМР ґрунтів зони аерації при вирощуванні рису можна за рахунок зменшення фільтрації із зрошувальної мережі та забезпечення рівномірності дрєнування поливних карт через зміну конструкції і параметрів дрєнажу та запровадження відповідних агротехнічних заходів.

4.5. Особливості водо- та енергокористування на Придунайських РЗС за прийнятими періодами та рівнями ефективності

Визначення перспектив підвищення загального рівня технічної експлуатації та удосконалення технології водо- та енергокористування потребує проведення аналізу

ретроспективного та сучасного стану ефективності функціонування ПРЗС, а також прогнозу на перспективу, що надасть можливість ґрунтовніше підійти до його вирішення.

Відповідно до розробленої схеми (див. рис. 2.2) як дослідження загалом, так і оцінювання ПМР, ЕМС та еколого-економічної ефективності функціонування ПРЗС проводилось нами за такими визначеними періодами та рівнями ефективності:

- **щодо часових періодів:** за *ретроспективним* та *сучасним періодами*, які відповідно відображають ефективність водо- та енергокористування на ПРЗС з моменту введення їх в експлуатацію і до теперішнього часу; за *прогнозованим періодом* – характеризує найближчу та віддалену перспективу з урахуванням наявних та можливих змін клімату, згідно рекомендацій академіка М. І. Ромащенко [244], за моделями Канадського кліматологічного центру «СССМ» та Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства «УКМО», що передбачають підвищення середньорічної температури повітря відповідно на 4° С та 6° С – при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері.

Доцільність застосування моделей «СССМ» та «УКМО» при відповідних прогнозних режимних розрахунках підтверджується тим, що вони враховують як менш, так і більш критичні сценарії змін погодно-кліматичних умов та якнайкраще узгоджуються із моделями прогновної оцінки нормованого розподілу основних метеорологічних характеристик у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізах;

- **щодо рівнів ефективності:** за *проектним* та *фактичним рівнями*, які відповідно характеризують проектні та фактичні виробничі величини критеріїв ефективності водокористування при різних режимах зрошення рису; за *раціональним* та *ресурсозберезувальним рівнями* – які відповідно характеризують статистично обґрунтовані нами раціональні та ресурсозберігаючі величини критеріїв ефективності.

Як раціональний рівень розглядаються обґрунтовані нами параметри водо- та енергокористування, визначені за узагальненими результатами опрацювання та аналізу бази даних багаторічних спостережень з функціонування ПРЗС за

період 1966-2016 рр. спільно з Зайцем В. В. [97] та Приходько Н. В. [204].

Як ресурсозберезжувальний рівень розглядаються обґрунтовані нами параметри водо- та енергокористування, що визначені відповідно до рекомендацій Інституту рису НААН [85] спільно з Зайцем В. В та Приходько Н. В.

Комплексна оцінка динаміки показників водного, сольового та фільтраційного режимів як складових ПМР РЗС щодо динаміки РГВ, швидкості фільтрації на картах-чеках, окисно-відновного потенціалу, формування фільтраційних потоків та їх вплив на ґрунтові процеси й врожайність рису розглядалися нами за визначеними періодами та рівнями ефективності їх функціонування.

За весь період функціонування ПРЗС виділені нами відповідні рівні ефективності щодо формування ПМР та відповідного ЕМС: *проектний; несприятливий ПМР та період за умовами заболочування (частка рису в сівозміні $\Theta = 100-75\%$); несприятливий ПМР та період за умовами засолення ($\Theta = 30-33\%$); сприятливий ПМР та період ($\Theta = 60-50\%$).*

Аналіз результатів оцінювання ефективності водо- та енергокористування щодо формування ПМР та ЕМС за визначеними періодами та рівнями ефективності функціонування РЗС засвідчує, що:

- **проектний режим** характеризується відповідними показниками: дольовою часткою рису на системі 60-75%: зрошувальною нормою – $M = 23,5$ тис. $m^3/га$; сумарним об'ємом перекачаної води $W_p = 35,2$ тис. $m^3/га$; затратами електроенергії $Q = 2,08$ тис. $kВт\cdot год/га$ (питомий показник $65,9$ $kВт\cdot год/тис. m^3$, або $\alpha_y = 0,75$ тис. $m^3/ц$); середньою швидкістю фільтрації $0,015-0,020$ м/добу, врожайністю рису $Y = 47$ ц/га і мав би забезпечувати відповідний ЕМС (табл. 4.17);

- **несприятливий ПМР за умовами заболочування (частка рису 70-100%), збігається з виділеним I періодом** – характерний для періоду становлення та розвитку галузі рисосіяння в Україні. Згідно розглянутої динаміки змін показників ефективності перший виділений період є найтривалішим, з найменш вираженою амплітудою їх змін, оскільки це був

період з найбільш стабільними соціально-економічними умовами (особливості яких пов'язані з даним етапом розвитку країни) та рівнем фінансування водогосподарсько-меліоративного комплексу, що був орієнтований на забезпечення проектних показників виробництва рису як по зоні рисосіяння в цілому, так і ПРЗС.

Таблиця 4.17

Проектні значення елементів режиму зрошення та водного балансу затоплюваного рису для умов ПРЗС

Типові групи років за умовами тепло-й волого забезпеченості	p = 1, дуже вологі	p = 2, вологі	p = 3, середні	p = 4, сухі	p = 5, дуже сухі
Тривалість вегетаційного періоду, днів	145	140	135	133	128
Сумарне водоспоживання, м ³ /га	8000	8500	9500	10000	11500
Зрошувальна норма, м ³ /га	20100	20700	21600	22200	23600
Загальні фільтраційні втрати із зрошувальної мережі, м ³ /га	3500	3600	3800	4000	4200

Цей період характеризується застосуванням переважно *режиму постійного затоплення* у перші роки експлуатації ПРЗС з подальшим переходом (середина 70-х років) до *укороченого режиму затоплення рису*, застосування при цьому значних об'ємів водоподачі (**25,5 тис. м³/га**) та водовідведення (**13,7 тис. м³/га**) при питомих витратах електроенергії **62,0 кВт·год/тис. м³**, або $\alpha^0_y = 1,02$ тис. м³/ц, що вищі за проектні, на фоні високого вмісту рису у сівозміні 100-75% забезпечило формування посиленого промивного водного режиму засоленних ґрунтів при середніх швидкостях фільтрації **0,033 м/добу** і зумовило заболування близько 75% площі зрошуваних земель, погіршення їх ЕМС та зниження врожайності рису щодо проекту.

Загалом протягом даного періоду спостерігаються найбільші значення зрошувальної норми рису, що головним чином було зумовлене не настільки реальними потребами, як прагненням досягти швидкого розсолоння ґрунтів, не враховуючи можливі наслідки, та можливістю безоплатного користування зрошувальною водою. Величини зрошувальної норми за даний період є досить

високими у порівнянні з їх проектним значенням, а отже і достатніми для підтримання інтенсивного промивного водного режиму на системі в цілому.

В межах періоду, що розглядається (1966-1992 рр.) погодно-кліматичні умови території дельти р. Дунай відповідають класичним (багаторічним) умовам регіону рисосіяння України. Основна частка розглянутих років припадає на «вологі» ($p=30\%$) та «середні» ($p=50\%$) розрахункові щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації. Детальний опис погодно-кліматичних умов території дельти р. Дунай за періоду часу 1966-1991 рр., що відповідає варіанту досліджень мінливості клімату «Base» (характеристика основних метеорологічних чинників за період вегетації за 1881-1980 рр.), наведений в розділі 3.

Меліоративна дія технології вирощування культури затоплюваного рису спочатку сприяла покращенню ЕМС земель ПРЗС та створенню передумов для вирощування у сівозміні супутніх суходільних культур за рахунок формування на зрошуваних землях «подушки» прісних ґрунтових вод. ЕМС земель РЗС в цей період оцінюється нами за прийнятим показником екологічної надійності рівним 0,43 як незадовільний, при нормативі $\geq 0,50$.

У межах даного періоду агро-еколого-меліоративні умови формування врожаю рису та супутніх культур, згідно прийнятої нами шкали оцінки, визначаються загалом як задовільні. Максимальне значення даного показника оцінюється у 48 балів. Однак, враховуючи середнє та мінімальне значення, що становлять 39 та 31 бал відповідно, агро-еколого-меліоративні умови розглянутого періоду загалом є незадовільними.

Під впливом сформованих умов у межах розглянутого періоду проектні значення виробництва рису на ПРЗС не були досягнуті, середнє значення отриманої врожайності рису склало 37,4 ц/га, при тому, що максимальне і мінімальне значення становили 45,8 та 30,6 ц/га відповідно;

– **несприятливий ПМР за умовами засолення (частка рису 30-35%), збігається з виділенням II періодом** – характерний для періоду спаду в розвитку галузі рисівництва й характеризується найнижчим рівнем ефективності функціонування ПРЗС, що пов'язано зі зміною соціально-

економічних умов в країні і викликаною цим відсутністю достатнього фінансування галузі, яке порівняно з попереднім періодом практично припинилося.

Відбулись докорінні зміни соціально-економічної бази суспільного виробництва. Насамперед, це відноситься до форм господарювання в агропромисловому комплексі, земельних відносин, прав власності на основні засоби виробництва, тощо.

Початок даного періоду співпадає з розпадом СРСР та становленням України як самостійної держави. Відбулося руйнуванням існуючої та становлення на шлях формування нової ринкової економіки, з чим і пов'язаний загальний кризовий стан країни після 1991 року, який не міг не відобразитися на стані аграрного виробництва, зокрема і рисівництва.

Наведені значення величини зрошувальної норми за даний період досить малі і для складних гідрогеологічних умов ПРЗС є недостатніми для підтримання необхідного промивного водного режиму засолених земель на системі в цілому, що у поєднанні з нераціональним введенням сівозмін з вмістом затоплюваного рису на рівні 33-30% призвело до відновлення випітного водного режиму.

Характерним для даного періоду є застосуванням *режиму скороченого затоплення рису*. При цьому, зменшення величини водоподачі (**22,3 тис. м³/га**) та водовідведення (**11,7 тис. м³/га**) при питомих витратах електроенергії **165,9 кВт·год/тис. м³**, або $\alpha^0_y = 0,88$ тис. м³/ц за рахунок відповідного зменшення затрат води на технологічні скиди та відмови від підтримання проточності на рисових чеках та зниження вмісту рису у сівозміні до 33-30%, спричинило формування інтенсивного випітного водного режиму та вторинне засолення близько 70% площі зрошуваних земель при середній швидкості фільтрації **0,003 м/добу**, подальше погіршення їх ЕМС та зниження врожайності рису.

Частково з метою припинення подальшого розвитку деградаційних процесів, а в основному, у зв'язку з встановлення тарифів на користування зрошувальною водою та затрачену на водоподачу і водовідведення

електроенергію, культура затоплюваного рису вирощувалася лише на третині площі системи.

Як наслідок, наявні процеси негативно відобразилися на агро-еколого-меліоративних умовах зрошуваних земель та їх ЕМС. Значення показника агро-еколого-меліоративних умовах для цього періоду рівне 40 балів, а показника екологічної надійності 0,40, що згідно прийнятих шкал оцінки земель рисової системи відповідає несприятливим умовам формування врожаю та незадовільному ЕМС. Однак враховуючи стан по системі в цілому, який відображають приведені значення – відповідні умови формування врожаю рису оцінюються як дуже несприятливі або критичні.

Водночас, з точки зору клімату, цей період характеризується також як перехідний за умовами початку його зміни з вираженим трендом підвищення температури повітря та зменшенням кількості опадів. Основна частина розглянутих років припадає на чередування «середніх» ($p = 50\%$) і «дуже сухих» ($p = 90\%$) розрахункових за умовами тепло- і вологозабезпеченості періодів вегетації. Детальний опис погодно-кліматичних умов території дельти р. Дунай за періоду часу 1992-2001 рр., що відповідає варіанту досліджень мінливості клімату «Recent» (характеристика основних метеорологічних чинників за період вегетації, отриманих у сучасних умовах за 1980-2011 рр.), наведений в розділі 3.

Погіршення ЕМС зрошуваних земель ПРЗС у поєднанні із зменшення кількості внесених добрив та засобів захисту рослин призвело до зниження врожайності рису, середнє і мінімальне значення якої становили 33,1 та 28,9 ц/га відповідно. Максимальне значення 36,6 ц/га також було далеким від проектного.

У зв'язку з незадовільним станом зрошуваних земель рисових систем виникла необхідність прийняття відповідних заходів. Сформувався нагальна потреба підвищення продуктивності галузі рисівництва шляхом удосконалення технологій виробництва рису та реконструкції існуючих РЗС, економії зрошувальної води, скорочення витрат пестицидів та повторного використанням ДСВ для зрошення рису і супутніх суходільних культур, тобто

переходу на ресурсо- та енергозберігаючі технології.

Останніми роками намітились тенденції до покращення стану галузі і на сучасному етапі розвиток рисівництва в Україні пов'язані з вдосконаленням селекції нових високопродуктивних сортів рису, агротехніки, способів і технологій вирощування рису згідно сучасних еколого-економічних вимог;

– **сприятливий нестійкий ПМР (частка рису 50-60%), збігається з виділеним III періодом** – характерний для періоду відновлення галузі рисівництва в Україні. Впродовж даного періоду відмічається підвищення загальної ефективності функціонування ПРЗС, у порівнянні з першим, та особливо другим періодами, що пов'язано, насамперед, з черговою зміною соціально-економічних умов у країні, а саме, переходом економіки на нові ринкові умови, та відновленням інтересу до галузі рисівництва, що викликане підвищенням попиту на рис як на світовому, так і на внутрішньому ринку України.

Збільшенню виробництва рису і підвищенню його ефективності сприяла реалізація прийнятих указів Президента України від 3 грудня 1999 року № 1529 «Про невідкладні заходи прискорення реформування аграрного сектора економіки» та «Про невідкладні заходи стимулювання виробництва та розвитку ринку зерна», якими було визначено основні напрями розвитку сільського господарства та державного контролю за насиченням і функціонуванням вітчизняного ринку зерна («Рис України – 2010-2015»).

Формування високого і стійкого попиту на рис зумовило підвищення його вартості, що, у свою чергу, зацікавило і привабило інвесторів. З появою в галузі інвестора головний акцент зроблено на ведення виробництва на інтенсивній основі з використанням сучасної сільськогосподарської техніки і засобів захисту рослин, нових високопродуктивних сортів рису, що відповідають ґрунтово-кліматичним умовам дельти р. Дунай, внесенням всього необхідного комплексу добрив.

Цей період характеризується подальшим зменшенням затрат води на створення шару затоплення рисового чека й відповідно величин водоподачі (**18,4 тис. м³/га**) та водовідведення (**11,0 тис. м³/га**), при питомих витратах

електроенергії $130,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{тис. м}^3$, або $\alpha^0_y = 0,60 \text{ тис. м}^3/\text{ц}$ на фоні суттєвого підвищення вмісту рису у сівозміні до 60-50%, що менші за проектні забезпечило стійку тенденцію покращення ЕМС зрошуваних земель при середніх швидкостях фільтрації на них $0,005 \text{ м}/\text{добу}$ та підвищення врожайності рису порівняно з попередніми періодами. Значення показника екологічної надійності для цього періоду, що характеризує ЕМС земель рівне 0,50, що відповідає задовільному його рівню.

Аналіз погодно-кліматичних умов у межах даного періоду, підтверджує наявність стійкої тенденції зміни клімату у напрямку підвищення температури повітря і зменшення кількості опадів. Основна частина років даного періоду припадає на «сухі» ($p = 70\%$) і «дуже сухі» ($p = 90\%$) розрахункові за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації.

За фактом 1-й та 2-й періоди відповідають граничним умовам функціонування РЗС щодо їх навантаження: необґрунтовано великі поливні норми та наявні непродуктивні технологічні скиди призвели до заболочення території та деградації ґрунтів у 1-й період; зменшення частки рису та недотримання промивного режиму ґрунтів у 2-й період призвело до вторинного засолення значної частини зрошувальної системи.

У 3-й період відбулася певна стабілізація функціонування РЗС за рахунок зменшення поливних норм, дотриманні прийнятного ЕМС земель та підвищенні врожайності рису (рис. 4.20).

Як **раціональний рівень ефективності** (сучасний, прогнозований) розглядаються обґрунтовані нами параметри водо- та енергокористування, визначені за узагальненими результатами опрацювання та аналізу бази даних багаторічних спостережень з функціонування ПРЗС за період 1966-2016 рр. спільно з Зайцем В. В. та Приходько Н. В. Він характеризується дольовою часткою рису на системі 60-50%, зрошувальною нормою $M=18,0 \text{ тис. м}^3/\text{га}$; сумарним об'ємом перекачаної води $W_{\text{П}}= 27,5 \text{ тис. м}^3/\text{га}$; затратами електроенергії $Q = 1,78 \text{ тис.кВт}\cdot\text{год}/\text{га}$ (питомий показник $117,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{тис. м}^3$, або $\alpha_y = 0,65 \text{ тис. м}^3/\text{ц}$), середньою швидкістю фільтрації $0,005-0,006 \text{ м}/\text{добу}$, врожайністю рису $Y = 43 \text{ ц}/\text{га}$ та забезпечує

створення сприятливого ПМР та підтримання задовільного ЕМС зрошуваних земель при коефіцієнті екологічної надійності – **0,56-0,58**.

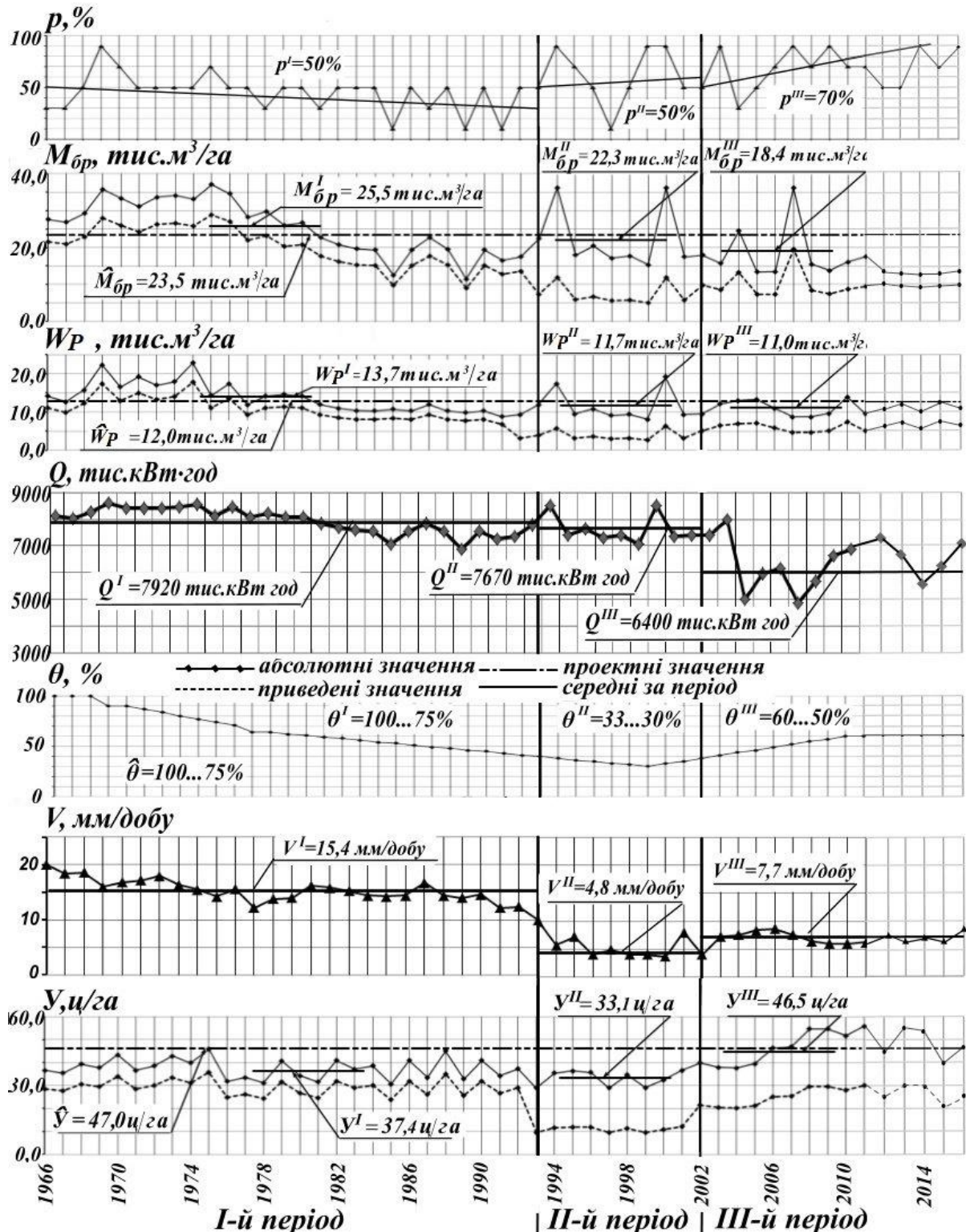


Рис. 4.20. Динаміка зміни показників при оцінці ефективності функціонування ПРЗС:
 p – тепло-й вологозабезпеченість періоду вегетації, $M_{бр}$ – зрошувальна норма рису брутто,
 W_p – об’єм дренажно-скидних вод, Q – затрати електроенергії на перекачку води,
 θ – частка рису в сівозміні, V – швидкість фільтрації, Y – врожайність рису

Таким чином, розробка раціональних режимів зрошення культур рисової сівозміни з урахуванням як економічного, так і екологічного аспектів їх вирощування, що повинно ґрунтуватись на засадах ресурсо- та енергозбереження є важливим питанням, а визначені раціональні величини доцільно розглядати як орієнтири на шляху досягнення максимальної ефективності функціонування ПРЗС у сучасних погодно-кліматичних умовах та можливих їх змін у найближчій та віддаленій перспективі.

За таких умов результати прогнозованих раціональних величин ефективності функціонування ПРЗС в умовах зміни клімату будуть такими (табл. 4.18).

Таблиця 4.18

Узагальнена порівняльна характеристика сучасних та прогнозованих з урахуванням змін клімату раціональних величин ефективності функціонування ПРЗС

		У, ц/га	М, тис.м ³ /га	А, бали	α_y , тис.м ³ /ц	W _П , тис.м ³ /га	Q, тис. кВт·год/ га
Сучасні раціональні величини		43	18,0	44	0,65	27,500	1781
Прогнозні раціональні величини	- СССМ	49	24,0	51	0,68	33,400	1871
	- УКМО	50,4	23,0	52	0,63	32,000	1854

Обґрунтовані параметри водо- та енергокористування за раціональними рівнями ефективності функціонування РЗС за прогнозом на найближчу перспективу в сучасних умовах та за прогнозом зміни погодно-кліматичних умов (моделі «СССМ» та «УКМО») на віддалену перспективу показали, що через існуючий незадовільний технічний стан системи виникає необхідність розгляду можливості застосування ресурсозберувального рівня ефективності її роботи.

– **Ресурсозберувальний рівень ефективності** (сучасний, прогнозований) характеризується наступними параметрами водо- та енергокористування для умов ПРЗС: зрошувальна норма рису $M = 15,0$ тис. м³/га; сумарна перекачана вода $W_{П} = 20,3$ тис. м³/га; затрати електроенергії $Q = 1,64$ тис. кВт·год/га (питомий показник

146,7 кВт·год/тис. м³, або $\alpha^0_y=0,47$ тис. м³/ц) забезпечує врожай рису $Y = 43$ ц/га при середніх швидкостях фільтрації *0,004-0,006 м/добу*. Водночас, реалізація ресурсозберезувальної технології водокористування на ПРЗС у сучасних та прогнозованих умовах, порівняно з проектним рівнем, з одного боку, дає змогу заощадити до 40% водних ресурсів та підвищити загальний рівень технічної експлуатації РЗС, з іншого, при цьому не забезпечується необхідний рівень промивності зрошуваних засолених ґрунтів як на рівні рисового чека, так і системи загалом, що має передбачати розробку необхідних додаткових заходів.

Узагальнені результати проведених досліджень представлені в табл. 4.19 у вигляді порівняльної оцінки ефективності функціонування ПРЗС за визначеними критеріями оцінювання, часовими періодами та рівнями ефективності, усереднених відносно типових за умовами тепло- й вологозабезпеченості розрахункових років.

Так, оцінка умов формування ПМР, відповідних ЕМС та еколого-економічної ефективності функціонування ПРЗС за визначеними періодами та рівнями ефективності показала, що підвищення загальної їх ефективності потребує подальшого системного удосконалення взаємопов'язаних режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водо- та енергокористування на них, розробки комплексу відповідних заходів та обґрунтування їх оптимальних параметрів порівняно з визначеними раціональним та ресурсозберезувальним рівнями.

Таблиця 4.19

Узагальнені результати оцінювання ПМР, ЕМС та еколого-економічної ефективності функціонування ПРЗС за визначеними періодами та рівнями ефективності

Показники		Зрошувальна норма, тис.м ³ /га	Рівні ґрунтових вод, м	Мінералізація ґрунтових вод, г/л	Відкачана вода, тис.м ³ /га	Загальна перекачана вода, тис. м ³ /га	Спожито електроенергії, тис.кВт·год/га	Швидкість фільтрації, м/добу	Врожайність культури рису, ц/га	Коефіцієнт екологічної надійності, К _п
Періоди та рівні ефективності										
Проектне значення		23,5	1,5	-	12,0	35,2	2,08	0,015	47,0	-
Несприятливий ПМР та період за умовами заболочування (Θ = 100-75%)		25,5	1,1	0,5	13,7	39,5	2,13	0,033	38,6	0,43
Несприятливий ПМР та період за умовами засолення (Θ = 30-33%)		22,3	1,2	6,4	11,7	29,8	1,56	0,003	34,0	0,40
Сприятливий ПМР та період (Θ = 60-50%)		18,4	1,3	3,7	10,0	24,0	1,72	0,005	39,7	0,50
Рациональний	Сучасний	18,0	1,3	3,2	9,4	27,5	1,78	0,006	42,5	0,56
	Прогнозований СССМ	23,1	1,4	3,5	11,2	33,4	1,87	0,007	49,0	0,58
	Прогнозований УКМО	22,0	1,4	3,5	10,9	32,0	1,85	0,007	50,4	0,57
Ресурсозберувальний	Сучасний	15,3	1,7	3,7	8,1	20,3	1,64	0,004	43,0	0,64
	Прогнозований СССМ	19,6	1,5	4,0	9,0	27,1	1,77	0,005	49,5	0,62
	Прогнозований УКМО	18,7	1,5	4,0	8,8	27,2	1,77	0,006	50,9	0,60

РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

5.1. Режимно-технологічні заходи з підвищення ефективності функціонування РЗС

Існуючі технології вирощування затоплюваної культури рису потребують значних обсягів зрошувальної води, в тому числі й для забезпечення та підтримання промивного водного режиму засолених ґрунтів.

З великими об'ємами водоподачі пов'язаний також значний обсяг непродуктивних технологічних скидів, що на рисових системах може перевищувати 50% від загального об'єму водоподачі.

Затрати зрошувальної води при вирощуванні рису залежать від багатьох чинників: *прийнятого режиму зрошення; погодно-кліматичних умов місцевості; водно-фізичних властивостей ґрунту; конструкцій рисових карт та ін.*

Тому актуальним вирішенням сучасних еколого-економічних проблем галузі рисівництва України, пов'язаних із значними об'ємами водоподачі і непродуктивними технологічними витратами, є перехід на ресурсозберігаючі режими та технології водо- та енергокористування, мінімізація непродуктивних скидів, ресурсозбереження і охорона навколишнього природного середовища. Для досягнення поставленої мети необхідно виконання та реалізація низки задач, до яких належить необхідність удосконалення режимів та технологій водо- та енергокористування на РЗС з дотриманням вимог ресурсозбереження як необхідної умови підвищення загального рівня їх технічної ефективності.

На думку більшості вчених, однією з головних причин незадовільного рівня технічної експлуатації РЗС є недосконалість прийнятих режимно-технологічних рішень та пов'язане з цим нераціональне використання водних ресурсів, насамперед, через завищені зрошувальні норми і наявні непродуктивні скиди води, що мають місце при реалізації існуючих технологій водокористування при поверхневому затопленні.

Вирощування культури рису шляхом його поверхневого затоплення призводить до значних витрат зрошувальної води. При цьому, частка її безпосереднього споживання культурою рису є відносно невеликою. Найбільш затратними складовими водного балансу рисового чека є сумарне випаровування, фільтрація та технологічні скиди. В умовах зони рисосіяння України величина сумарного водоспоживання, залежно від ґрунтово-кліматичних умов та сортових особливостей рису становить 9,0-11,0 тис. м³/га.

Величина фільтраційних втрат з поверхні рисових полів відноситься до нерегульованої частини водного балансу та залежить від водопроникності ґрунтів, гідрогеологічних умов, конструктивних особливостей рисових систем, зокрема поливних карт, параметрів зрошувальної та дренажно-скидної мереж.

Як відзначалось вище, процес фільтрації по площі карти-чека відбувається дуже нерівномірно. Вільна фільтрація під затопленою рисовою картою має місце, в основному, лише в придренних зонах, а в її центральній частині вона має місце лише у початковий період при насиченні ґрунту зони аерації. Фільтрація зрошувальної води як з каналів, так і рисових полів визначається інтенсивністю бокового відтоку у дренажну мережу, при цьому найбільші значення швидкості фільтрації спостерігаються на частині рисового поля, у так званих придренних зонах, на відстані до 50 м від картових дрен. Посередині міждрення значення швидкості фільтрації, незалежно від конструкції поливних карт, зменшуються практично до нуля.

Оскільки фільтрація з рисових полів складає приблизно половину зрошувальної норми, то зменшення фільтраційних втрат є одним з головних шляхів зменшення її величини і загальних обсягів водозабору на зрошення рису та супутніх культур.

Тому задача полягає в розробці дієвих заходів направлених на забезпечення рівномірної дренаваності по площі рисової карти, підтриманні її на необхідному рівні (5-8 мм/добу) та зменшенні фільтраційних втрат води із зрошувальної мережі.

Розроблений на основі цього ресурсозберігаючий режим зрошення рису забезпечує сприятливі умови вирощування рису, отримання його врожайності

на рівні 7-10 т/га і вище, при цьому досягається виконання вимог ресурсо- та енергозбереження. Зрошувальна норма стабілізується на рівні 15-18 тис. м³/га, обсяг ДСВ за межі РЗС зменшується з 10-15 тис. м³/га до 2-3 тис. м³/га. За межі РЗС видаляються лише ті дренажні води, які не містять залишків пестицидів, не чинять токсичної дії на навколишнє середовище і за своїм складом відповідають вимогам як «нормативно чисті».

Порівняння визначених усереднених значень основних складових технологічних елементів водоподачі і водовідведення (*глибина шару затоплення, h , м; зрошувальна норма рису бруutto, $M_{бр}$, тис. м³/га; затрати води на технологічні скиди, S , тис. м³/га; затрати води на створення проточності, S_n , тис. м³/га*) при реалізації виділених режимів зрошення рису при поверхневому поливі затопленням представлено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Усереднені параметри основних показників водокористування щодо визначених режимів зрошення рису

Режими зрошення рису	Показники водокористування			
	h , м	$M_{бр}$, тис. м ³ /га	S , тис. м ³ /га	S_n , тис. м ³ /га
Постійне затоплення	0,25	23,5	2,5	1,2
Скорочене затоплення	0,20	20,0	2,0	1,2
Ресурсозберігаючий режим	0,10	15,0	1,0	-

Основою розробленої технології зрошення рису є послідовність таких операцій: поле затоплюється відразу після сівби рису, розрив у часі між внесенням азотних добрив, сівбою та затопленням не повинен перевищувати 2-3 доби; кожен чек рисової карти повинен затоплюватися не довше ніж 20-24 год, а карта в цілому – 2-3 доби. Швидке затоплення попереджує підвищення рівня залягання слабо- і середньомінералізованих, прохолодних підгрунтових вод у зону розвитку кореневої системи рису.

Гідромодуль затоплення повинен складати 30-50 л/с-га, що відповідає режиму максимальної водоподачі, при глибині шару водив чеках 8-10 см.

5.2. Підвищення дренаваності та рівномірності фільтрації по площі та профілю карт-чеків на основі глибокого розпушення

Досвід експлуатації ПРЗС показав, що ЕМС земель визначається ступенем промивності ґрунтів рисових поливних карт та надійною роботою всіх елементів зрошувальної і дренажно-скидної мережі. Задача дренажу рисової системи як єдиного засобу регулювання їх водного і сольового режимів – це розсолення ґрунтів протягом періоду вирощування рису, створення оптимальних мінімально-необхідних швидкостей фільтрації води в ґрунті в продовж усього вегетаційного періоду та забезпечення швидкого просушування чеків в післяполивний період.

При низькій водопроникності ґрунтів площа розсолюючої дії дренажу складає до 50% площі рисової карти КЧД і 20-25% площі ККТ. Розсолення ґрунтів відбувається лише в короткий проміжок часу – період після скиду води з чеку і пониження РГВ (кінець вересня – початок листопада). На чеках під супутніми культурами, навпаки, відбувається реставрація засолення. Тому для підвищення врожайності рису, створення сприятливих умов для протікання ОВП та ліквідації передумов для вторинного засолення ґрунтів необхідно збільшувати інфільтрацію під рисовим полем та забезпечувати рівномірність її розподілу по всій поверхні рисової карти. В той же час, як показали дослідження, досягти рівномірного дренажу по всій площі рисового поля при існуючих конструкціях рисових карт та параметрах дренажу неможливо.

Оцінюючи ефективність дренажу за показником осушувальної дії у відповідні технологічні періоди вирощування рису Мендусь С. П. [170] прийшов до висновку, що для забезпечення сприятливого регулювання водно-сольового та аераційного режиму ґрунтів відстань між дренами для ПРЗС потрібно зменшувати порівняно з існуючою у 2-3 рази.

Існуючий досвід і теоретичний аналіз [73; 97; 127; 158; 162; 190; 198; 201] свідчать про те, що ефективне регулювання водно-повітряного режиму ґрунтів за допомогою дренажу доцільне і технічно можливе у достатньо водопроникних ґрунтах ($K_{\phi} \geq 0,5$ м/добу).

Стосовно ґрунтів рисових систем, зокрема ПРЗС, збільшення водопроникності верхніх шарів ґрунту є особливо актуальним, оскільки в результаті тривалого перезволоження водно-фізичні властивості їх настільки погіршилися, що останні стали своєрідним водоупором для шару води на поверхні рисового поля.

Збільшення водопроникності ґрунтів рисових систем може бути досягнуто після проведення додаткової агро меліоративної обробки верхнього ущільненого шару ґрунту. Одним із способів підвищення водопроникності важких ґрунтів та дренажності рисових поливних карт, що експлуатуються в умовах тривалого перезволоження, може стати їх глибоке розпушення. Ще В. Я. Черньонок і Ш. І. Брусиловський [300] відмічали, що найбільш ефективним агро меліоративним заходом на важких ґрунтах є глибоке розпушення.

Посилення дренажності поливних карт за рахунок проведення агро меліоративних заходів має стати основою високоефективного, еколого-безпечного використання зрошуваних земель рисових систем, управління їх родючістю і поліпшення агро екологічного стану.

Тому, нагальним є питання щодо пошуку технологічних рішень щодо застосування на РЗС глибокого розпушення і запровадження в практику агро меліоративних заходів при експлуатації РЗС більш прогресивних та досконаліших в технічному, економічному й екологічному плані способів і засобів глибокого розпушення ґрунтів.

Доцільність застосування глибокого розпушення на важкосуглинистих слабоводопроникних ґрунтах підтверджена досвідом його використання на осушуваних та зрошуваних землях як в Україні, так і в різних регіонах ближнього і далекого зарубіжжя [300; 158; 301 та ін.].

Глибоке розпушення значно поліпшує водно-фізичні властивості розроблюваного ґрунту: щільність зменшується, відповідно шпаруватість, водопроникність та водовіддача збільшуються. Тим самим глибоке розпушення відіграє важливу роль при регулюванні водно-повітряного режиму ґрунтів. Глибоке розпушення приводить до істотного збільшення водопроникності

грунту 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. Так за даними [237], при використанні щільового розпушення щільність ґрунту відразу після розпушення в зоні нарізаних стояками щілин складала в орному шарі 1,4-1,45 т/м³, а у підорному – 1,45-1,71 т/м³ (у зоні проходження стояка).

Найкращі результати глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів [258] досягнуті при застосуванні суцільного розпушення на основі використання багатоярусного розпушувача-оструктурувача. При цьому щільність ґрунту в орному шарі зменшилась до 1,1-1,15 т/м³, у підорному – до 1,2-1,3 т/м³. Крім того, була доведена можливість прогнозувати і отримувати бажану структуру в будь-якому горизонті вертикального профілю розпушеного ґрунту в наслідок можливості регулювання параметрів робочого органу розпушувача-оструктурувача. При цьому, на відміну від попередніх технологій, була досягнута оптимальна структура розпушеного ґрунту: в орному шарі – 55-60% за масою ґрунтових агрегатів з розміром поперечника 10-50 мм і решта 40% – за сумарною масою агрегатів з поперечником меншим за 10 мм та більшим за 50 мм, а у підорному горизонті, відповідно, з поперечником 20-50 мм – 70-80%, та разом агрегатів з поперечниками меншими за 20 мм і більшими за 50 мм – 38-40%.

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 осушуваного мінерального ґрунту за варіантами його розпушення подані в табл. 5.2.

Результати впливу глибокого розпушення на водно-фізичні властивості мінеральних осушувальних ґрунтів можна трансформувати і на ґрунти рисових систем, оскільки його вплив визначається в першу чергу водно-фізичними і механічними властивостями самих ґрунтів, а не зоною їх розташування.

Дослідження впливу глибокого розпушення на ґрунти рисових систем не проводились, тому ми використаємо найбільш узагальнені результати

досліджень щодо впливу глибокого розпушення на ефективність роботи дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах у різних регіонах [300].

Таблиця 5.2

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

Показники Варіанти розпушення	Щільність (γ), т/м ³			Шпаруватість (A), %			Водопроникність (k_{ϕ}), м/добу			Водовіддача (μ) за Еркіним		
	абс. знач.	відхилення від контролю		абс. знач.	відхилення від контролю		абс. знач.	відхилення від контролю		абс. знач.	відхилення від контролю	
		т/м ³	%		т/м ³	%		т/м ³	%		—	%
Без розпушення (контроль)	1,68	—	—	38,3	—	—	0,30	—	—	0,014	—	—
Щільове розпушення	1,63	0,5	2,9	41,8	3,53	9,2	0,65	0,62	206	0,030	0,016	114
Смугове розпушення	1,53	0,5	8,9	43,2	4,9	12	0,82	0,79	296	0,038	0,024	171
Суцільне розпушення	1,32	0,6	21	50,0	11	30	1,36	1,33	443	0,063	0,049	350

Аналіз результатів попередніх досліджень дає можливість стверджувати, що глибоке розпушення, яке виконується для покращення дренаваності РЗС необхідно проводити у відносно слабководопроникних ґрунтах, коефіцієнт фільтрації підорних горизонтів яких на глибині 0,3-0,4 м менший ніж 0,3 м/добу. Періодично, з метою підтримання сприятливих водно-фізичних властивостей ґрунтів, глибоке розпушення необхідно повторювати.

На РЗС глибоке розпушення найкраще проводити під люцерною в рисовій сівозміні, або на полях зайнятих супутніми культурами після їх збирання. Одночасно з глибоким розпушенням рекомендується вносити добрива та хімічні меліоранти, що стабілізує і поліпшує агрохімічні властивості ґрунту. Найбільш вивченими і доступними для застосування в якості хімічних меліорантів є вапнякові матеріали усіх видів і полікомплекси. Внесення вапнякових матеріалів ефективно на кислих ґрунтах. Дозу їх внесення визначають за повною гідролітичною кислотністю з урахуванням потужності шару ґрунту, куди вони будуть вноситися. Внесення вапна в орні шари знижує кислотність ґрунтів, значно покращує їх агрохімічні властивості, сприяє

збільшенню у 2-3 рази суми поглинутих основ.

В період вирощування рису попередньо проведене розпушення ґрунту на рисовому полі за теоретичними розрахунками буде сприяти рівномірному дренажу шару води по площі рисової карти з швидкостями необхідними для винесення легкорозчинних солей з активного шару ґрунту та переміщення їх у нижче розташовані шари, покращенню його кисневого режиму, а в післяполивний осінній період – швидкому пониженню РГВ для прискорення проведення збирання врожаю та проведення осінньої обробки ґрунту. Глибоке розпушення ґрунтів рисових систем може стати дієвим заходом недопущення випереджувального підйому рівня мінералізованих ґрунтових вод в приканальних смугах, що спостерігається на рисових чеках в період їх початкового затоплення. Викликаний такий підйом гідравлічним напором, що обумовлений різницею рівнів води в зрошувальних каналах і на прилеглих до них рисових чеках. В умовах близького вихідного залягання (до 2 м) мінералізованих ґрунтових вод розміри зони впливу розподільних зрошувальних каналів досягають 100 м і більше. Як показали розрахунки та результати досліджень на осушувальних ґрунтах, покращення умов руху гравітаційної вологи під впливом глибокого розпушення у перші роки його проведення підсилює дренажний стік у 2-2,5 рази, що прискорює зниження РГВ.

Глибоке розпушення буде сприяти швидкому прониканню поливних вод в ґрунтовий профіль і їх змикання з мінералізованими ґрунтовими водами буде відбуватись на безпечних, з точки зору засолення ґрунту, глибинах. При цьому, швидкості промочування ґрунту будуть випереджати швидкості підйому ґрунтових мінералізованих вод, що буде виключати можливість іригаційного засолення активного шару ґрунту.

Глибоке розпушення перезволожених ґрунтів рекомендується проводити лише у поєднанні з дренажем при дотриманні відповідної технології робіт [229; 300].

Створення більш сприятливого водно-повітряного режиму та поліпшення водно-фізичних і хімічних властивостей зрошуваних ґрунтів рисових систем,

підвищення їх загальної вологозабезпеченості за рахунок збільшення їх акумулюючої здатності внаслідок глибокого розпушення позитивно впливає на приріст врожаю.

Результати виконаного машинного експерименту з визначення прогнозованих значень урожайностей культур рисової сівозміни при різних варіантах глибокого розпушення щодо розрахункових років представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Прогнозована врожайність культур рисової сівозміни за варіантами розпушення

№ з/п	Варіанти розпушення	Культури	Врожайність по розрахункових роках, р %					Проектна врожайність, ц/га
			10	30	50	70	90	
1	Без розпушення (контроль)	Рис	32,0	34,0	36,0	38,0	40,0	35,9
		Багаторічні трави	240,0	220,0	210,0	180,0	160,0	203,0
		Озимі зернові	38,0	36,0	32,0	28,0	26,0	31,9
		Ріпак	20,0	28,0	34,0	36,0	38,0	32,0
		Овочі	280,0	300,0	340,0	360,0	400,0	339,0
2	Щілине розпушення	Рис	40,0	52,0	58,0	62,0	64,0	56,0
		Багаторічні трави	270,0	250,0	260,0	210,0	190,0	233,0
		Озимі зернові	43,5	41,5	37,5	33,5	31,5	36,5
		Ріпак	24,0	32,0	38,0	40,0	42,0	36,0
		Овочі	320,0	340,0	380,0	400,0	440,0	379,0
3	Смугове розпушення	Рис	45,0	57,0	63,0	67,0	69,0	61,0
		Багаторічні трави	280,0	260,0	270,0	220,0	200,0	243,0
		Озимі зернові	47,5	45,5	41,5	37,5	35,5	40,5
		Ріпак	29,0	37,0	43,0	45,0	47,0	41,0
		Овочі	360,0	380,0	420,0	440,0	480,0	419,0
4	Суцільне розпушення	Рис	49,0	61,0	67,0	71,0	73,0	65,0
		Багаторічні трави	295,0	275,0	285,0	235,0	215,0	243,0
		Озимі зернові	50,5	48,5	44,5	40,5	38,5	43,5
		Ріпак	33,0	40,0	47,0	49,0	51,0	45,0
		Овочі	390,0	420,0	450,0	470,0	510,0	449,0

Як переконливо засвідчують результати, застосування глибокого розпушення на ґрунтах рисових систем забезпечить прибавку врожаю культур:

щілинне – 5-10%; смугове – 10-20%; суцільне – 20-40%.

Наведені результати щодо прогнозованих значень врожаю культур рисової сівозміни адекватно відображають досягнутий ступінь поліпшення умов їх вирощування за варіантами глибокого розпушення ґрунтів рисових систем.

5.2.1. Параметри глибокого розпушення та їх технологічна ефективність

Технологічна ефективність глибокого розпушення має такі головні аспекти щодо його реалізації різними засобами та способами: по-перше, це якість розпушення ґрунту; по-друге, це енергозатрати на його виконання; по-третє, рівень та характер впливу розпушення на водно-фізичні та агроеліоративні властивості ґрунту тощо.

Тому до основних параметрів глибокого розпушення відносяться: глибина розпушення; інтервали розпушення; відстань між смугами розпушення; повнота розпушення.

Глибина розпушення залежить від глибини залягання і потужності слабководопроникних ґрунтових горизонтів. Як правило вона становить не більше 0,6-0,7 м.

На ґрунтах з водотривкими прошарками, які розміщені на слабодренованих рівнинах глибина розпушення може становити 0,5-0,6 м. Встановлено, що збільшення глибини розпушення з 0,4 до 0,6 м, як правило, не впливає на щільність і загальну шпаруватість орного шару ґрунту. В шарі ґрунту 0,25-0,4 м щільність може зменшуватись, а шпаруватість зростати (біля 5% у перший рік і 2-3% — через три роки). Більш значима дія відбувається в шарі 0,4-0,6 м, в якому щільність зменшується до 10%, а загальна шпаруватість зростає на 15-20%.

Глибина розпушення впливає на роботу дренажу. Це проявляється у деякому збільшенні дренажного поверхневого стоку. Найбільший вплив глибина розпушення має у перший рік після його проведення, у подальшому вплив розпушення зменшується.

На ефективність глибокого розпушення впливає конструкція робочого органу. Використання знарядь з пасивними робочими органами потребує

великих тягових зусиль, при цьому одним з критеріїв обґрунтування глибини розпушення є також вибір типу трактора-тягача і розпушувача.

Інтервали розпушення (відстань між робочими органами розпушувача) залежать від водно-фізичних властивостей ґрунту і конструкції робочих органів розпушувача.

На ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації меншим за 0,1 м/добу відстань між робочими органами повинна бути 0,6-0,8 м. Її можна збільшити до 1-1,2 м при зменшенні щільності підорного горизонту і наявності водопроникних прошарків.

У виробничій практиці вважається, що якість виконання розпушення найкращим чином характеризується показниками повноти розпушення та додаткової вологоємності розпушеного ґрунту [300].

Традиційно повнота розпушення характеризується відношенням площі розпушеного ґрунту у поперечному перерізі (смуги захвату робочих органів розпушувача) до суми площ розпушеного і не розпушеного ґрунту у цьому ж поперечному перерізі відповідно до розрахункових схем досліджуваних технологій

$$R = \frac{F_p}{F_p + F_n}, \quad (5.1)$$

де F_p – площа розпушеного ґрунту в поперечному перерізі (смуги захвату робочих органів розпушувача);

$F_p + F_n$ – сума площ розпушеного і нерозпушеного ґрунту в поперечному перерізі.

Оскільки за таким визначенням коефіцієнт повноти розпушення не дає змоги оцінювати порівняльну ефективність технологій та технічних засобів з різним ступенем глибокого розпушення ґрунту, доцільно визначати його не за відношенням площі розпушеного ґрунту до площі поперечного перерізу захвату робочих органів, а за об'ємом ґрунту, що розробляється, на площі 1 га з порівняльною глибиною 1 м

$$R_c = \frac{V_{pc}}{V_m} = V^{\circ}_{pc} \cdot n_{pc} \cdot 10^{-4}, \quad (5.2)$$

де R_c – коефіцієнт повноти розпушення ґрунту за відповідною технологією,
 V_{pc} – об'єм розробленого ґрунту на масиві розпушення 1 га за відповідною технологією, m^3 ;
 V_{pc}° – об'єм розробленого ґрунту на даному масиві за один прохід робочого органу відповідної технології розпушення, m^3 ;
 V_m – порівняльна величина об'єму ґрунту на даному масиві з глибиною 1 м, $V_m = 10000 m^3$;
 n_{pc} – кількість проходів розпушувача на даному масиві.

Об'єм розпушеного ґрунту за один прохід V_{pc}° та кількість проходів розпушувача n_{pc} визначаються з урахуванням параметрів його робочого органу.

Порівняльна характеристика ефективності застосування різних технологій з різним ступенем глибокого розпушення ґрунту на основі коефіцієнту повноти розпушення, визначеного за формулою (5.2) відповідно до розрахункової схеми, поданої на рис. 5.1, представлена в табл. 5.4.

Енергетична ефективність відповідної технології глибокого розпушення ґрунту насамперед характеризується питомим показником витрати енергії на $1 m^3$ розпушеного ґрунту, який визначається за формулою

$$\theta_i = \frac{E_\epsilon}{V_{p.g.}} = \frac{E_p}{R_c \cdot V_m}, \quad (5.3)$$

де θ_i – питома витрата енергії на $1 m^3$ розпушеного ґрунту, kJ/m^3

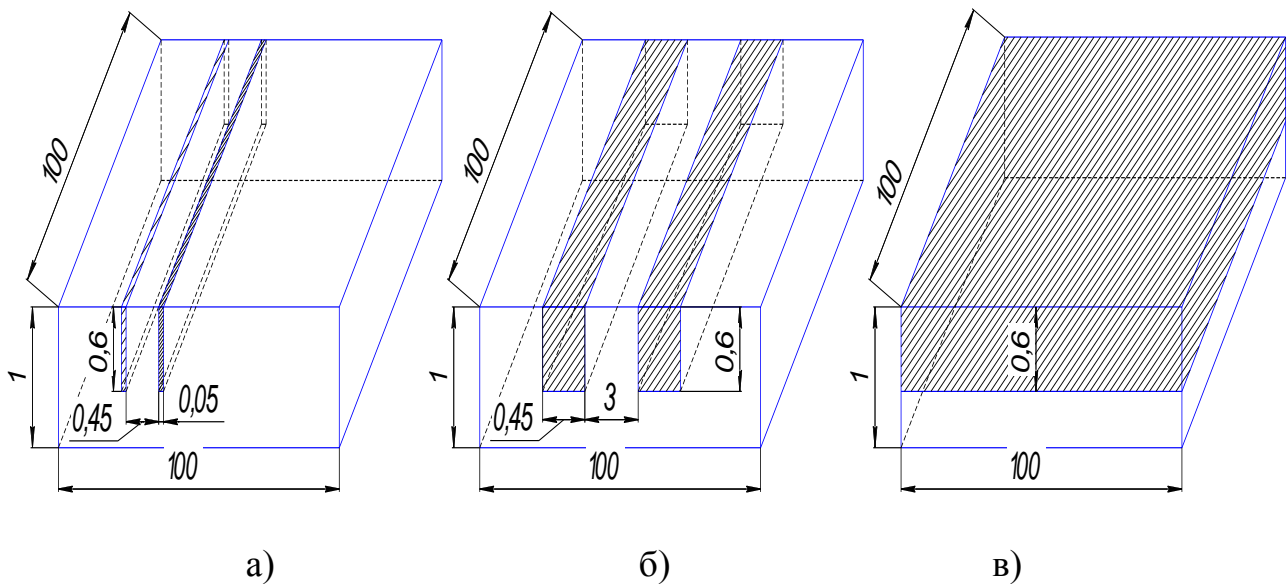


Рис. 5.1. Розрахункові схеми глибокого розпушення ґрунту для досліджуваних технологій (розміри дані в метрах): а) щільове розпушення серійним двостояковим розпушувачем РУ-45; б) смугове розпушення одностояковим багатоярусно-плужним розпушувачем; в) суцільне розпушення багатоярусним розпушувачем-оструктурувачем

Таблиця 5.4

Параметри технологій глибокого розпушення на масиві розпушення в 1 га

Показники технології Варіанти розпушення	Об'єм розпушеного ґрунту за один прохід, V_{cp} , м ³	Кількість проходів розпушувача, n_{cp}	Коефіцієнт повноти розпушення, R_c
Щільове розпушення	3	20	0,18
Смугове розпушення	27	28	0,45
Суцільне розпушення	150	40	0,60

У загальному випадку, головним показником, який характеризує загальні енерговитрати на реалізацію глибокого розпушення ґрунту, є інтегральний показник, який визначається за формулою

$$E_B = E_T + E_P + E_{II} + E_{Л}, \text{ кДж}, \quad (5.4)$$

де E_B – енергетичні витрати на розпушення ґрунту, кДж;

E_T – енергетичні витрати тракторів-тягачів, кДж;

E_P – енергетичні витрати розпушувача, кДж;

E_{II} – енергетичні витрати палива, кДж;

$E_{Л}$ – енергетичні витрати праці людини, кДж.

Порівняльна характеристика ефективності застосування різних технологій з різним ступенем глибокого розпушення ґрунту за відповідними показниками енергетичної ефективності представлена в табл. 5.5.

Результати енергетичного аналізу показують, що хоча суцільне розпушення більш енергоємне, ніж щільове та смугове, але застосування такої технології забезпечує істотну прибавку додаткової і первинної продукції у вигляді прибавки врожаю вирощуваних культур, яка не тільки покриває витрати на його реалізацію, але й створює відповідний прибуток. Тому коефіцієнт енергетичної ефективності більший при суцільному розпушенні ґрунту, ніж при традиційному щільовому та багаторярусному смуговому способах, що дає змогу більш ефективно використати потенціал меліорованого ґрунту.

Таблиця 5.5

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

Показники Варіанти розпушення	Витрачена енергія на розпушення (E_B), кДж/га	Питома витрата енергії на 1 м ³ розпушеного ґрунту (θ), кДж/м ³	Коефіцієнт енергетичного еквіваленту, (φ)	Енергетична оцінка вирощеного врожаю (E_V), кДж/га
Щільове розпушення	1286,8	7,39	17,3	22262
Смугове розпушення	3675,76	4,53	6,77	24875
Суцільне розпушення	4594,61	0,77	6,04	27730

Водночас, термін ефективної післядії розглянутих способів глибокого розпушення мінерального ґрунту складає відповідно: щільового – 1 рік; смугового – 3 роки, суцільного – до 4 років.

За останні роки проведена значна робота щодо конструювання, виготовлення, випробування та впровадження засобів глибокого розпушення – агромеліоративних глибокорозпушувачів [258; 216; 26 та ін.].

Поряд з традиційними стояковими глибокорозпушувачами (типу РУ-45, РГ-8А, РНТ-0,8А та ін.), широко з'являються і більш прогресивні багатоярусні плужні розпушувачі, що в більшій мірі забезпечують вимоги до розпушення ґрунту.

Тут можна відмітити більш досконалу конструкцію багатоярусного жолобовидного розпушувача безвідвального типу (В. Ф. Ткачук, С. В. Кравець, О. П. Рижий та ін.) [216; 258]. Нове технічне рішення дає змогу пошарово поліпшити структуру ґрунту в кожному розроблюваному горизонті, при цьому, одночасно диференціювати ступінь його розпушення за глибиною (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Загальний вигляд багатоярусного розпушувача-оструктурувача

Завдяки новому принципу розпушення вперше з'явилась можливість диференційованого за якістю розпушення ґрунту, та отримання бажаної ступені його розпушення у кожному горизонті вертикального профілю залежно від його структури та щільності зі збереженням верхнього гумусного шару (рис. 5.3).

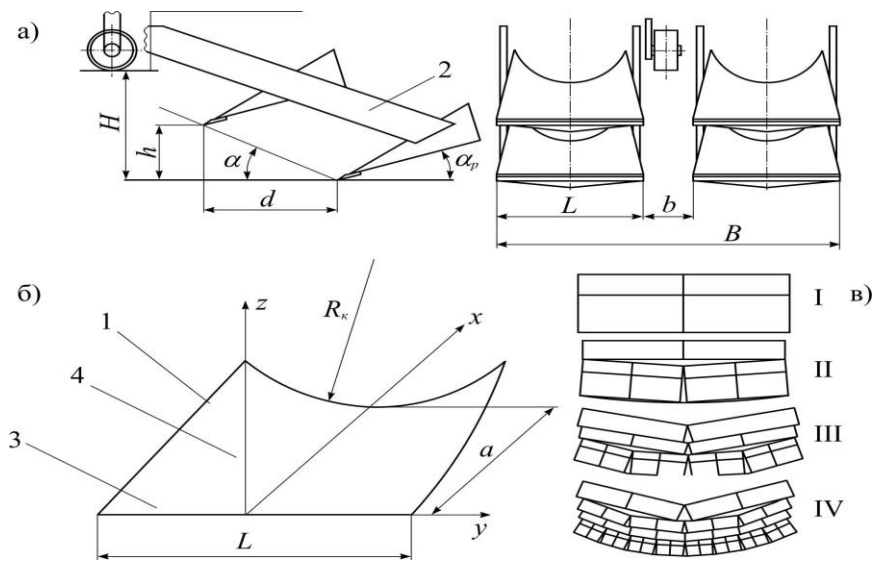


Рис. 5.3. Багатоярусний робочий орган-оструктурувач, симетричний:

а) – схема багатоярусного робочого органу; б) – розрахункова схема ґрунторозробного елемента; в) – стадії подрібнення стружки ґрунторозробною поверхнею під час її руху; 1 – ґрунторозробний елемент; 2 – рама; 3 – леміш; 4 – жолоб; H – глибина розпушення; h – товщина стружки; α – кут нахилу рами до горизонту; α_p – задній кут; B – ширина смуги розпушення; R_k – «кінцевий» радіус жолоба; a – довжина жолоба; b – відстань між сусідніми ґрунторозробними поверхнями; l – ширина ґрунторозробної поверхні

Під час робочого руху розпушувача-оструктурувача кожен його ґрунторозробний елемент (1) лемешем (3) підрізає відповідний шар ґрунту. Підрізаний ґрунт, рухаючись жолобом змінної кривизни (4), копіює його поверхню і, згинаючись у лобовій площині, руйнується на окремі агрегати. Розміри отриманих агрегатів визначаються «кінцевим» радіусом кривизни жолоба R_k . Підбираючи потрібний «кінцевий» радіус жолоба робочого органу, можна отримувати необхідний ступінь подрібнення ґрунту в кожному горизонті залежно від його щільності.

З метою удосконалення даного розпушувача, нами запропоновані конструктивні зміни в робочий орган розпушувача-оструктурувача (рис. 5.4), які дають можливість суттєво зменшити тягове зусилля, що досягається шляхом встановлення кута атаки робочого органу на ґрунт в межах $25-30^\circ$.

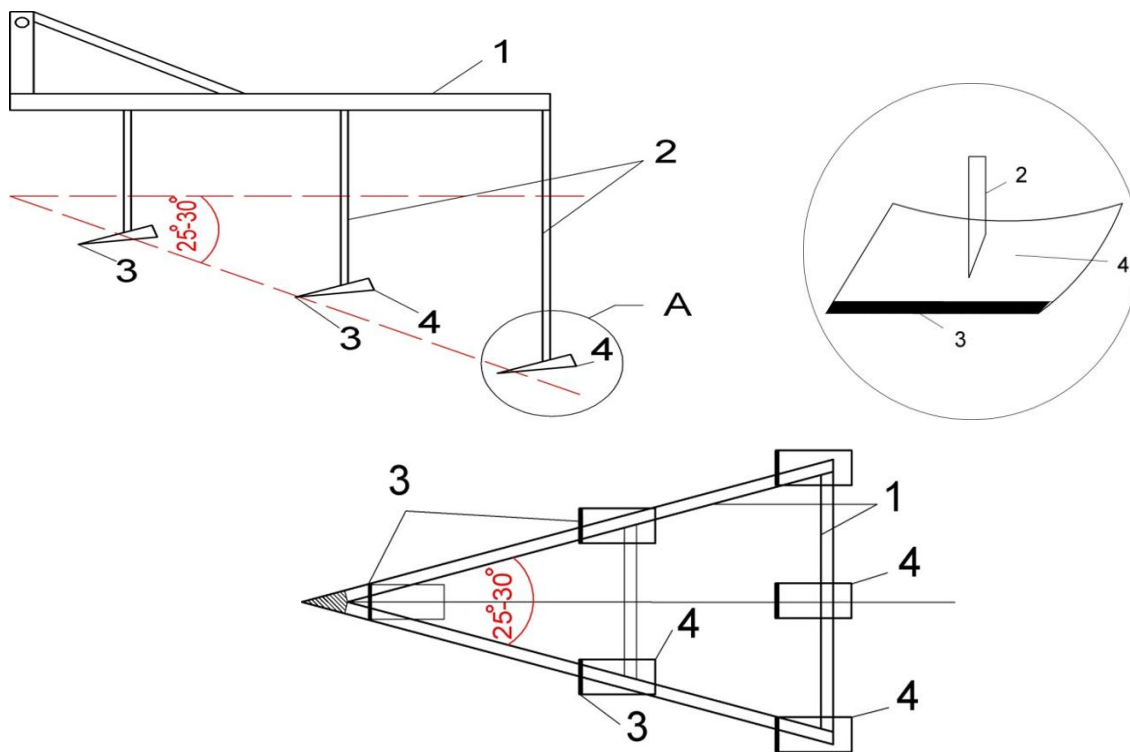


Рис. 5.4. Удосконалений багатоярусний розпушувач-оструктурувач:
 А ґрунторозробний елемент; 1 – рама; 2 – стояк; 3 – леміш; 4 – жолоб

Відомо, що зменшення кута атаки робочого органу на ґрунт дає можливість зменшити тягове зусилля, але одночасно зменшується площа профілю розпушеного ґрунту і навпаки, збільшення кута атаки – суттєво збільшує опір ґрунту робочому органу. Як показали розрахунки, кут атаки робочого органу $25-30^\circ$ як в горизонтальній так і в вертикальній площині сприяє рівномірному за якістю розпушенню усього просторового обсягу ґрунту та суттєво зменшує енергозатрати за рахунок зменшення протидії ґрунту робочому органу розпушувача.

Такий розпушувач-оструктурувач має питомий опір переміщенню при розпушенні на 40% менший, ніж у традиційних розпушувачів.

Таким чином, 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 та диференціювати структуру розпушення за глибиною та, окрім того зменшити суттєво тягове зусилля.

5.2.2. Ефективність роботи дренажу та обґрунтування його параметрів при глибокому розпушенні ґрунту

Глибоке розпушення, виконане в оптимальні строки з дотриманням усіх нормативних вимог, поліпшує водно-повітряний режим, умови живлення і розвитку рослин й, відповідно, підвищує продуктивність земель рисових систем. Ряд науковців [192; 193] відмічають, що на РЗС, розміщених на територіях зі складними гідрогеологічними умовами, сприятливе регулювання водно-сольового і аераційного режимів ґрунтів у всі технологічні періоди роботи рисової системи можливо тільки шляхом улаштування систематичного внутрішньоканального закритого дренажу.

Так, Мендусь С. П. [170; 169], як варіант, пропонує конструкцію поливної рисової карти- чека з поперечним розміщенням внутрішньоканальних регульованих дрен з відводом дренажного стоку в закритий канальний колектор. Запропонована конструкція направлена на посилення дренажності поливної карти з метою забезпечення швидкого та рівномірного розсолення ґрунтів по всій площі при вирощуванні затоплюваного рису, створення умов для безпечного і тривалого вирощування супутніх культур, удосконалення управління роботою дренажу рисової зрошувальної системи та покращення інших конструктивних показників.

Але це не вирішує головної проблеми – низької водопроникності верхнього шару ґрунту рисового поля та нерівномірної фільтрації по його поверхні. При запропонованій конструкції рисової карти, знову ж таки, безпосередньо над дренами фільтраційний потік буде значно вищим ніж на міждренні. Водночас, для забезпечення сприятливого ЕМС стану ґрунтів РЗС по всій поверхні рисового чека необхідно забезпечити рівномірний, мінімально прийнятний промивний режим.

Тому, для вирішення даної проблеми пропонується замість систематичного закритого дренажу, який не забезпечує рівномірної фільтрації по поверхні рисового поля, проведення розпушення ґрунту з дооснащенням дренажно-скидної мережі у вигляді відкритих каналів поодинокими закритими дренами.

Це значно дешевший спосіб покращення ЕМС РЗС, в порівнянні з влаштуванням систематичного дренажу, в той же час більш ефективний.

Так як дослідження впливу глибокого розпушення на ґрунти рисових систем не проводились, тому ми використаємо найбільш узагальнені результати досліджень щодо впливу глибокого розпушення на ефективність роботи дренажу на мінеральних осушуваних ґрунтах у різних регіонах, які розглянуті в [300] і зводяться до наступного:

- 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 12-15 м, збільшити до 16-20 м;

- у Білорусі [300] нормами проектування передбачено збільшення міждренних відстаней при глибокому розпушенні 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 Нечорнозем'я рекомендовано збільшувати відстані

між дренами на важких ґрунтах у 1,4-1,6 рази [301];

- за Б. С. Масловим [162], збільшення відстаней між дренами дасть змогу скоротити капіталовкладення в осушення земель на 20-40%;

- найбільший вплив на РГВ 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.

Тому за аналогією отримані результати можемо трансформувати і на відповідні ґрунтові умови рисових зрошувальних систем.

При глибокому розпушенні ґрунтів основними параметрами дренажу є глибина закладання дрен та відстані між ними. Стосовно одного з параметрів, а саме глибини залягання дрен, то в умовах рисових систем на засолених землях

вона має складати не менше 2 м [136; 191; 247].

На думку авторів [301; 300], питання про збільшення відстані між дренами при глибокому розпушуванні може бути вирішено на підставі техніко-економічних розрахунків, або розрахунків нестійкої фільтрації.

Розраховуючи ступінь збільшення відстаней між дренами при глибокому розпушенні, в якості розрахункової можна прийняти найпростішу схему фільтрації води в двошаровому ґрунті, де коефіцієнт фільтрації першого шару – це розпушений верхній ґрунт, значно перевищує коефіцієнт фільтрації другого шару – нижній ґрунт, що знаходиться у природному стані (рис. 5.5).

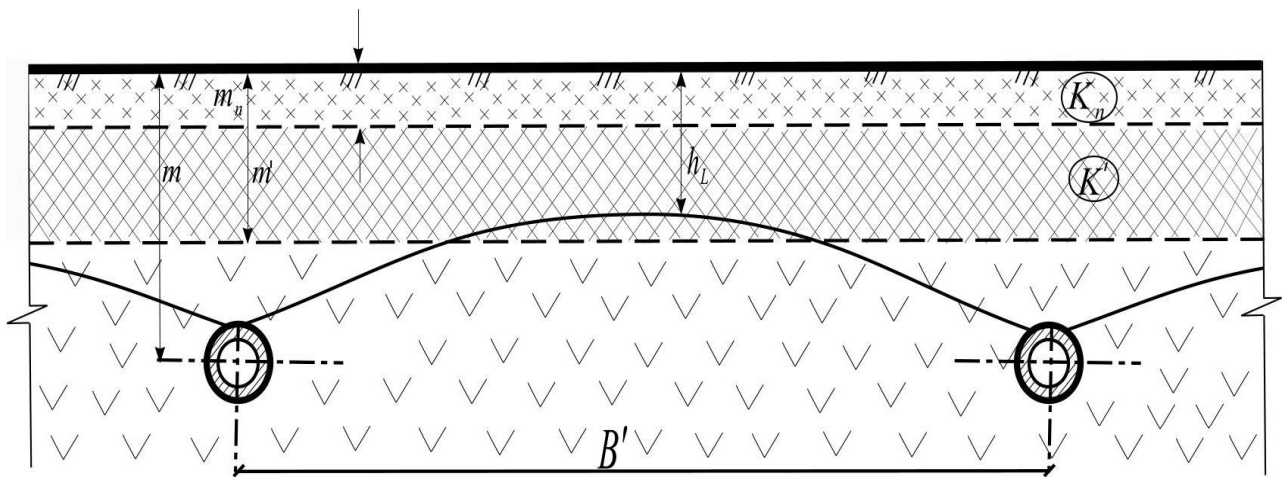


Рис. 5.5. Розрахункова схема визначення відстаней між дренами з глибоким розпушенням [300]

Тоді відстані між дренами для досконалого дренажу можна визначити за формулою Ш.І. Брусиловського

$$B = 2L = 2 \sqrt{\frac{3p \cdot t}{\delta \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}}, \quad (5.4)$$

$$\text{де } \delta = \begin{cases} \alpha_n \bar{h}, & h \leq m_n \\ \alpha_n \bar{h} + (\alpha - \alpha_n) \cdot \left(\frac{\bar{h} - m_n}{\bar{h}}\right) & \text{при } m' \geq h \geq m_n, \end{cases} \quad (5.5)$$

$$\bar{h} = m + 2h_L / 3, \quad (5.6)$$

де t – розрахунковий час;

h_L – норма осушення, м;

m_n – потужність орного шару, м;

m' – глибина розпушення;

m – глибина залягання дрен, м;

δ – сумарна водовіддача;

$\alpha_n - \alpha$ – похідна ґрунту відповідно орного та підорного шарів;

P – водопровідність, м²/добу.

Після розпушення $\alpha_n, \alpha, \delta, B, P$ позначаються відповідно $\alpha'_n, \alpha', \delta', B', P'$.

Якщо прийняти, що $m_n \leq h_L \leq m'$, тоді:

– до розпушення

$$P = \frac{1}{3} \cdot [K_n \cdot m_n + K \cdot (2m - m_n - h_L)]; \quad (5.7)$$

– після розпушення

$$P' = \frac{1}{3} \cdot [K'_n \cdot m'_n + K' \cdot (2m' - m_n - h_L) + 2K \cdot (m - m')], \quad (5.8)$$

де K_n та K'_n – коефіцієнти фільтрації орного шару відповідно до і після розпушення, м/добу;

K та K' – коефіцієнти фільтрації підорного шару до і після розпушення, м/добу.

Тоді відстані між дренами:

– до розпушення

$$B = 2 \sqrt{\frac{3 \cdot \frac{1}{3} \cdot [K_n \cdot m_n + K \cdot (2m - m_n - h_L)] \cdot t}{\delta \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}}, \quad (5.9)$$

– після розпушення

$$B = \sqrt{\frac{3 \cdot \frac{1}{3} \cdot [K'_n \cdot m'_n + K' \cdot (2m' - m_n - h_L) + 2K \cdot (m - m')] \cdot t}{\delta' \cdot \left(0,25 + \ln \frac{m}{m - h_L}\right)}}. \quad (5.10)$$

Коефіцієнт зміни відстаней між дренами ρ при глибокому розпушенні визначають за співвідношенням

$$\rho = \frac{B'}{B} = \sqrt{\frac{P' \cdot \delta}{P \cdot \delta'}}. \quad (5.11)$$

Якщо вважати, що водовіддача верхнього орного шару мало змінюється після розпушення ($\delta = \delta'$), то коефіцієнт зміни відстаней між дренами наближено можна визначити за залежністю

$$\rho = \sqrt{\frac{\frac{K'_n}{K} m_n + \frac{K'}{K} (2m' - m_n - h_L) + 2 \cdot (m - m')}{\frac{K_n}{K} m_n + (2m - m_n - h_L)}}. \quad (5.12)$$

Результати розрахунків параметрів дренажу та ступеня збільшення міждрення за різними варіантами розпушення мінеральних ґрунтів для умов ПРЗС виконаних за викладеною методикою за умови влаштування додаткових закритих дрен представлено в табл. 5.6.

Так, розглянуту методику доцільно використовувати для умов наявного дренажу при визначенні ефективності застосування різних технологій розпушування ґрунту на діючих рисових системах України.

Таблиця 5.6

Посилення дренаваності мінеральних ґрунтів за різними варіантами розпушення

Варіанти розпушення	Без розпушення	Щільове розпушення	Смугове розпушення	Суцільне розпушення
Відстані між дренами, м	100	124	135	150
Ступінь збільшення міждрення	–	1,24	1,35	1,50

У проектах нового будівництва, реконструкції та модернізації РЗС, при визначенні відстаней між дренами з урахуванням глибокого розпушення ґрунтів, вважаємо за доцільне використовувати загальноприйняту формулу В. М. Шестакова з урахуванням розробок О. Я. Олійника та О. І. Мурашко для однорідних і шаруватих ґрунтів в умовах атмосферно-ґрунтового живлення згідно ДБН В.2.4-1-99 [80], оскільки вона, на відміну від попередньої методики,

досить повно враховує конструктивні особливості матеріального горизонтального дренажу і реалізується за розрахунковою схемою, наведеною на рис. 5.6, як для випадку неглибокого водоупору, коли $m_0 \leq B/4$, за формулою

$$B_i = 4 \left(\sqrt{L_{fi}^2 + \frac{HT}{2q_i}} - L_{fi} \right), \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.13)$$

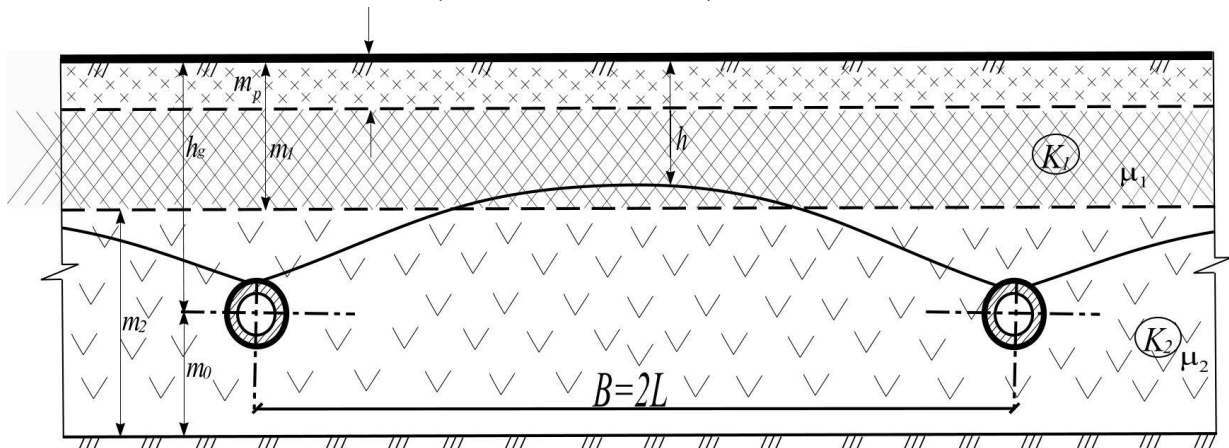


Рис. 5.6. Розрахункова схема визначення відстаней між дренами при роботі дренажу на РЗС в позавегетаційний період

Для випадку глибокого водоупору, коли $m_0 > B/4$, за формулою

$$B_i = \frac{2\pi k H}{q_i [\ln(2B_i / \pi D_i) + \Phi_i]}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (5.14)$$

де H – розрахунковий напір, м;

T – водопровідність пласта, $m^2/\text{добу}$;

q – інтенсивність інфільтраційного живлення, $m/\text{добу}$;

k_ϕ – коефіцієнт фільтрації ґрунту, $m/\text{добу}$;

D – зовнішній діаметр дрена, м;

Φ – фільтраційні опори за характером розкриття пласта залежно від конструкції дрена, м;

L_f – загальні фільтраційні опори за ступенем та характером розкриття пласта, м.

Загальні фільтраційні опори за ступенем та характером розкриття пласта визначаються як

$$L_f = \frac{m_D}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2m_0}{\pi D} \right) + \frac{2h_0}{m_D} \ln \left(\frac{4h_0}{\pi m_0} \right) + \left(1 + \frac{2h_0}{m_0} \right) \Phi \right], \text{ м,} \quad (5.15)$$

де m_0 – відстань від осі дрени до водоупору, м; B – відстань між дренами, м.

Тут розрахунковий напір визначається за формулою

$$H = h_g - 0,5 \cdot h_0, \text{ м,} \quad (5.16)$$

де h_g – відстань від поверхні землі до осі дрени; h_0 – норма осушення, м.

Водопровідність пласта

$$T = k_\phi \cdot (m_0 + h_0), \text{ м}^2/\text{добу.} \quad (5.17)$$

Установлена за цими формулами відстань між дренами для умов ПРЗС при глибині їх закладення 2 м коливаються в межах 85-100 м, що практично гарантує успішну роботу дренажу в усі технологічні періоди вирощування рису, а також при вирощуванні супутніх культур.

Олійник О. Я., Поляков В. Л. [192; 199; 200] пропонують метод розрахунку міждренної відстані в умовах глибокого розпушення в якому при відомій нормі осушення на заданий період часу, або при відомій відстані між дренами визначається тривалість періоду осушення. Для двошарової схеми, наведеної на рис. 5.6, розрахунок відстані між дренами в залежності від співвідношення потужності верхнього шару m_1 і норми осушення h розраховується за формулами

при $h \leq m_1$

$$L = \sqrt{4\Phi^2 + \frac{k_2 t_0}{\mu_1 P_2}} - 2\Phi \quad (5.18)$$

при $h > m_1$

$$L = \sqrt{4\Phi^2 + \frac{t_0}{\mu_1 P_2^0 + \mu_2 P_1}} - 2\Phi, \quad (5.19)$$

де t_0 – тривалість осушення до норми h ;

μ_1 – коефіцієнт осередненої водовіддачі верхнього шару;

μ_2 – коефіцієнт осередненої водовіддачі нижнього шару.

Для визначення коефіцієнтів μ можна використовувати формулу Еркіна

$$\mu = 0,056 \sqrt{k^3 h}, \quad (5.20)$$

де Φ – фільтраційний опір на гідродинамічну недосконалість дрен, який визначається за формулою

$$\Phi = 0,73m_2 \lg \frac{m_2}{\pi \times r_0}, \quad (5.21)$$

P – показник, який визначається за формулами, в залежності від постійної – δ , яка вираховується за виразом

$$\delta = k_2(k_1 - k_2)m_2^2 - k_1k_2m_0^2; \quad \lambda = k_2/k_1; \quad \beta = (\lambda - 1)m_2 \quad (5.22)$$

при $\delta > 0$

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{\delta}} \left(\operatorname{arctg} \frac{T_2}{\sqrt{\delta}} - \operatorname{arctg} \frac{T_2 - k_1 h}{\sqrt{\delta}} \right); \quad (5.23)$$

при $\delta < 0$

$$P_2 = \frac{1}{2\sqrt{-\delta}} \ln \left(\frac{T_2 - \sqrt{-\delta} T_2 + \sqrt{-\delta} - k_1 h}{T_2 + \sqrt{-\delta} T_2 - \sqrt{-\delta} - k_1 h} \right), \quad (5.24)$$

де k_1 – коефіцієнт фільтрації верхнього шару, м/добу;

k_2 – коефіцієнт фільтрації нижнього шару, м/добу;

m_0 – висота дрени 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

$$P_1 = \frac{1}{2k_2m_0} \ln \left(\frac{m_2 - m_0}{m_2 + m_0} \frac{M + m_0 - h}{M - m_0 - h} \right), \quad (5.25)$$

де M – загальна потужність водоносного горизонту, м

T_2 – провідність водоносного шару, м²/добу; $T_2 = k_1m_1 + k_2m_2$.

Розрахунок дренажу у випадку глибокого розпушення 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 $k_1; m_1; \mu_1$).

Результати розрахунку тривалості періоду осушення рисового поля за вище наведеною методикою для умов ПРЗС представлені на рис. 5.7.

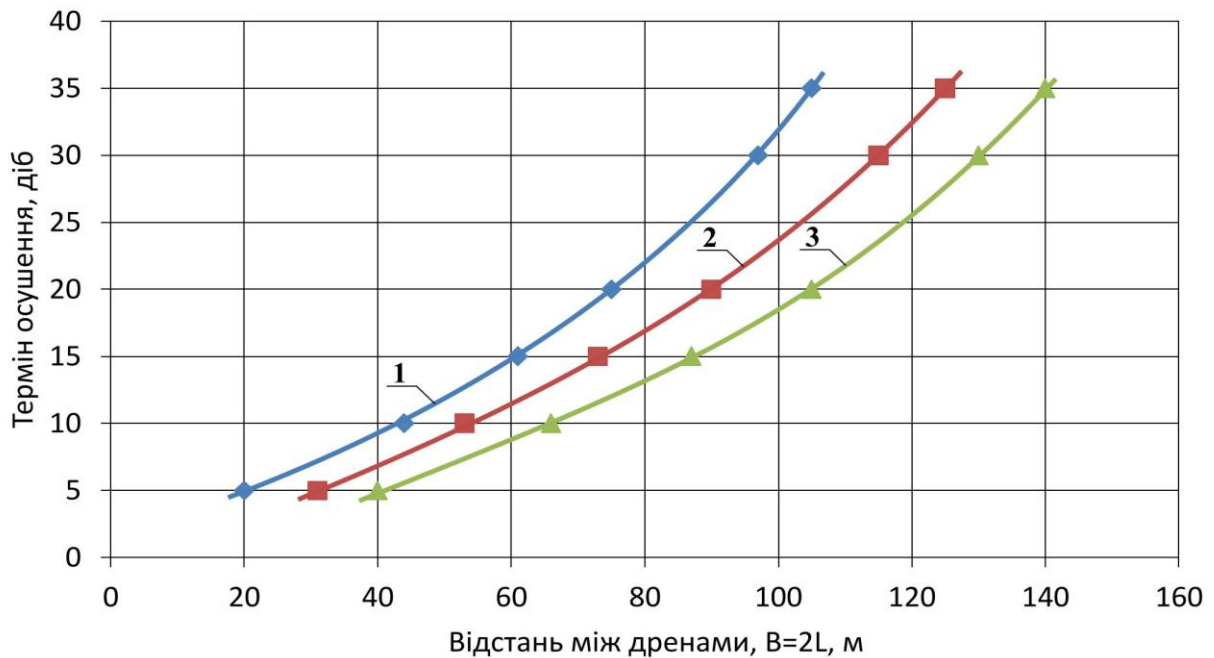


Рис. 5.7. Залежність часу осушення ($H=1,5$ м) рисового поля від відстані між дренами:
 1 – без розпушення; 2 – несучільне розпушення; 3 – суцільне розпушення

Як видно з рис. 5.7 при відстані між дренажними каналами $V=100$ м осушення рисового поля на глибину 1,5 м після скиду води відбувається за 28-30 днів. При проведенні несучільного розпушення на фоні дренажу з аналогічними параметрами зниження РГВ до такої глибини відбувається за 23-25 днів, а при суцільному розпушенні 16-18 днів. Отримані результати дають можливість стверджувати, що відстань між дренами при влаштуванні систематичного закритого дренажу на важких ґрунтах рисових систем можна збільшити на 35-50% за рахунок проведення періодичного розпушення ґрунтів та інтенсифікації роботи дренажу.

Дренаж для умов важких ґрунтів КРЗС, який забезпечить осушення рисових карт за 20-30 днів до необхідної норми осушення в післяполивний період при проведенні суцільного розпушення можна влаштовувати з міждренною відстанню 110-130 м. У даному випадку зниження РГВ до глибини 0,5-0,6 м, яка дозволяє проведення збирання врожаю, можна досягти за 3-5 днів, а при проведенні розпушення за 2-3 доби. Це особливо актуально для ККТ, на яких із-за їх конструктивних особливостей цей процес відбувається повільно в порівнянні з КЧД і становить 14-16 днів.

Глибоке розпушення призведе до збільшення об'єму дренажного стоку через збільшення максимальних модулів стоку [300; 301].

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, визначених за формулами 5.13-5.25, простежується за даними, що наведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7

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

Варіанти розпушування	Відстані між дренами, м							
	60	80	100	125	150	175	200	250
	Модуль дренажного стоку, л/с·га							
Без розпушування	0,052	0,031	0,024	0,020	0,017	0,013	0,011	0,010
Щільове розпушування	0,062	0,057	0,054	0,041	0,035	0,032	0,028	0,025
Смугове розпушування	0,073	0,070	0,060	0,055	0,048	0,042	0,036	0,032
Суцільне розпушування	0,081	0,074	0,066	0,060	0,055	0,050	0,043	0,040

Наведені результати в цілому відображають визначену тенденцію щодо ступеня збільшення міждрення при глибокому розпушуванні мінеральних ґрунтів, а також переконливо свідчать про те, що застосування глибокого розпушення ґрунтів РЗС інтенсифікує роботу дренажу та сприяє поліпшенню їх агроекологічного стану.

Середні швидкості вертикальної фільтрації, розраховані за формулами при відповідних параметрах розпушення ґрунту та відстанях між дренами рисових систем з характерними важководопроникними ґрунтами наведені в табл. 5.8.

Значення середніх швидкостей фільтрації під рисовим чеком при різних варіантах розпушення

Варіанти розпушування	Відстані між дренами, м							
	60	80	100	125	150	175	200	250
	Середні швидкості фільтрації з поверхні рисового чека, мм/добу							
Без розпушування	18,4	12,7	8,5	4,5	2,7	1,5	1,0	0,7
Щільове розпушування	27,3	18,3	11,2	6,4	4,4	3,7	2,4	1,4
Смугове розпушування	34,8	21,0	13,2	8,6	6,5	4,9	3,2	1,8
Суцільне розпушування	40,5	26,4	15,4	10,7	8,7	5,8	3,8	2,3

У розрахунках прийнятий осереднений коефіцієнт фільтрації з врахуванням водопроникності верхнього шару ґрунту без розпушення $K=0,5$ м/добу. Як показали розрахунки оптимальні швидкості фільтрації (6-8 мм/добу) спостерігаються на чеках-картах без проведення розпушення ґрунту при відстані між закритими дренами в поєднанні з існуючою відкритою дренажно-скидною мережею 100 м. За умови проведення глибокого розпушення таких швидкостей можна досягти застосовуючи щільове розпушення з відстанями 125 м, а при смуговому та суцільному розпушенні – при 150 м.

Таким чином, глибоке розпушення ґрунту на фоні дренажу дозволяє створювати задовільний промивний та аераційний режими на всій поверхні рисового чеку та при цьому суттєво зменшити капіталовкладення на влаштування дренажу.

5.3. Повторне використання дренажно-скидних вод як складова екологічно-безпечної технології вирощування рису

Актуальною проблемою, пов'язаною з вирощуванням рису є те, що технологічний процес потребує значних обсягів зрошувальної води, при вирощуванні рису на ПРЗС, які досягають 35 тис. м³/га. Із значною

водоподачею пов'язаний великий обсяг дренажних та непродуктивних технологічних скидів, які можуть перевищувати 50% водоподачі.

Основними вимогами, які висуваються до сучасного зрошуваного землеробства, в тому числі рисівництва, є отримання високих, економічно доцільних врожаїв сільськогосподарських культур за умови мінімізації витрат ресурсів на їх формування, збереження родючості ґрунтів та екологічного стану зрошуваних земель і прилеглих до них територій [28]. Головним ресурсом, що витрачається при зрошуваному землеробстві в порівнянні з богарним землеробством, є водні та енергетичні ресурси. У зв'язку з відчутним їх дефіцитом набуває все більшого значення проблема раціонального використання прісної води за рахунок зменшення її подачі, але збільшення при цьому використання дедалі зростаючих об'ємів слабомінералізованих дренажно-скидних вод.

Однією з найгостріших проблем, яку потрібно сьогодні розв'язувати експлуатаційним організаціям є використання ДСВ РЗС. На вирощування 1 га рису використовується 18-35 тис. м³ води, близько 50% якої витрачалось на фільтрацію та технологічні скиди [136]. На рисових системах щорічно формується і скидається в затоки Чорного та Азовського морів біля 600 млн м³ води. Тільки в Скадовському районі Херсонської області щорічно скидається в Джарилгачську затоку до 170 млн м³ ДСВ, 110 млн м³ з мінералізацією до 1000 мг/дм³ [24].

Дослідження, які проведені на ПРЗС на протязі 1967-2016 рр. показали, що навіть при низьких зрошувальних нормах з кожного гектару посівів рису в колекторно-дренажну мережу постійно потрапляє 8-10 тис. м³ води, мінералізацією до 2 г/л. Сумарний річний об'єм цього стоку становить в межах 100 млн м³. Щорічний водозабір з Дунаю на рисові системи складав від 250 млн м³ на початку 70-х років минулого століття і до 90 млн м³ у сучасних умовах. Відведення дренажних скидів у водні об'єкти призводить до часткової зміни їх мінералізації, забруднення засобами хімізації. Як показує досвід експлуатації більшості рисових систем як в Україні, так і за кордоном, величина скиду складає 30-70% від об'єму водозабору, що подається на

зрошення. Мінералізація такої води, як правило, невисока і знаходиться в межах від 0,5 до 3-5 г/л. Присутність у ДСВ солей важких металів є наслідком забруднення їх продуктами розпаду гербіцидів, які застосовують на рисових сівозмінах.

Водночас, ДСВ можуть бути важливим фактором, який може забезпечити значне збільшення площі зрошуваних земель на Півдні України без збільшення водозабору із джерел зрошення, а також зниження споживання води на зрошення рису та супутніх культур рисової сівозміни.

В основних районах рисосіяння на сьогоднішній день накопичений значний досвід по ефективному використанню ДСВ рисових систем [178; 206]. Перші дослідження, пов'язані з повторним використанням ДСВ рисових систем для зрошення рису і супутніх культур на ПРЗС були проведені в 1967-1980 рр. на Кілійській рисовій системі [248].

Як показують результати досліджень, для більшості рисових систем використання ДСВ на полив в перші роки їх експлуатації не є можливим. Це пояснюється, як правило, значною мінералізацією ДСВ і поганими їх якісними показниками, оскільки у початковий період експлуатації систем процес розсолення проходить найбільш інтенсивно. Після кількох років правильної в меліоративному і агротехнічному відношенні експлуатації рисової системи, на ній настає відносно стійка рівновага між кількістю солей, які поступають в балансовий шар і тими, які вилучаються з ДСВ. У цей період експлуатації системи, ДСВ можна використовувати для зрошення як змішуючи з прісною водою в різних співвідношеннях, так і без розчинення.

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

Перше, на що потрібно звертати увагу при повторному використанні ДСВ на зрошення рису – це наявність в них токсичних для рослин водорозчинних солей, які містяться в кількості вище фізіологічно допустимої межі, особливо солей Na_2SO_4 , $NaCl$. Також слід передбачити можливість виникнення і розвитку осолонцювання ґрунтів рисового поля внаслідок надлишкової кількості іонів Na^+ , які вносяться із зрошувальною водою.

На сьогоднішній день в меліоративній практиці виділяють такі основні прийоми використання ДСВ рисових систем для зрошення рису:

- повторне використання без розбавлення стоку;
- повторне використання з розбавленням стоку зрошувальною водою;
- повторне використання ДСВ із подачею у зрошувальні канали;
- часткове зворотне використання ДСВ.

Використання води без розбавлення стоку полягає в тому, що стік з рисового чека, який зрошується прісною водою подається на нижче розташований чек. Допустима мінералізація ДСВ при такому її використанні становить 1 г/л. При цьому необхідно здійснювати оперативний контроль мінералізації води, яка повторно подається на зрошення, а також зміни в мінералізації води в другому чеку. Не виконання цієї вимоги може бути причиною пониження врожайності рису, бо він має слабку солестійкість. На рисових системах стік можна використовувати на зрошення без розбавлення прісною водою не більше 1-2 рази. Цей прийом поширений в Краснодарському краї.

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

Повторне використання ДСВ із подачею у зрошувальні канали набуло поширення на Кубані і в Криму. На зрошувальній системі виявляють точки, в

яких можливо і доцільно перекачувати воду із колекторів в рисові зрошувальні канали. Цей прийом ефективний у випадку, коли на рисовій системі досягнутий високий рівень автоматизації міжгосподарського і внутрігосподарського водорозподілу, а також контроль за мінералізацією води, яка повторно використовується і змішується з прісною водою.

Часткове зворотне використання ДСВ найбільш перспективне на рисових зрошувальних системах. Цей прийом полягає в акумуляції ДСВ в ставках-накопичувачах або водосховищах з подачею води по мірі споживання в голову системи в міжгосподарський канал. Після змішування в каналі з водою, яка забирається з річки або водосховища, потік направляється на зрошення. Така система оснащена засобами автоматизації водорегулювання, контролю і зв'язку, дає можливість управляти процесом і забезпечує максимально ефективне використання ДСВ рисових систем.

По мірі наростання оборотних циклів мінералізація змішаної зрошувальної води буде збільшуватися. Щоб її мінералізація не перевищувала ГДК, необхідно передбачити вилучення з обігу частини ДСВ з подальшим відведенням їх у водоприймач. Перевагою цього прийому, крім значної економії води, є її екологічна надійність.

Дослідження УкрНЦОВ показали, що при витримуванні у буферних ємностях стоку з рисових систем протягом місяця проходить деструкція більшості гербіцидів до токсикологічно-небезпечних значень. Крім того, пестициди, які попадають в ґрунтове середовище разом з ДСВ, піддаються дії процесів, які спроможні зменшити в них вміст токсикантів. До останніх відносяться ґрунтові мікроорганізми і ферменти, рослини, інсоляція, сорбція ґрунтом, фільтрація, фітохімічне руйнування. Швидкість деструкції збільшується під впливом сонячної радіації і штучної аерації. Доочищення стоку здійснюється також при взаємодії з водною рослинністю («біоплато» із очерету, рогозу), що висаджується в ємностях-накопичувачах. Вищі водні рослини активно поглинають пестициди і біогенні речовини.

Проведені подальші багаторічні дослідження на ПРЗС показали, що навіть за оптимальної зрошувальної норми з кожного гектара посівів рису в

колекторно-дренажну мережу стабільно потрапляє 6-10 тис. м³ води з мінералізацією менше 5 г/л. Підвищена мінералізація ДСВ буває при першому затопленні рису та в період збирання врожаю. Протягом майже всього зрошувального періоду мінералізація скидної води не перевищує 3 г/л (максимальне значення) і коливається в основному від 0,6 до 1,7-1,8 г/л. Дослідженнями встановлено, що ДСВ з мінералізацією до 2 г/л за своїм хімічним складом і іригаційним властивостям придатні для зрошення рису і супутніх культур в умовах легких лугових ґрунтів дельти Дунаю. При поливі такою водою врожайність люцерни 1 року становила 230 ц/га зеленої маси, кукурудзи на силос – 430 ц/га, кукурудзи на зерно – до 50 ц/га. Ячмінь і люцерна, які найбільш чутливі до ДСВ рисових систем дали зниження врожаю 23,2-29,4% порівняно з поливом прісною дунайською водою. При цьому помітного погіршення сольового режиму ґрунтів при дотриманні їх промивного режиму не спостерігалось.

Проведені дослідження на ПРЗС показали, що лише на території КРЗС можна використати для зрошення до 15 млн. м³ слабомінералізованих ДСВ.

На цій системі були проведені польові дослідження щодо використання ДСВ підвищеної мінералізації для зрошення рису і супутніх культур на супіщаних ґрунтах, їх впливу на врожайність вирощуваних культур та процес розсолення ґрунту. В дослідях рис зрошували затопленням, а супутні культури – поливом по смугах.

Дослідження показали:

– найбільш солестійкими культурами виявились рис, кукурудза и суданська трава. Зниження врожайності цих культур при зрошенні водами з мінералізацією до 2 г/л, в порівнянні із зрошенням прісними водами, не перевищувало 18,4%, а збільшення засоленості ґрунту при цьому було не значним;

– ячмінь та люцерна виявились більш сприйнятливими до якості зрошувальної води, оскільки вже при її мінералізації 1 г/л зниження врожайності цих культур досягало 29,4 та 23,2% відповідно.

Узагальнені результати відповідних досліджень подані в табл. 5.9.

Узагальнені результати дослідження використання ДСВ для зрошення культур рисової сівозміни на супіщаних ґрунтах

Культура та її зрошувальна норма	Мінералізація зрошувальної води, г/л	Засолення ґрунту, %			Врожайність, ц/га	Зниження врожайності, %
		до посіву	після збирання врожаю	зміна засолення		
рис, 17500 м ³ /га	прісна	0,160	0,03	-83,1	47,0	-
	1,0	0,200	0,059	-70,5	45,3	3,6
	2,0	0,580	0,195	-67,3	42,0	10,7
	3,0	0,520	0,213	-59,6	38,7	17,7
люцерна (зелена маса), 2000 м ³ /га	прісна	0,270	0,267	-1,5	297,6	-
	1,0	0,267	0,284	+5,2	228,6	23,2
	3,0	0,250	0,304	+12,6	216,9	27,0
	5,0	0,270	0,362	+34,2	210,6	29,2
кукурудза на силос, 1500 м ³ /га	прісна	0,200	0,216	+6,4	436,0	-
	1,0	0,203	0,231	+13,7	431,6	1,3
	2,0	0,201	0,240	+15,4	356,0	18,4
	3,0	0,200	0,236	+16,2	337,0	23,0
кукурудза на зерно, 1500 м ³ /га	5,0	0,203	0,311	+52,0	96,0	79,0
	прісна	0,210	0,234	+11,4	43,5	-
	3,0	0,205	0,240	+17,2	39,6	8,3
	прісна	0,180	0,167	-7,2	21,9	-
ячмінь, 1700 м ³ /га	1,0	0,167	0,142	-15,0	15,5	29,4
	2,0	0,136	0,162	+16,0	15,6	28,8
	3,0	0,192	0,195	+1,5	15,5	29,4
	5,0	0,169	0,203	+17,0	14,2	35,2
суданська трава (зелена маса), 1000 м ³ /га	прісна	0,170	0,186	+6,0	286,4	-
	3,0	0,170	0,177	+4,0	270,4	5,4

Для вивчення можливості подальшого використання ДСВ ПРЗС була проведена оцінка води, що подається на зрошення в результаті змішування прісних вод з ДСВ в різних пропорціях.

Оцінювались такі варіанти:

- можливість використання ДСВ без розбавлення;
- можливість використання ДСВ при розбавленні їх прісними водами у пропорції 1:2;

- можливість використання ДСВ при розбавленні їх прісними водами у пропорції 1:1;
- можливість використання ДСВ при розбавленні їх з прісними водами у пропорції 2:1;
- полив прісною водою.

Нами була проведена оцінка придатності для зрошення поливної води, що утворюється при змішуванні ДСВ та прісної річкової води за методиками Буданова, Антипова-Каратаєва й Кадера, Можейко-Воротніка, Департаменту сільського господарства США (за натрієво-адсорбційним відношенням SAR).

Оцінювання поливної води за вище вказаними методиками показало (табл. 5.10), що за мінералізації ДСВ 1,35 г/л і мінералізації дунайської води 0,29 г/л, найбільш придатною для зрошення є поливна вода, яка утворена в результаті змішування ДСВ та прісної води у співвідношенні від 1:1 до 1:2.

Таблиця 5.10

Хімічний склад ДСВ при розбавленні її з прісною водою

Загальна мінералізація, г/л	Іонний вміст						Одиниці виміру
	Аніони			Катіони			
	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K	
Розбавлення 1:2							
0,70	4,10	4,62	1,58	3,45	3,25	3,6	мг-екв/л
	0,244	0,161	0,076	0,069	0,039	0,083	г/л
Розбавлення 1:1							
0,82	3,67	6,66	2,45	3,36	3,33	6,09	мг-екв/л
	0,223	0,233	0,118	0,066	0,04	0,14	г/л
Розбавлення 2:1							
0,99	3,92	8,68	3,13	3,61	4,14	7,98	мг-екв/л
	0,239	0,304	0,3	0,144	0,099	0,184	г/л

Водночас враховувалось, що мінералізація ДСВ становить 1,0-1,7 г/л за умови створення підпорів в картових зрошувачах та господарських каналах.

У випадку, коли підпори в каналах дренажно-скидної мережі не створюються, мінералізація ДСВ може складати до 3 г/л, і в такому випадку найбільш придатною для зрошення рису є вода, яка утворюється в результаті змішування ДСВ та прісної води у співвідношенні від 1:3. За результатами наших досліджень ДСВ змішані з прісними водами на зрошення можна

подавати, починаючи з періоду, коли карти повторно затоплюються після отримання сходів рису.

Нами встановлено, що при такому режимі подачі ДСВ на зрошення на дослідних картах ККТ і картах-чеках з дренажем, що розміщені на системі каналу Р-2 КРЗС суттєво зменшувались запаси солей як в ґрунті, так і в ґрунтових водах (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Сольовий баланс ККТ та карт-чеків з дренажем при поливі слабомінералізованими водами (за п'ятирічний період досліджень)

Елементи сольового балансу	Міждренна відстань, В=250м			
	КЧД		ККТ	
	т/га	%	т/га	%
Запаси солей в ґрунті в квітні 1,2 м	41,49	41,22	38,42	38,55
Запаси солей в ґрунтових водах в шарі 1,8 м	48,58	48,28	51,04	51,19
Надходження солей зі зрошувальною водою	9,09	9,04	8,80	8,83
Надходження солей з добривами	1,46	1,46	1,43	1,43
Всього солей в балансовому шарі (3 м) в квітні	100,62	100,0	99,69	100,0
Запаси солей в ґрунті в листопаді 1,2 м	32,33	32,13	37,65	37,78
Запаси солей в ґрунтових водах в листопаді в шарі 1,8 м	34,82	34,60	37,76	37,88
Винесення солей з дренажними водами	27,76	27,59	21,90	21,96
Винесення солей зі скидними водами	1,77	1,76	2,20	2,21
Винесення солей з врожаєм	1,25	1,25	1,15	1,15
Солеобмін з нижніми горизонтами	2,69	2,67	-0,97	-0,98
Всього солей в балансовому шарі (3 м) в листопаді	100,62	100,0	99,69	100,0

Особливістю Придунайських РЗС є те, що вони знаходяться на обвалованих територіях і на них, як подача води на зрошення з річки Дунай, так і відведення ДСВ за межі кожної з рисових систем в Дунай здійснюється насосними станціями (рис. 5.8, а). Тому, як для подачі води на зрошення, так і для відведення ДСВ щорічно витрачаються значні енергоресурси.

Враховуючи, що для зрошення можна використовувати прісні води, змішані з ДСВ у співвідношеннях від 1:1 до 1:2, нами запропонована схема подачі та відводу води для кожного з модулів ПРЗС, яка дозволить суттєво економити енергоресурси (рис. 5.8, б). При такій схемі ДСВ по напірному трубопроводу (б)

подаються в басейн (7), з якого переливаючись потрапляють в аванкамеру (14) і після цього подаються на зрошення.

Реконструкція водозабірної вузла при запропонованій схемі потребує мінімальних затрат, пов'язаних з влаштуванням басейну для змішування ДСВ з прісною дунайською водою (7), двох засувок та короткої ділянки напірного трубопроводу довжиною до 20 м.

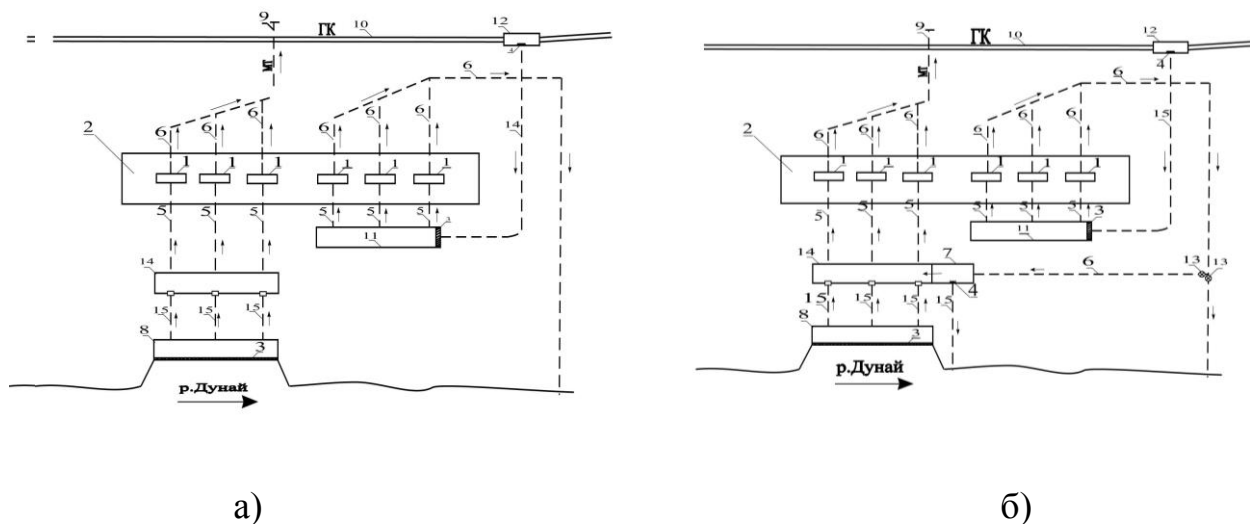


Рис. 5.8. Схеми подачі та відводу води на ПРЗС: а) існуюча; б) запропонована,
 1 – насос; 2 – насосна станція; 3 – сміттєзатримуюча решітка; 4 – шлюз;
 5 – всмоктуючий трубопровід; 6 – напірний трубопровід; 7 – басейн для подачі дренажно-скидної води на зрошення; 8 – водозабір для прісної води;
 9 – магістральний трубопровід, що подає воду на зрошення; 10 – головний скидний канал; 11 – водозабір для дренажно-скидної води; 12 – басейн для накопичення ДСВ;
 13 – засувка; 14 – аванкамера; 15 – низьконапірний трубопровід

В процесі використання ДСВ особливу увагу необхідно надавати оперативному контролю за їх мінералізацією та хімічним складом. Визначення цих показників в лабораторних умовах вимагає багато часу і призводить до затримки з своєчасною подачею прісної води для покращення іригаційних показників ДСВ.

Статистичний обробіток даних хімічних аналізів дозволив отримати залежності між іонним складом та загальною мінералізацією води. Так при гідрокарбонатному типі мінералізації ДСВ рівняння зв'язку має вигляд

$$\text{HCO}_3^- = 0,036 \times S_{\text{ог}} + 0,52 \quad \text{Ca}^{+2} = 0,013 \times S_{\text{ог}} + 0,04$$

$$\begin{aligned} \text{Cl}^- &= 0,460 \times S_{\text{де}} - 0,51 & \text{Mg}^{+2} &= 0,040 \times S_{\text{де}} + 0,09 \\ \text{SO}_4^- &= 0,180 \times S_{\text{де}} - 0,03 & \text{Na}^+ + \text{K}^+ &= 0,300 \times S_{\text{де}} - 0,02. \end{aligned}$$

При сульфатному типі мінералізації

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- &= 0,039 \times S_{\text{де}} + 0,40 & \text{Ca}^{+2} &= 0,031 \times S_{\text{де}} + 0,40 \\ \text{Cl}^- &= 0,380 \times S_{\text{де}} - 0,50 & \text{Mg}^{+2} &= 0,050 \times S_{\text{де}} + 0,10 \\ \text{SO}_4^- &= 0,300 \times S_{\text{де}} + 0,14 & \text{Na}^+ + \text{K}^+ &= 0,250 \times S_{\text{де}} - 0,02. \end{aligned}$$

В цих рівняннях мінералізація ДСВ ($S_{\text{де}}$) та вміст іонів виражені в г/л.

Користуючись наведеними залежностями, за відомої величини мінералізації, яку можна визначити солеміром, оперативно визнається хімічний склад ДСВ. Тип мінералізації легко можна визначити за вмістом хлор-іона та загальній лужності.

Завдяки використанню ДСВ на зрошення рису, по-перше – зменшується забруднення джерел зрошення біогенними елементами та залишками гербіцидів та інсектицидів, що повністю не розклались, по-друге – відпадає необхідність в перекачуванні значної кількості прісної води для поливів рису, завдяки чому досягається економія прісної води та електроенергії. Економія електроенергії на КРЗС за рахунок використання ДСВ може становити до 700 тис. кВт. год.

Розрахунки економічної ефективності використання ДСВ показали, що величина чистого прибутку при розбавленні їх прісною водою в співвідношенні 1:1 буде становити 27939,6 грн/га, а при розбавленні в співвідношенні 1:2 – 27834,6 грн/га. Додатковий чистий прибуток відповідно складе 778,8 грн/га та 673,7 грн/га.

5.4. Промивання засолених земель на фоні глибокого розпушення

В процесі освоєння нових територій під рисові системи або після тривалого вирощування супутніх культур на одних і тих же полях може виникнути необхідність у інтенсивному промиванні засолених земель.

Нами розроблений спосіб такого промивання засолених земель рисових систем на фоні глибокого розпушення ґрунтів.

Запропонований спосіб полягає у підвищенні водопроникності важких ґрунтів карт-чеків шляхом проведення попереднього суцільного глибокого розпушення ґрунтів.

Спосіб реалізується наступним чином.

В осінньо-зимовий період на полях, які будуть в наступному році зайняті культурою затоплюваного рису, проводиться глибоке розпушення ґрунту на глибину 0,6-0,7 м за допомогою засобів глибокого розпушення, що поліпшує водно-фізичні властивості розроблюваного ґрунту, зменшує тим самим його щільність та збільшує водопроникність. На ці поля в форсованому режимі через зрошувачі-скиди подається вода для створення на них відповідного шару води.

Видалення солей з верхніх горизонтів відбувається шляхом декантації, який передбачає систематичне розчинення солей у промивних водах та їх скидання за межі поля. Глибоке розпушення при цьому сприяє рівномірному дренаванню по площі рисової карти з швидкостями необхідними для винесення легкорозчинних солей з активного шару ґрунту та переміщення їх у нижче розташовані шари, а також швидкому промиванню ґрунтового профілю за рахунок покращеного контакту промивної води з сольовими горизонтами.

Перевагою запропонованого способу промивання засолених ґрунтів рисових систем є рівномірне розсолення ґрунтів по всій площі рисового поля та на більшу глибину, зменшення тривалості процесу промивання й швидке пониження РГВ в післяпромивний період, що прискорює проведення обробітку ґрунту, покращує його кисневий режим.

5.5. Удосконалення конструкції рисових систем та інтенсифікація роботи дренажу

Неспроможність існуючої дренажно-скидної мережі ПРЗС з її конструктивними особливостями і параметрами забезпечувати створення сприятливої природно-меліоративної обстановки на рисових полях, а саме забезпечувати розсолення кореневмісного шару ґрунту шляхом промивок шаром води при вирощуванні рису, сприятливі умови для аерації ґрунту, необхідну норму осушення в позавегетаційний період (1,5-2,0 м) і в період

вегетації під супутніми культурами рисової сівозміни (1,3-1,5 м), створювати оптимальні швидкості фільтрації (5-10 мм/добу) в верхньому шарі ґрунту по всій площі рисового чеку протягом вегетації рису свідчать про необхідність запровадження конструктивних змін в такі системи.

Незабезпечення дренажною мережею необхідної норми осушення у міжполивний період є однією з головних причин виникнення негативних процесів у ґрунтах рисових систем, зниження родючості ґрунту та урожайності рису. Неглибокі дренажні канали (1,5-1,7 м), побудовані через 200-500 м, не забезпечують необхідну дренажність і аерацію верхніх шарів ґрунту. В умовах недостатньої дренажності значно збільшується водонасиченість ґрунтів зони аерації, що негативно впливає на перебіг ґрунтових процесів і, відповідно, ефективність культури рису. Цей висновок підтверджується результатами досліджень, проведених у свій час С. М. Вашиком, С. М. Гончаровим і ін. [43; 70].

Тривалість періоду із сприятливим заляганням РГВ для центральної частини рисового поля при вирощуванні рису по рису становить для КЧД в межах 150-190 діб, що часто недостатньо для повного окислення ґрунтів від токсичних сполук. При переході від вирощування рису до вирощування супутніх культур сівозміни на даному полі, або до агро-меліоративного поля тривалість цього періоду значно зростає і становить 450-480 діб. На полях зайнятих під люцерною (2 роки) стояння РГВ на задовільних відмітках триває 850-950 діб. Дані результати наведені для центральної частини рисових чеків. Для придренних зон ці значення дещо вищі.

Оскільки вегетаційний період для швидкостиглих сортів рису становить в умовах півдня України 100-110 днів, середньостиглих – 110-125 днів, пізньостиглих 125-145 днів то період із сприятливими умовами для протікання окисно-відновлювальних процесів і покращення родючості ґрунтів рисової системи може бути значно збільшений.

Забезпечити швидке осушення рисових чеків і тим самим подовжити період сприятливого залягання РГВ можна досягти за рахунок часткової реконструкції дренажно-скидної мережі та покращення фільтраційних

властивостей ґрунтів. Цей комплекс заходів передбачає зменшення міждренних відстаней між відкритими дренажно-скидними каналами шляхом влаштування закритих дрен-колекторів та проведення агро-меліоративних заходів, а саме глибокого розпушення верхнього переуцільненого шару ґрунту.

Проведення таких заходів дасть можливість забезпечити швидке та рівномірне розсолення ґрунту по всій площі рисового поля при вирощуванні затоплюваного рису, створення умов для безпечного і тривалого вирощування супутніх культур, удосконалення управління роботою дренажу та покращення інших технологічних та конструктивних показників рисової системи.

Оцінюючи дієздатність дренажу за показником осушувальної дії у відповідні технологічні періоди вирощування рису Мендусь С. П. [170] прийшов до висновку, що для забезпечення сприятливого регулювання водно-сольового та аераційного режиму ґрунтів відстань між дренами потрібно зменшувати порівняно з існуючою у 2-3 рази, тобто до 70-80 м.

Як показали наші дослідження та проведені розрахунки забезпечити в умовах КРЗС для карт широкого фронту затоплення створення сприятливого водо-повітряного режиму ґрунтів можливо шляхом доповнення дренажної мережі у вигляді відкритих картових дрен поодинокими закритими дренами-колекторами (рис. 5.9).

Для КЧД з відстанями між відкритими дренами рівними 200 м, 250 м й 500 м, закриті дрени-колектори влаштовуються вздовж карти-чека, посередині між зрошувачами-скидами. Глибина закладки таких дрен-колекторів, виходячи із необхідної норми осушення в міжполивний період, повинна становити не менше 2 м.

Дооснащення рисових карт закритими дренами-колекторами скоротить міждренні відстані на КЧД до 100-125 м, замість існуючих 200-500 м.

Як показали розрахунки динаміки зниження РГВ на КЧД в умовах КРЗС, проведення часткової реконструкції дренажної мережі вирішує цілу низку проблем, а саме інтенсифікує процес осушення рисових полів в післяполивний період, забезпечує більш рівномірну дренаваність чеків, особливо в їх центральній частині.

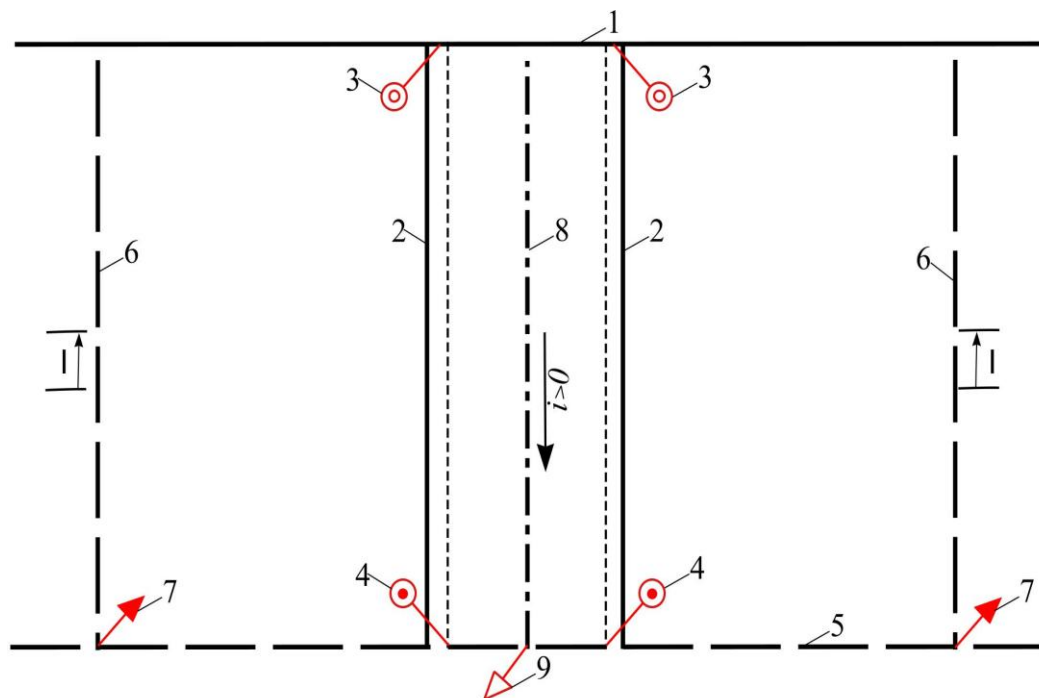


Fig.1

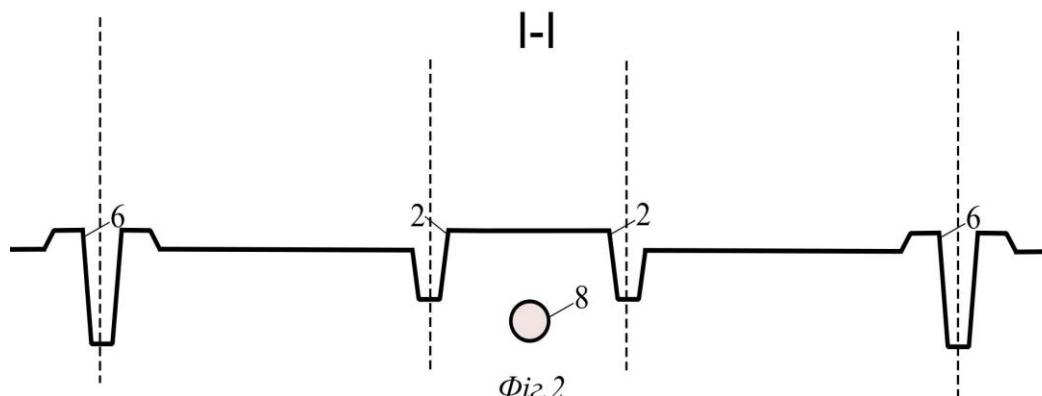


Fig.2

Рис. 5.9. Карта-чек широкого фронту затоплення дооснащена закритою дренаю-колектором: 1 – розподільчий зрошувальний канал, 2 – зрошувач-скид, 3 – водовипуск в зрошувач-скид, 4 – водовипуск із зрошувача-скиду, 5 – груповий скидний канал, 6 – картова дрена відкритого типу, 7 – підпірна споруда, 8 – закрыта дрена-колектор, 9 – регулююча споруда

Зниження РГВ до глибини 1,5 м відбувається значно швидше і становить для КЧД 20-30 діб, а це значить, що процес осушення рисового поля відбувається практично в 2-3 рази швидше (рис. 5.10).

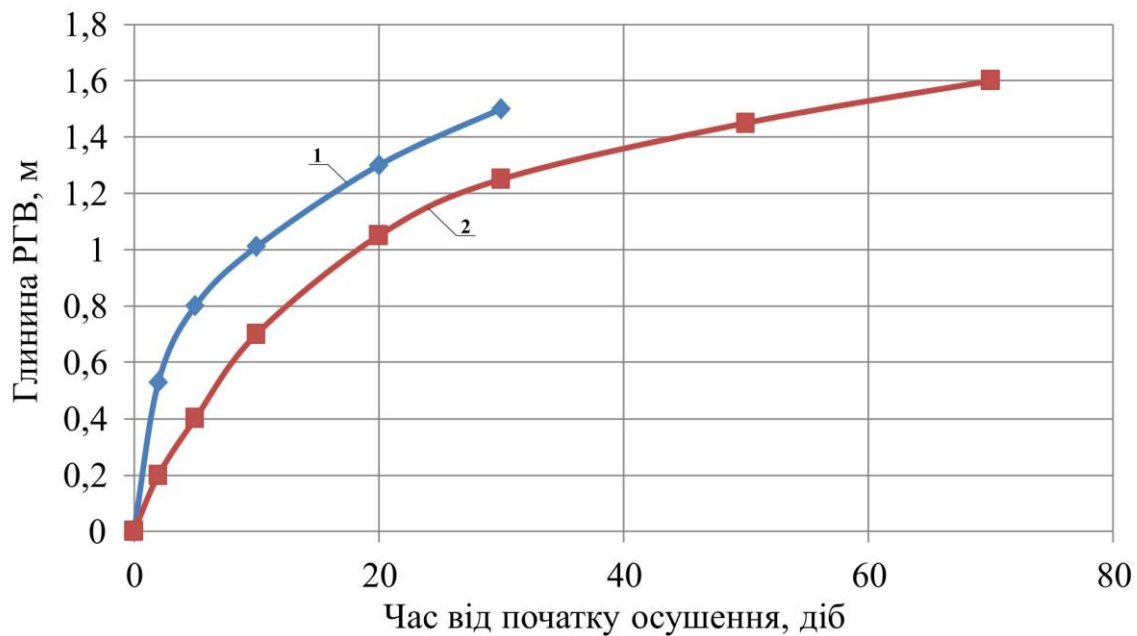


Рис. 5.10. Динаміка зниження РГВ на міждренні при дооснащенні рисової карти дренаю-колектором після скиду води: 1 – B=100 м, 2 – B=200 м

З рисунку видно, що при міждренній відстані 100 м зниження РГВ до глибини 1,5 м після скиду води з рисового поля відбувається за 30 діб, в той час як при відстані 200 м та при однакових гідрологічних умовах роботи дренажу – приблизно за 60 діб. Удосконалення конструкції дренажно-скидної мережі дає можливість продовжити період із сприятливим стоянням РГВ в міжполивний період на 30-100 діб, довівши його загальну тривалість до 200-220 діб. Протягом такого періоду відбувається повне окислення всіх відновлених токсичних продуктів до початку нового поливного сезону.

Отримані нами результати підтверджуються розрахунками проведеними за рекомендаціями О. Я. Олійника [193; 192], який пропонує перевірку осушувальної дії рисового дренажу здійснювати шляхом визначення положення РГВ на міждренні у момент часу t після скиду води з чеків за формулами

$$h = h_d - \frac{\varepsilon L}{2T} (L + 4\Phi) + (h_0 - h_d) \beta_1 + \frac{\varepsilon L^2}{T} \beta_2, \quad (5.26)$$

де ε – середня за розрахунковий період інтенсивність випаровування з поверхні ґрунтових вод;

L – половина міждренної відстані. $L = \frac{B}{2}$;

T – провідність водоносного шару;

β_1, β_2 – розрахункові коефіцієнти, які визначаються за спеціальними графіками [93].

Φ – фільтраційний опір з врахуванням недосконалості дрена

$$\Phi = 0,73h_d \cdot \lg \frac{2h_d}{\pi \cdot d} . \quad (5.27)$$

Зниження РГВ до норми осушення 0,8-0,9 м, що забезпечує можливість роботи сільськогосподарської техніки на полі, досягається за 15 діб при параметрах дренажу з $B=100$ м.

Дооснащення рисової карти додатковими закритими дренами-колекторами окрім впливу на глибину залягання РГВ в міжвегетаційний період, суттєво впливає на інтенсивність процесу вертикальної фільтрації під рисом в період його вегетації, яка ґрунтується на аналізах результатів як наших досліджень фільтрації так і досліджень, що були проведені у свій час рядом науковців [43; 65; 71; 93; 145; 169; 184; 191; 201; 202; 214]. Вона повинна бути не досить високою і рівномірною по всій площі поливної карти, а сам фільтраційний процес має бути керованим.

Водночас, як показали дослідження, досягти рівномірного дренажу по всій площі рисового поля при існуючих конструкціях рисових карт та параметрах дренажу неможливо.

Запропоновані нами зміни в конструкцію поливної карти-чека дають можливість суттєво покращити ситуацію.

Для перевірки таких припущень ними використано напрацювання М. І. Жовтонога [93], який вивчаючи розподілення фільтрації по ширині поливної карти на рисовій системі запропонував теоретичну формулу, що дає змогу визначити швидкість фільтрації з поверхні рисового поля на різній відстані від відкритої картової дрени

$$V_y = - \frac{q_2 Sh \frac{2\pi h_g}{B}}{B(ch \frac{2\pi h_g}{B} - \cos(\frac{2\pi x}{B}))} , \quad (5.28)$$

де B – відстань між дренами;

q_2 – погонний приток води до дрена систематичного дренажу, м²/добу;

h_g – глибина закладки дрена, м;

x – відстань від уріза води в чеку, що змінюється від 0 до B_k , м

Погонний приток води для відкритих картових дрена Мендусем С. П. для умов Кілійських РЗС [170] запропоновано визначати за формулою, яка враховує не лише розміри самої дрена, а й розміри впливу дрена на фільтрацію з поверхні рисових полів.

Так погонний приток води до дрена систематичного дренажу рисової системи визначається за виразом

$$q_2 = \frac{K \cdot H}{\omega_2} \cdot k_r, \quad (5.29)$$

де k_r – коефіцієнт, який залежить від глибини дрена. Для умов КРЗС коефіцієнт k_r залежно від глибини дрена (h_g) має наступні значення

h_g , м	1,2	1,5	2,0
k_r	25-30	35-40	55-60

Середні швидкості фільтрації з поверхні рисових чеків при удосконаленій конструкції дренажної мережі розраховані за вищенаведеними формулами будуть становити 8-12 мм/добу, збільшуючись з наближенням до дрена до величини 15-30 мм/добу, зменшуючись до середини міждренної відстані до 3-5 мм/добу (табл. 5.12).

Таблиця 5.12

Розподілення швидкостей фільтрації з поверхні поливних карт, визначених за теоретичними розрахунками для різних параметрів мережі

Відстань від осі картової дрена, м	Швидкість фільтрації, мм/добу		
	Важкосуглинисті ґрунти	Середньосуглинисті ґрунти	Легкосуглинисті ґрунти
15	18,8	20,9	22,9
25	11,8	13,3	15,2
35	8,9	9,4	11,5

45	5,3	7,9	8,5
55	3,3	5,1	7,4
65	2,8	3,7	6,8
75	2,4	2,5	5,5
100	1,3	2,3	4,3
125	0,8	1,2	3,1
Середньозважене значення	5,2	6,5	8,6

Як видно з таблиці по всій площі рисового поля забезпечуються необхідні швидкості фільтрації, що створює умови підтримання його в належному еколого-меліоративному стані.

Керуючи роботою дренажу на системі, а саме, включаючи в роботу, або виключаючи дрени-колектори з роботи, можна управляти фільтраційним процесом на картах-чеках. Створення підпорів води в дренажно-скидній мережі в різні періоди вегетації рису й на різну величину дає можливість підтримувати на системі необхідну інтенсивність фільтрації. Змінюючи глибину наповнення дренажно-скидних каналів можна регулювати надходження фільтраційних вод із затоплених рисових чеків в дренажну мережу, оскільки величина фільтраційного притоку залежить від величини напірного градієнту.

Регулюючи рівні води в дренажно-скидній мережі та на поверхні рисового поля, можна змінювати в відповідних межах швидкість фільтрації під затопленим рисовим чеком і тим самим суттєво впливати на фільтраційні втрати води.

Розподіл швидкостей фільтрації по площі затопленого рисового поля при різних значення діючого напору наведено на рис. 5.11, а також в табл. 5.13.

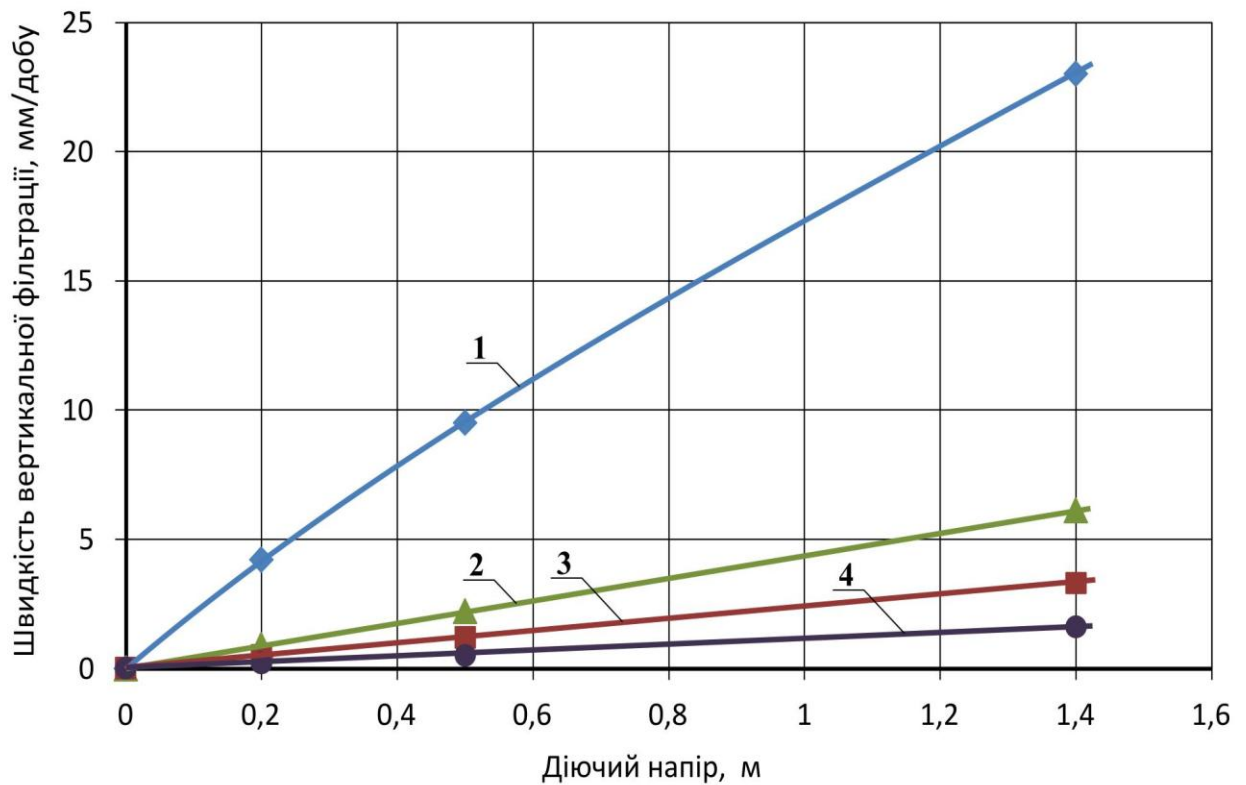


Рис. 5.11. Швидкість фільтрації в залежності від величини діючого напору та відстані до осі дренажно-скидного каналу ($V=200$ м): 1– 15 м, 2 –35 м, 3 – 50 м, 4 – 100 м

Таблиця 5.13

Швидкість фільтрації з поверхні рисової карти в залежності від рівня води в картовому дренажному каналі та параметрах дренажно-скидної мережі

Відстань до дрени, м	Швидкість вертикальної фільтрації (мм/добу) при різних гідравлічних напорах, $V=200$ м, $k_{\phi}=0,3$ м/добу			Швидкість вертикальної фільтрації (мм/добу) при різних гідравлічних напорах, $V=100$ м, $k_{\phi}=0,3$ м/добу		
	$h=1,4$	$h=0,5$	$h=0,2$	$h=1,4$	$h=0,5$	$h=0,2$
15	23,0	11,0	4,4	26,4	11,9	4,7
25	11,2	4,1	1,6	13,1	4,6	2,0
35	6,1	2,2	0,9	8,6	3,1	1,2
50	5,3	1,2	0,5	6,8	2,4	0,9
85	2,8	0,6	0,2			
100	1,6	0,5	0,1			

З табл. 5.13 видно, що швидкість фільтрації на чеку в зоні впливу каналу при різних параметрах дренажної мережі та вільному відтокові дренажних вод з останнього ($h = 1,4$ м) становить 20-25 мм/добу. При підпертому рівні води ($h=0,2$ м) швидкість фільтрації зменшується до 4-5 мм/добу.

Підпори рівнів води, як показав досвід експлуатації, доцільно практикувати в картових дренажно-скидних каналах, які розташовані в межах рисового поля, від початку повторного затоплення рисових полів після сходів рису до періоду воскової стиглості рису.

Створення підпорів рівнів води має важливе значення як для зменшення фільтраційних втрат, а відповідно для зменшення водоподачі на систему, так і для зменшення об'ємів відкачуваних вод дренажними насосними станціями.

Згідно з даними математичної обробки матеріалів спостережень значення швидкості вертикальної фільтрації (V_y) при відповідних гідравлічних напорах задовольняють рівняння

$$V_y = \frac{165}{\sqrt{E}} - 16,7 - \text{при } h=1,4 \text{ м}; \quad (5.30)$$

$$V_y = \frac{100}{\sqrt{E}} - 10 - \text{при } h=0,5 \text{ м}; \quad (5.31)$$

$$V_y = \frac{38}{\sqrt{E}} - 4,8 - \text{при } h=0,2 \text{ м}, \quad (5.32)$$

де V_y – швидкість вертикальної фільтрації, мм/добу;

E – середина міждрення ($E=B/2$), м

Аналізуючи дані залежності можна зробити висновок, що швидкість вертикальної фільтрації з рисового чека залежить від міждренних відстаней і змінюється обернено пропорційно кореню квадратному з його значення.

Оцінюючи величину загальної фільтрації на КРЗС встановлено, що вона коливається в досить широких межах залежно від конструкції поливних карт і параметрів дренажу (табл. 5.14) – від 8300 м³/га до 12000 м³/га і складає до 50% витратної частини водного балансу.

За результатами замірів величини дренажного стоку при різних глибинах наповнення каналу (табл. 5.15) нами встановлена залежність величини питомого дренажного стоку від діючого напору (рис. 5.12), яка виражена рівнянням

$$q=2,57 \times h^{1,73}, \quad (5.33)$$

де q – питомий дренажний стік з каналу, л/с з 1 км довжини каналу;

h – діючий напір, м.

Фільтраційні втрати води з рисових полів

Конструкція поливної карти	Міждренна відстань, м	Загальна фільтрація, м ³ /га
ККТ	200	8520
КЧД	200	11974
ККТ	250	8398
КЧД	250	10059
ККТ	500	6450
КЧД	500	8180

Таблиця 5.15

Витрата дренажного стоку при діючому напорі ($h, \text{м}$)

Діючий напір $h, \text{м}$	1,7	1,5	1,3	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1
Витрата дренажного стоку $q, \text{л/с з 31 км}$	6,43	5,18	4,05	2,57	1,39	0,77	0,32	0,05

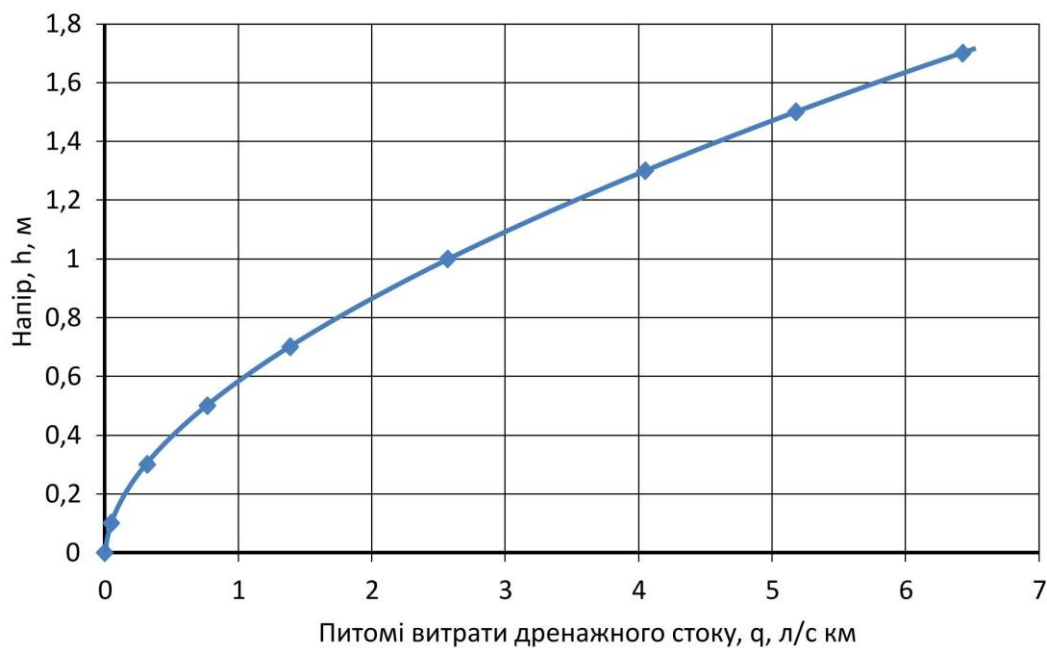


Рис. 5.12. Залежність дренажного стоку з картового дренажно-скидного каналу від діючого напору

В польових дослідях на КРЗС питомий дренажний стік з картових дренажно-скидних каналів при діючому напорі $h = 1,7 \text{ м}$ становив $6,43 \text{ л/с з 1 км}$, а при напорі $h = 0,3 \text{ м}$ – відповідно $0,32 \text{ л/с з 1 км}$, тобто він зменшується практично в 20 разів.

Однак, при оцінці ступеня промивності чеків за вище наведеними показниками (модуль стоку, швидкість фільтрації, діючий напір) не враховуються

конструктивні особливості карт-чеків, що зумовлені особливостями дренажно-скидної та зрошувальної мереж.

У зв'язку з цим, та з відсутністю необхідних показників такого роду у сучасній меліоративній практиці, нами запропонований комплексний показник – *ступінь дренажності поливної карти*, який пропонується визначати за формулою

$$K_{ок} = \frac{\sum h_i \cdot l_i}{\omega_{ПК}}, \quad (5.34)$$

де $\sum h_i \cdot l_i$ – алгебраїчна сума добутків різниці між середньозваженим рівнем води на картах-чеках і рівнями води в каналах зрошувальної та дренажно-скидної мережі на довжину каналів, які оконтурюють дану карту-чек;

$\omega_{ПК}$ – площа поливної карти-чека, м².

Визначена ступінь дренажності поливних карт різних конструкцій і параметрів для ПРЗС наведені в табл. 5.16.

Таблиця 5.16

Коефіцієнти дренажності поливних карт ПРЗС

Перепад рівнів води h , м	Міждренна відстань, м					
	100	150	200	300	400	500
2,0	0,04	0,027	0,02	0,013	0,010	0,008
1,5	0,03	0,020	0,015	0,010	0,0075	0,006
1,0	0,02	0,013	0,010	0,007	0,005	0,004
0,5	0,01	0,006	0,005	0,004	0,0025	0,002
0,2	0,004	0,003	0,002	0,0013	0,0010	0,0008

Дослідженнями встановлено, що між ступенем дренажності поливних карт та середньою швидкістю фільтрації на чеку існує тісний зв'язок (рис. 5.13), що описується рівнянням

$$V = -11083 \times K_{ок}^2 + 721 \times K_{ок} + 0,29, \text{ мм/добу.} \quad (5.35)$$

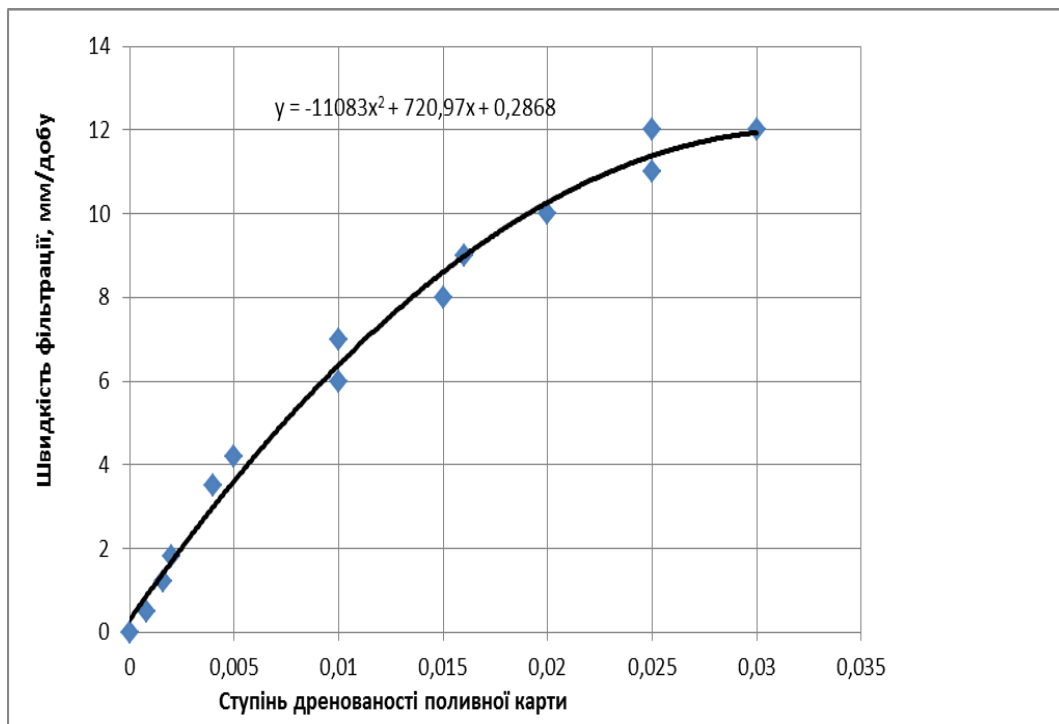


Рис. 5.13. Залежність середньої швидкості фільтрації з поверхні поливної карти від ступеня дренаваності

Встановивши попередньо ступінь дренаваності даного чеку можна з достатньою для виробничих умов точністю визначити середню швидкість вертикальної фільтрації на даному чеку. Водночас, задавшись оптимальним значенням середньої швидкості фільтрації, виходячи з необхідних еколого-економічних вимог, можна встановити необхідне значення дренаваності поливної карти. В свою чергу остання визначається відстанню між дренами і глибиною наповнення дренажно-скидних каналів. Регулюючи глибину наповнення каналів тим самим можна впливати на величину фільтраційних втрат, а значить на режим роботи дренажних насосних станцій.

Розрахункові середні швидкості фільтрації при різних значеннях дренаваності поливних карт наведені в табл. 5.17.

Враховуючи те, що середня швидкість фільтрації з рисового поля не повинна перевищувати 10 мм/добу, але має бути і не менше 5 мм/добу, тому коефіцієнт дренаваність поливних карт повинен бути рівним 0,005-0,015. Така дренаваність може бути забезпечена на поливних картах з відстанню між дренами, що влаштовані через 100-120 м і в окремих випадках при $B=200$ м, чого не можна сказати про карти з $B=500$ м. Але оскільки, для зменшення

фільтраційних втрат більшу частину вегетаційного періоду дренажно-скидні канали підтримують у підпертому режимі, то досягти необхідних швидкостей фільтрації і при $B=200-250$ м також неможливо.

Таблиця 5.17

Середні швидкості вертикальної фільтрації з поливних карт КРЗС в залежності від коефіцієнта дренаваності та величини гідравлічного напору

Показники	Гідравлічний напір та відстань між дренажними каналами		
	$h = 0,2$ м	$h = 0,5$ м	$h = 1,5$ м
	B=100 м		
Середня швидкість фільтрації, мм/добу	2,7	5,3	14,3
Коефіцієнт дренаваності	0,004	0,01	0,03
	B=200 м		
Середня швидкість фільтрації, мм/добу	1,8	3,1	7,6
Коефіцієнт дренаваності	0,002	0,005	0,015
	B=250 м		
Середня швидкість фільтрації, мм/добу	1,6	2,7	6,3
Коефіцієнт дренаваності	0,0016	0,004	0,012
	B=500 м		
Середня швидкість фільтрації, мм/добу	1,2	1,8	3,6
Коефіцієнт дренаваності	0,0008	0,002	0,006

Тому на РЗС, розміщених на територіях зі складними гідрогеологічними умовами, сприятливе регулювання водно-сольового і аераційного режимів ґрунтів у всі технологічні періоди роботи систем можливо лише шляхом підвищення дренаваності поливних карт за рахунок зменшення міждренних відстаней.

Таким чином, запропонована конструкція поливної карти з закритими дренами-колекторами дозволяє посилити дренаваність поливних карт та забезпечити рівномірне розсолення ґрунтів по всій її площі, швидке і глибоке осушення рисових чеків, підтримання РГВ в післяполивний період нижче критичної глибини, створюючи тим самим сприятливі умови для протікання ОВП та безпечного і тривалого вирощування супутніх культур.

Такі конструктивні зміни щодо поливних карт-чеків дають можливість провести реконструкцію існуючих рисових систем з незначними капіталовкладеннями, оскільки вони не вимагають влаштування систематичного закритого дренажу.

5.6. Захист дренажно-скидних каналів від деформацій їх русла

Складні гідрогеологічні та геологічні умови, в яких побудовані рисові системи, є причиною деформаційних явищ каналів дренажно-скидної мережі РЗС, що призводить до руйнування відкосів та негативно відбивається на їх дренавальних функціях. В процесі експлуатації форма поперечного перерізу більшості каналів поступово змінюється від трапецієвидної до форми природнього русла (рис. 5.14).

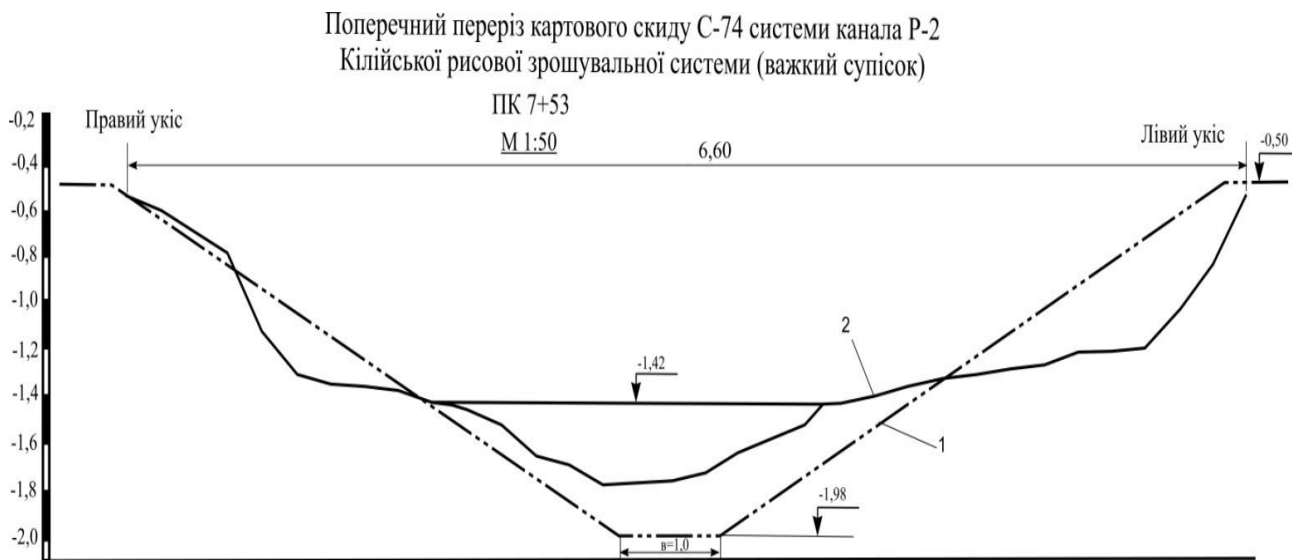


Рис. 5.14. Поперечний переріз дренажно-скидного каналу

Деформаційні процеси на дренажно-скидних каналах викликані різними факторами і залежать від багатьох чинників, насамперед від інтенсивності та направленості фільтраційних процесів із чеків в канали, динаміки коливання рівнів води в каналах, закладення відкосів самих каналів, кліматичних факторів (атмосферні опади, промерзання ґрунту) та ін. Дослідження роботи дренажно-скидних каналів показали, що їх стан також залежить від геотехнічних особливостей ґрунтів ложа каналів. Незначні деформації спостерігались на каналах, які прокладені в важких ґрунтах і однорідних за глибиною. Стан

каналів, які проходять по легких ґрунтах (пилуватий пісок, супіски, легкий суглинок) і неоднорідних за літологією переважно незадовільний із-за значних деформацій відкосів та руйнування русла каналу. Особливостями таких деформацій є те, що фільтруючі відкоси деформуються нерівномірно по периметру, а з чітко вираженими зонами: зона сухого відкосу – верхня його частина; зона виклинювання фільтраційного потоку на відкіс і капілярного підняття; зона затоплення. Найбільш нестійкою є зона виклинювання фільтраційного потоку і капілярного підняття. В цій зоні відбувається найбільше виположування відкосу, а в верхній його частині на границі з зоною сухого відкосу утворюються обриви.

В значній мірі деформації відкосів викликані коливаннями рівнів води в дренажно-скидних каналах. В господарських і головних скидах рівні води залежать від режиму роботи дренажних насосних станцій, а в картових скидах від умов експлуатації та специфіки вирощування рису. Швидке пониження рівнів води в каналах призводить до сповзання відкосів, які знаходяться в перезволоженому стані. Сили зчеплення між частинками у перезволоженому ґрунті зменшуються, а гравітаційні сили, що діють на відкоси обумовлюють їх руйнування. При різкому пониженні рівня води утворюється крута депресійна крива ґрунтових вод і виникає гідродинамічний тиск, спрямований у бік відкосу. При цьому може відбуватись механічна суфозія, а інколи за таких умов, також виникають зсуви (при значних градієнтах фільтраційного потоку).

Винесення часток ґрунту призводить до утворення порожнин і ще більшого зростання швидкості руху води, що в свою чергу викликає вимивання більших часток породи. Залежно від структури і складу породи цей процес може викликати утворення порожнин, нерівномірне просідання відкосу, аж до його руйнування.

Питаннями захисту каналів від деформацій займалось багато вчених [189; 192; 289].

Вплив природних чинників на активізацію деформаційних процесів на каналах РЗС можна суттєво зменшити шляхом застосування пасивних та активних засобів інженерного захисту, а саме: – зниження ерозійної та

абразивної дії ґрунтових вод, перепланування відкосів, закріплення укосів рослинністю, технічної меліорації ґрунтів, влаштування різного роду екрані та завіс.

Зменшення градієнтів напору між рівнями води в чеку і дренажних каналах зменшує як фільтраційні втрати, так відіграє велику роль в забезпеченні стійкості русла дренажно-скидних каналів. При підпертому рівні води в каналах похил депресійної кривої значно зменшується. Але при цьому слід повільно понижати рівень води при спорожненні каналів, щоб не допустити оповзання відкосів. Тому пониження рівнів води в дренажно-скидних каналах в період осушення рисових полів необхідно здійснювати поступово, не перевищуючи їх зниження на 0,3-0,4 м/добу.

Практична реалізація управління рівнями води в дренажно-скидних каналах рисових систем можлива і передбачалась проектами за допомогою гідроавтоматів конструкції В. Й. Маковського. Основною проблемою щодо застосування цього ефективного способу є відсутність справних гідротехнічних споруд на внутрішньогосподарській дренажно-скидній мережі.

Нами пропонується дієвий захист каналів, який полягає у влаштуванні поряд з відкритим дренажно-скидним каналом, так званої, приукісної дрени для перерозподілу фільтраційного потоку та зменшення напору ґрунтових вод на відкіс.

В практиці такого захисту каналів від деформацій важливими є параметри закладання приукісної дрени, до яких відноситься місце розташування дрени в укосі – l_d , глибина закладання дрени – h_d , діаметр дрени – d_d , поглинальна здатність – q_d .

Обґрунтування параметрів приукісної дрени виявилось досить складним практичним завданням

Відстань приукісної дрени від бровки дренажно-скидного каналу, згідно загальних рекомендацій Б. І. Харченка та О. Г. Кірічка [290] приймається рівною не менше подвійної глибини каналу.

Діаметр дрени, як правило, приймається $d_d=100$ мм та перевіряється гідравлічними розрахунками.

Глибину закладання дрени всі дослідники з цієї проблеми приймали практично конструктивно, враховуючи умови роботи приукісної дрени та технологічні особливості її улаштування.

Притік води до такої недосконалої дрени (рис. 5.15) можна приймати як одночасний, несиметричний, двохсторонній та для однорідного ґрунту обраховувати за формулою [189]

$$q = \frac{TS_d}{\frac{L_1L_2}{L} + 0,73m \lg \frac{m}{\pi r_d}}, \quad (5.36)$$

де q – погонний притік до дрени, м²/добу;

S_d – пониження РГВ на дрени, визначається за формулою

$$S_d = \frac{(H_1 - H_2)L_2}{L} + H_2 - H_d. \quad (5.37)$$

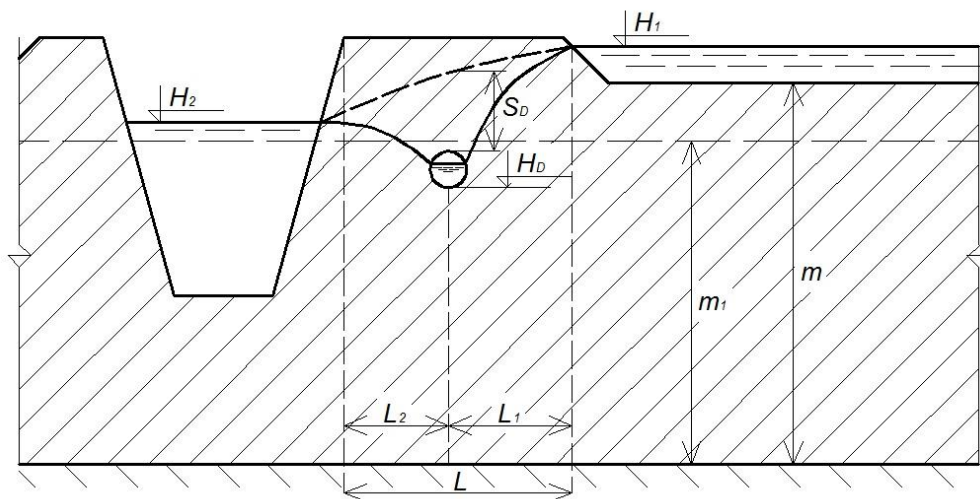


Рис. 5.15. Схема для визначення притоку води до приукісної дрени

Результати розрахунків, проведених для різних схем закладання приукісної недосконалої дрени та умов її роботи згідно схеми (рис. 5.15) наведені в табл. 5.18.

Таблиця 5.18

Погонний притік до недосконалої приукісної дрени

$H_1, м$	$H_2, м$	$H_d, м$	$m, м$	$K, м/добу$	$L_1, м$	$L_2, м$	$q, м^2/добу$
8,2	7,5	6,5	8	0,5	3	7	0,95
8,2	7,0	6,5	8	0,5	3	7	1,24
8,2	8,0	7,0	8	0,5	3	7	0,84
8,2	7,0	7,0	8	0,5	3	7	0,29

З табл. 5.18 видно, що зменшуючи перепад рівнів води в дренажно-скидних каналах та в чеку притік води до приукісної дрени також зменшується.

Розрахунки приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів в умовах РЗС (рис. 5.16), коли притік до дрени формується як з самого каналу так із рисового чеку, можна виконувати за гідромеханічний метод Романова А. В.

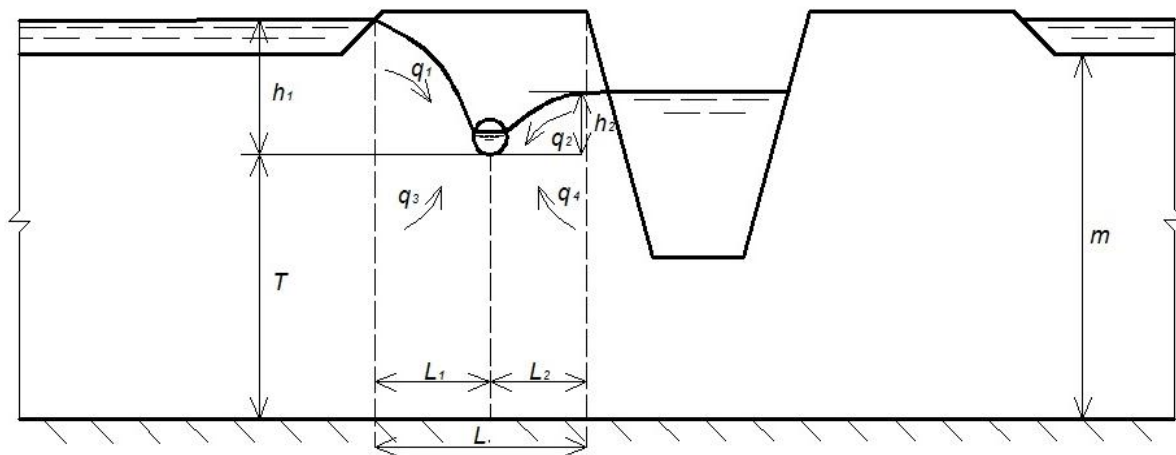


Рис.5.16. Схема для розрахунку приукісного дренажу гідромеханічним методом

Згідно з цим методом сумарний погонний притік води до дрени буде рівний

$$q_d = \frac{K \cdot h_1^2}{2 \cdot L_1} + \frac{K \cdot h_2^2}{2 \cdot L_2} + \frac{K \cdot h_1}{n_1 \cdot L_1} \times m \cdot T + \frac{K \cdot h_2}{n_2 \cdot L_2} \times m \cdot T + \frac{p \cdot L_1}{2}, \quad (5.38)$$

де K – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу;

h_1 – напір над дренажем зі сторони рисового чеку, м;

h_2 – напір над дренажем зі сторони дренажного каналу, м;

L_1 – відстань від урізу води в чеку до дрени, м;

L_2 – відстань від урізу води в каналі до дрени, м;

T – глибина залягання водоупору над дном дрени, м;

P – інтенсивність інфільтраційного живлення, м/добу;

m, n – поправочні коефіцієнти, визначаються за залежностями [75].

Розрахунки, проведені за цими формулами показали однакові результати з попередніми залежностями і доводять, що чим глибше буде закладена дрена, тим більший буде до неї притік (табл. 5.19).

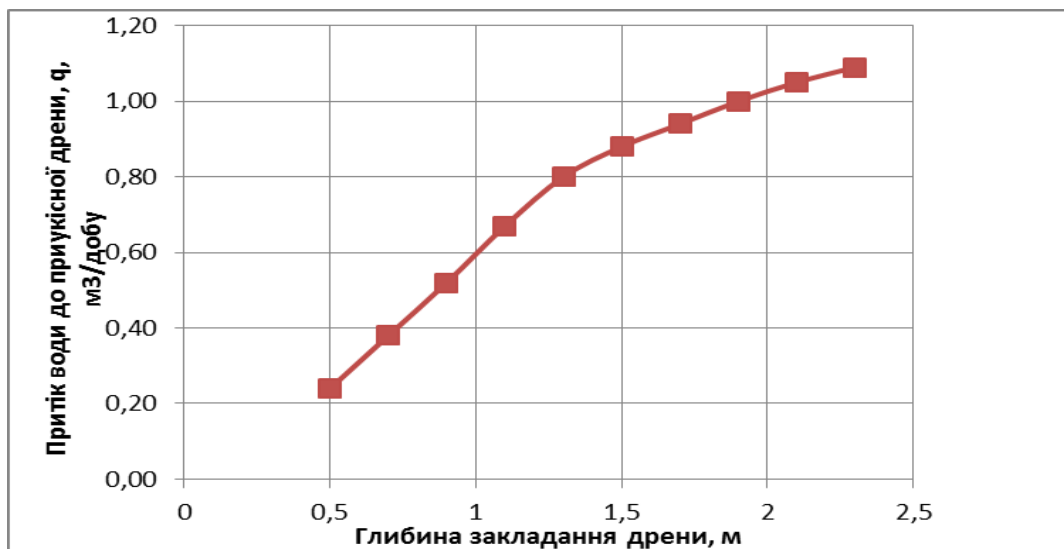
Залежність притоку до приукісної дрени від глибини її закладання

h_d , м	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
q , м ³ /добу	0,24	0,38	0,52	0,67	0,8	0,88	0,94	1,0

Звідси випливає, що встановлювати оптимальну глибину закладання приукісних дрен необхідно за умовою, що при збільшенні глибини величина фільтраційного притоку води до неї мало змінюється.

Побудувавши за даними табл. 5.20 графік залежності $q_d=f(h_d)$ (рис. 5.17) видно, що крива притоку води до дрени має перелом на глибині близько 1,3 м.

Тому саме така глибина закладання приукісного дренажу є розрахунковою для даних умов.

Рис. 5.17. Графік залежності $q_d=f(h_d)$

Користуючись цією методикою в кожному конкретному випадку можна визначити оптимальну глибину розташування недосконалої приукісної дрени.

РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ, МОДЕЛІ І КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ НА РЗС

6.1. Постановка та шляхи розв'язання оптимізаційних задач в складних природно-технічних еколого-економічних системах

У світлі сучасних економічних та екологічних вимог до такого роду об'єктів, якими є РЗС виникає потреба переходу від звичної практики розгляду їх не суто як технічних, а як складних природно-технічних еколого-економічних систем з відповідною зміною усієї методології, технічної та технологічної стратегії їхнього створення й функціонування, а також безпосереднього врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером природно-кліматичних умов, оскільки саме вони, разом з меліоративними чинниками, справляють визначальний вплив на загальний ПМР земель РЗС та відповідний еколого-економічний ефект [288; 229].

Як показують практика і накопичений досвід, вирішення такої складної проблеми для існуючих РЗС, які по суті є також і еколого-економічними об'єктами [288], вимагає застосування відповідних комплексних і системних рішень, насамперед оптимізації їх водо- та енергокористування й ПМР.

Природно-меліоративний режим [6; 229] – це сукупність водного, повітряного, теплового, поживного, окисно-відновного та інших ґрунтових режимів, що регулюються за допомогою гідромеліоративних, агротехнічних і організаційних заходів на фоні природних чинників в умова зрошуваної, в тому числі рисової системи. Головне завдання підтримання сприятливого ПМР – узгодження потреб розширеного відтворення родючості ґрунту і охорони природи в умовах інтенсивного землеробства, що забезпечує отримання заданих урожаїв сільськогосподарських культур з дотриманням екологічних вимог.

ПМР РЗС визначається цілою низкою факторів, головними з яких є природні (кліматичні фактори), технологічні (подача та відведення води),

конструктивні (конструкція та параметри зрошувальної і дренажно-скидної мережі й ін.).

Результати досліджень [214] свідчать про те, що найбільш суттєвий вплив на ПМР діючих РЗС здійснює дренажно-скидна мережа, яка на рисових системах визначає інтенсивність та направленість фільтраційних процесів, що мають місце при тривалому перезволоженні ґрунтів в умовах застосування поливу затопленням.

Дренажно-скидна мережа на РЗС направлена на формування їх водного і сольового режимів і в значній мірі є визначальним фактором продуктивності сільськогосподарських угідь та гарантом підтримання належного ЕМС зрошуваних земель рисової системи.

Таким чином, РЗС являє собою складну *природно-технічну еколого-економічну систему*, яка потребує одночасного поєднання технічних, технологічних, економічних й екологічних інтересів на основі *системної оптимізації* [214; 229].

Суть системної оптимізації полягає у знаходженні проміжних і локальних оптимумів за всіма основними елементами технології водорегулювання (насосна станція, водоподаюча мережа, дренажно-скидна мережа, водоподача, водовідведення), всіма основними змінними факторами в просторі і часі, які впливають на ефективність водорегулювання та природно-меліоративний режим РЗС в цілому (клімат, рельєф, склад культур сівозміни, гідрогеологічні умови та ін.) для всіх рівнів реалізації відповідної моделі оптимізації. Тоді, оскільки в складних природно-технічних еколого-економічних системах, згідно [214; 221], має місце виражений зв'язок виду *ефект-режим-технологія-конструкція*, то для діючих РЗС системна оптимізація полягає в оптимізації параметрів ПМР, удосконаленні технології водорегулювання та конструктивних рішень щодо їх забезпечення.

Оптимізація ПМР РЗС, виходячи з необхідності створення та підтримання промивного водного режиму на зрошуваних засолених землях як основного фактора забезпечення їх сприятливого агро-меліоративного стану, а також підвищення загальної технічної, технологічної, економічної і екологічної

ефективності системи, може бути зведена до оптимізації інтенсивності фільтрації при поверхневому поливі провідної культури рису за рахунок відповідного співвідношення між подачею і відведенням води при відповідному режимі зрошення. Саме фільтраційний режим, який формується на поливних рисових картах в період підтримання шару води, а також в подальшому у поза вегетаційний період, визначає їх загальний ЕМС, а також дає оцінку технологічній ефективності роботи дренажної мережі в різні періоди функціонування РЗС.

Традиційним, вже класичним шляхом призначення управління та вибору рішень (що теоретично має універсальне значення незалежно від специфіки об'єкта) 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.

Формально модель для вибору рішень складається із цільової функції і набору обмежень, одним з яких є власне модель об'єкта. Знаючи критерій оптимізації U і моделі $F(u)$ впливу управлінських дій u на критерій U , можна визначити оптимальне рішення U_0 як таке, що екстремізує відповідний критерій якості

$$U_0 = U^{-1} \left[\underset{\{u\} \in \Omega}{extr} F(u) \right], \quad (6.1)$$

де Ω – область, в якій виконуються обмеження, що мають місце при реалізації моделі.

Загальна структура вирішення такого питання включає в себе вибір критерію, формування умови й прийняття функції оптимізації, вибір структури розрахунків відповідно до рівня сформульованого завдання і, зрештою, побудову економіко-математичної моделі та її реалізацію.

Стосовно об'єкта управління, що розглядається (технологія водорегулювання на РЗС з виходом на оцінку ПМР), то тут мають місце всі головні проблеми застосування оптимізаційного підходу в класичному вигляді.

Оскільки водорегулювання справляє різноманітний вплив на процеси, що відбуваються на РЗС, є багатоцільовим за призначенням і своєю природою,

характеризується, як правило, сукупністю різнорідних показників, то конкретна постановка задачі оптимізації технології водо- та енергокористування на РЗС потребує векторності критерію оптимальності з вельми різнорідними компонентами.

Звідси випливає необхідність обґрунтування узагальнюючого критерію оптимізації, або головного критерію і сукупності інших показників (критеріїв) у вигляді обмежень, при побудові і реалізації моделі оптимізації, пошуку інших підходів до розв'язання даної проблеми.

Отже за результатами вище розглянутих передумов, що пов'язані з загальною постановкою і шляхами розв'язання проблеми оптимізації водного і загального ПМР, а також за відповідними підходами до розв'язування оптимізаційних задач у СПТЕЕС, якими є рисові зрошувальні системи, модель оптимізації технології водо- та енергокористування й ПМР РЗС відповідно до прийнятого за основу оптимізаційного підходу [55; 174; 230], може бути подана в загальному неявному вигляді як

$$U_0 = \underset{\{i\}}{extr} U_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.2)$$

де U_0 – екстремальне значення за прийнятою умовою обраного критерію оптимізації U , що відповідає оптимальному (раціональному) рішенням із сукупності можливих альтернативних варіантів $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$.

Будь-яка метеоролого-економічна система дискретного типу в загальному випадку описується прямокутною матрицею розмірністю $n_i \times n_p$, елементи якої у вигляді «функції корисності» $u_{ip} = u(I, P), i = \overline{1, n_i}; p = \overline{1, n_p}$ характеризують значення критерію U , що відповідають всіляким парам (I, P) , коли прийняті рішення сукупності $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$ реалізуються за певних метеорологічних умов у розрахунку за вологозабезпеченістю періоди вегетації сукупності $P = \{p\}, p = \overline{1, n_p}$.

При цьому мають бути відомі (визначені або задані) значення повторюваності чи часток $\alpha_p, p = \overline{1, n_p}$ можливого стану типових метеорологічних режимів у розрахунку періоди вегетації в межах проектного

терміну функціонування системи, приведеного до 1, тобто $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$.

Тоді, дотримуючись байєсівського підходу, середні (в статистичному розумінні) значення критерію оптимізації для кожного рішення з урахуванням *кліматологічної стратегії* управління об'єктом у багаторічному перерізі будуть визначатися за формулою

$$U_i = \sum_{p=1}^{n_p} u(I, P) \cdot \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.3)$$

Так, з урахуванням викладеного можуть бути сформульовані основні теоретичні положення та принципи побудови загальних моделей оптимізації проектних рішень (ПР) на еколого-економічних засадах з урахуванням кліматологічної стратегії управління меліоративними об'єктами щодо рівнів прийняття їх в часі.

Суть реалізації такої комплексної оптимізаційної моделі за аналогією з А. М. Рокочинським [229] та на відміну від економіко-математичного методу, застосованого В. Г. Мурановим та М. О. Лазарчуком [153], полягає в визначенні показників і критеріїв економічної та екологічної ефективності ПР щодо оптимальних конструкцій та параметрів дренажно-скидної мережі РЗС, як інтегрального показника ефективності її функціонування з дотриманням екологічних вимог.

Тоді, на основі [229], комплексна модель оптимізації параметрів дренажу з урахуванням кліматологічної стратегії може бути визначена як

$$\begin{cases} ZP_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum_{p=1}^{n_p} ZP_{ksp} \cdot \alpha_p; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s}; \\ Z_{iks}^0 = \min_{\{i\}} \sum |Z_{jksp} - \hat{Z}_j| \cdot \alpha_p; j = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, n_i}; k = \overline{1, n_k}; s = \overline{1, n_s}, \end{cases} \quad (6.4)$$

де ZP_{iks}^0 – мінімальне значення приведених витрат за прийнятою умовою обраного критерію економічної оптимальності ZP_{ksp} , що відповідає оптимальному ПР із сукупності можливих варіантів $I = \{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$;

Z_{jks} – сукупність $\{j\}$, $j = \overline{1, n_j}$ критеріїв (фізичних показників) екологічної ефективності водорегулювання на РЗС за сукупністю ПР $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$, відповідною технологією водорегулювання $\{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$;

\hat{Z}_j – відповідні лімітуючі показники екологічної ефективності, що розглядаються;

α_p – відомі (встановлені 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.

Дана модель працює на двох рівнях:

– на рівні рисового поля із зрошувальною та дренажно-скидною мережею де отримується врожай і екологічний та економічний ефект з урахуванням складного комплексу природних, агротехнічних і природно-меліоративних факторів для варіантів проектних рішень (ПР) за технологією водорегулювання;

– на рівні рисової системи в цілому, головною задачею якої є управління водним і загальним природно-меліоративним режимом за відповідними схемами водорегулювання.

6.2. Критерії економічної оптимальності режимних, технологічних та конструктивних рішень при функціонуванні РЗС

Головним питанням при постановці оптимізаційних екстремальних задач є вибір критерію оптимальності, формування умови й прийняття функції оптимізації, вибір структури розрахунків відповідно до рівня сформульованого завдання і, зрештою, побудову економіко-математичної моделі та її реалізація.

Вибір *критерію оптимальності* повинен дозволяти якісно підходити до прогнозування й аналізу дієвості всіх елементів досліджуваної системи та можливих альтернатив рішень, що розглядаються [210].

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. Але така модель, з одного боку, може визначати множину ефективних варіантів, але, з іншого боку, не може вирішувати проблему остаточного вибору ПР.

Окреслене питання через складність було і залишається дискусійним до цієї пори, але все ж таки по ньому вироблені узгоджені підходи, що знайшло своє відображення в численній нормативно-довідковій літературі [19; 82; 174 та ін.].

Відповідно до загальноприйнятих підходів [229], в якості критерію порівняльної економічної ефективності меліоративних заходів у вітчизняній практиці традиційно виступає показник *приведених витрат* (ZP), який являє собою суму поточних витрат і капітальних вкладень, приведених до однієї розмірності у відповідності з нормативом порівняльної економічної ефективності.

Як показує аналіз, основні складові показника приведених витрат (вартість отримуваної продукції, поточні сільськогосподарські і меліоративні витрати) є змінними і залежать від багатьох факторів, головними з яких є природно-кліматичні умови функціонування об'єкта в межах проектного терміну його реалізації.

Тому надзвичайно важливим аспектом проблеми вибору економічно оптимального й екологічно прийняттого для реалізації варіанту меліоративного проекту на довготерміновій основі є необхідність урахування впливу мінливості погодно-кліматичних умов на формування обраних критеріїв якості, за якими обґрунтовуються інженерні рішення при експлуатації меліоративних систем. Оскільки РЗС є СПТЕЕС, то визначальним фактором впливу на формування економічного та екологічного ефекту від її функціонування є погодно-кліматичний ризик (R_i) [229].

Ризиковість аграрного бізнесу визначає ряд факторів, таких як сезонність виробництва та залежність від погодних та кліматичних умов. Ризик – це можливість втрати або неотримання прибутку в результаті впливу несприятливих факторів під час проведення господарської діяльності, або –

імовірність виникнення непередбачених втрат очікуваного прибутку, доходу у зв'язку з випадковою зміною умов економічної діяльності, впливом несприятливих обставин.

Найважливіша особливість та відмінність аграрного виробництва від інших галузей суспільного виробництва полягає в тому, що воно здійснюється за участю природних факторів, і продуктивність землеробства, в тому числі на меліорованих землях, формується не тільки в залежності від біологічних можливостей сортів культур, наявної системи машин і механізмів, вчасного та якісного обробітку ґрунтів, внесених добрив, сівозмін тощо, але і як результат взаємодії ряду метеорологічних факторів.

Випадковість і невизначеність погодних умов конкретного або розрахункового року та кліматичні особливості окремих регіонів зумовлюють *погодно-кліматичний ризик* аграрного виробництва, в тому числі на рисових системах.

Погодно-кліматичний ризик – це невизначеність й циклічність природно – кліматичних умов функціонування меліоративного проекту за місцем його розташування та коливання метеорологічних умов по роках. Він може виступати як узагальнюючий показник (критерій) економічної ефективності [229].

Отже в розвиток підходів А. М. Рокочинського [229] та досліджень Н. А. Фроленкової [288] в якості економічного критерію та умови оптимізації конструкції і параметрів дренажу вважаємо за доцільне розглядати мінімізацію приведених витрат ZP_i з відповідним урахуванням погодно-кліматичного ризику R_i при відхиленні водного режиму земель рисового поля від оптимального у розрахунку як у весняний (передпосівний), так і у вегетаційний періоди роботи дренажу на реалізацію відповідних варіантів ПР сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$

$$ZP_i + R_i \rightarrow \min, i = \overline{1, n_i} . \quad (6.5)$$

Погодно-кліматичний ризик визначається як відношення вартості валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за i -тим варіантом ПР, до вартості валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті.

З урахуванням кліматологічної стратегії управління об'єктом погоднокліматичний ризик визначається за формулою

$$\bar{R}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \bar{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m R_{ij}^2 \cdot \alpha_{pj}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6.6)$$

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

$$f_i = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (W_{ij} - \bar{W}_{nm})^2 \cdot \alpha_{pj}}}{\bar{W}_{nm}} = \frac{\bar{R}_i}{\bar{W}_{nm}}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6.7)$$

де W_{ij} – вартість валової продукції за фактичною врожайністю, отриманою за i -тим варіантом ПР, грн/га;

\bar{W}_{nm} – вартість валової продукції за потенційно можливою врожайністю на об'єкті, грн/га.

Для вибору серед альтернативних варіантів меліоративного проекту одного або декількох, близьких за техніко-економічними параметрами у вигляді критерію порівняльної економічної ефективності меліоративних проектів доцільно використовувати *модифікований з урахуванням ризику показник мінімуму приведених витрат*.

Даний критерій, виходячи зі специфіки його розрахунку, дає змогу привести всі альтернативні варіанти проекту до співставного вигляду за всіма ознаками крім тієї, за якою порівнюються проекти. При цьому забезпечується уніфікований підхід щодо об'єктивного порівняння різних варіантів проекту. Загальна модель критерію вибору оптимальних варіантів проекту серед альтернативних за модифікованим показником приведених витрат (ZP_i) має вигляд

$$ZP_i = \frac{(C_i^{cz} + C_i^M + A_i + E_n \cdot K_i + R_i)}{W_i}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.8)$$

де C_i^{cz} – сільськогосподарські витрати при вирощуванні культур проектної сівозміни за i -м варіантом визначаються як

$$C_i^{cz} = C_K^{cz} \left(0,35 + 0,65 \frac{Y_{ki}}{Y_K^n} \right) \quad (6.9)$$

Y_{ki} – математичне очікування врожайності k -ї культури;

Y_K^n – проектна врожайність k -ї культури.

Меліоративні витрати або витрати на експлуатацію за i -м варіантом визначаються як

$$C_i^M = \alpha \cdot K_i, \quad (6.10)$$

де α – коефіцієнт, що приймається рівним 0,15.

Амортизаційні відрахування по рисовій системі визначались, виходячи із її балансової вартості елементів системи та норм річних амортизаційних відрахувань для кожного з елементів, за формулою

$$A_i = \sum_{i=1}^n B_i \times a_i, \quad (6.11)$$

де a_i – норма річних амортизаційних відрахувань по i -тому елементу рисової системи, %.

Витрати на поточний ремонт міжгосподарської частини гідромеліоративних систем визначаємо виходячи із її балансової вартості і норм відрахувань на поточний ремонт

$$C_{PP} = \sum_{I=1}^n B_{VMGi} \times P_{PPi}, \quad (6.12)$$

де C_{pp} – витрати на поточний ремонт міжгосподарської частини, грн;

P_{PPi} – відрахування на поточний ремонт i -го елемента міжгосподарської частини, %

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 рішень сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ – можливих способів і схем водорегулювання на системі, зумовлених її типом, конструкцією, водозабезпеченістю тощо

$$D_i = W_i - C_i, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.13)$$

У цьому випадку умовою оптимізації виступає *максимізація показника чистого доходу*

$$D_i \rightarrow \max, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.14)$$

а функцією цілі буде

$$D_0 = \max_{\{i\}} D_i = \max \sum_{p=1}^{n_p} \left[W_i - (A_i + C_i^{c2} + C_i^M + C_i^e) - R_i \right] \times \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (6.15)$$

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

$$D_i = \sum_{p=1}^{n_p} \left[W_i - (A_i + C_i^{c2} + C_i^M + C_i^e) - R_i \right] \times \alpha_p, \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (6.16)$$

Застосування такого підходу дає змогу визначати найкращий варіант меліоративного проекту з урахуванням всіх основних визначальних чинників формування його економічної ефективності.

6.3. Критерії, умови та моделі оцінки екологічної ефективності проектних рішень з водорегулювання на РЗС

Що стосується екологічної оцінки меліоративних заходів, то це надзвичайно складне питання, яке досі не вирішене через низку причин, перш за все об'єктивного характеру, а саме, через надзвичайну складність визначення економічних наслідків їх негативного впливу на природне середовище [173].

Вартісна оцінка екологічних факторів завжди пов'язана з певними умовностями і показники екологічного ефекту від реалізації меліоративних проектів дуже складно, а іноді навіть неможливо обчислити у грошовому виразі. Тому більш правомірним є підхід до врахування екологічних факторів, що заснований на їх якійсь або відносній оцінці. Саме тому існує необхідність і доцільність використання та подальшого розвитку існуючих підходів залежно від поставленої мети, задач, складності та наявних інформаційних можливостей.

Визначення екологічно прийнятних варіантів проектних рішень на рівні рисового поля і системи в цілому у загальному вигляді можуть бути представлені у вигляді необхідних умов та обмежень за визначеною,

обґрунтованою і прийнятою до розгляду сукупністю фізичних показників (критеріїв) оцінки водного, сольового і загального ПМР як рисового поля так і системи: за режимом РГВ у позавеgetаційний період (Hg); тривалістю його стояння нижче критичної глибини (T); інтенсивністю фільтраційних процесів під затопленим рисовим полем (V), ступенем засолення кореневмісного шару ґрунту (S); зрошувальною нормою (M); мінералізацією ґрунтових вод (G) та ін., представлені сукупністю

$$Z_{jks} = (Hg_{ks}, T_{ks}, V_{ks}, S_{ks}, M_{ks}, G_{ks}), \quad j = \overline{1, n_j}, \quad k = \overline{1, n_k}, \quad s = \overline{1, n_s}. \quad (6.17)$$

За такими показниками, порівняно з їх граничними значеннями відповідно до конкретних ґрунтово-меліоративних умов об'єкта, можна передбачити направленість процесів, що відбуваються на рисовому полі і системі в цілому, тим самим, неявно оцінити екологічний ефект від реалізації меліоративних заходів (Додаток В, табл.1).

Формально це може бути представлено як у комплексні моделі (6.4), або більш детально

$$Z_{ji} = \begin{cases} \leq \\ \\ \geq \end{cases} \left\{ Z_j, j = \overline{1, n_j}, i = \overline{1, n_i} \right\}. \quad (6.18)$$

Обґрунтування оптимальних загального природно-меліоративного та ґрунтових режимів, відповідно параметрів технологічних та технічних ПР на РЗС за інтегральною оцінкою сукупності показників їхньої екологічної ефективності може бути достатньо ефективно виконано на основі підходу Б.П. Карука [121].

За цим підходом характеристику екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна представити у вигляді вектора H з компонентами H_z

$$H = H_z / z = 1, 2, \dots, N /, \quad (6.19)$$

де N – кількість елементів (факторів), які характеризують екологічну надійність меліоративного проекту.

Тут компоненти H_z приймають відповідні значення за умови, що

$$H_z = \begin{cases} 1, & \text{якщо } H_z \leq H_{nz}; \\ 0, & \text{якщо } H_z > H_{nz}, \end{cases} \quad (6.20)$$

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

При допущенні, що в системі факторів всі вони є однаково важливими, можна відсутність певного елемента вважати як відповідне зменшення міри екологічної надійності.

Тоді коефіцієнт екологічної надійності варіанту меліоративного проекту можна визначити за формулою

$$k_n = \frac{\sum_{z=1}^N H_z}{N}. \quad (6.21)$$

Такий коефіцієнт є наближеною оцінкою 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.

В розвиток та на відміну від розглянутого підходу, де компонента H_z приймає значення $H_z = 1$, якщо $H_z \leq H_{nz}$, або $H_z = 0$, якщо $H_z > H_{nz}$, нами пропонується більш гнучкий інструмент, коли вона приймає всі можливі значення в інтервалі $[0,1]$ за умови, що

$$H_z = \begin{cases} H_z = 1 - \frac{H_{nz} - H_{\phi z}}{H_{nz}}, & \text{якщо } H_{\phi z} \leq H_{nz}; \\ H_z = 1 + \frac{H_{nz} - H_{\phi z}}{H_{nz}}, & \text{якщо } H_{\phi z} \geq H_{nz}, \end{cases} \quad (6.22)$$

де $H_{\phi z}$ – фактичне значення z -го показника екологічної ефективності;

H_{nz} – відповідно нормативне або допустиме його значення, яке відповідає \hat{Z}_j .

Даний підхід до оцінювання екологічної надійності проекту відрізняється від класичної теорії надійності, де фігурують імовірнісні величини, проте він є досить простим та універсальним за своєю суттю, оскільки дає змогу залежно від постановки завдання використовувати різні, переважно експертні методи оцінки та будь-який комплекс різномірних показників.

Значення коефіцієнтів екологічної надійності меліоративного проекту за рекомендованою шкалою наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Шкала коефіцієнтів екологічної надійності [288]		
№	Коефіцієнт екологічної надійності, k_n	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>

Так, екологічно оптимальні загальний природно-меліоративний та ґрунтові режими земель РЗС за розглянутою методикою забезпечуються за умови дотримання обмеження, що коефіцієнт екологічної надійності за варіантом меліоративного проекту знаходиться в інтервалі значень

$$0,5 < k_{ni} \leq 1,0. \quad (6.23)$$

Запропонована схема оцінювання екологічної надійності меліоративного проекту є універсальною, оскільки в якості складових елементів надійності може виступати будь-який комплекс факторів як кількісних, так і якісних, які характеризують еколого-меліоративний стан території.

Отже суть запропонованого підходу полягає у багатокритеріальній експертній оцінці умов формування водно-сольового режиму та його впливу на інші складові загального ПМР земель за різних природно-меліоративних умов через співставлення потреб рослин, ґрунтів і охорони природи в регулюванні водно-сольового режиму земель РЗС.

РОЗДІЛ 7. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПРИ ФУНКЦІОНУВАННІ РЗС

7.1. Оптимізація параметрів фільтраційного режиму карт-чеків

Прогнозна оцінка загального функціонального стану РЗС залежно від визначаючих його природно-технологічних факторів та прийняття на їх підставі оптимальних рішень з технології водо- та енергокористування в різні етапи створення і роботи системи взагалі є необхідною умовою вирішення ряду завдань з підтримання сприятливого водно-повітряного, сольового режимів і загального ПМР РЗС, раціонального використання земельних, водних, енергетичних й інших ресурсів в межах системи і на прилеглий до неї території.

На рисових землях, які тривалий час перебувають у затопленому стані, головним фактором, який визначально впливає на всі інші функції життєдіяльності рослин, і підлягає управлінню є водно-промивний режим, який визначається величиною водоподачі та водовідведення з рисової системи. Для створення оптимальних водно-повітряного і сольового режимів ґрунтів зони аерації інтенсивність фільтрації в період вегетації рису повинна бути рівномірною по всій площі поливної карти та в певних межах щодо її величини, а сам фільтраційний процес має бути регульованим.

Водночас, створення й постійне підтримання промивного режиму ґрунтів передбачає значні затрати водних ресурсів, що пов'язане із погіршення ЕМС зрошуваних земель, ускладненням перебігу ґрунтоутворюючих процесів, що підтверджує необхідність розробки та впровадження ресурсозберігаючих режимів зрошення та технологій водокористування при вирощуванні рису і супутніх культур.

Тому встановлення величини впливу фільтрації за різних природно-меліоративних умов на продуктивність земель рисової системи є умовою оптимізації водорегулювання при реалізації гідромеліоративних заходів. Режимним показником, який характеризує фільтраційні процеси на рисовому полі виступає швидкість вертикальної фільтрації.

Як показують практика, результати наукових досліджень й виконані прогнозні розрахунки на довготерміновій основі з оцінки екологічної ефективності водорегулювання, головною причиною погіршення ЕМС РЗС є відхилення в ту чи іншу сторону від оптимального промивного водного режиму, що призводить до несприятливих ґрунтових режимів, деградації ґрунтів, зниження їхньої родючості та продуктивності.

Тому оптимізація параметрів режимів на РЗС полягає у багатокритеріальній експертній оцінці умов формування водно-сольового, промивного режимів та його впливу на загальний ПМР через обґрунтовані нами показники (див. роз. 6).

Оцінка екологічної надійності варіантів ПР щодо параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС наведена в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Значення оптимальної швидкості вертикальної фільтрації на
рисових картах-чеках

Швидкість вертикальної фільтрації V, мм/добу	Компоненти Hz за					Коефіцієнт екологічної надійності, кн
	Hg	T	S	G	M	
0,5	0,80	0,82	0,51	0,43	0,24	0,56
1,0	0,95	0,98	0,55	0,50	0,28	0,65
2,0	1,00	1,00	0,67	0,60	0,33	0,72
4,0	0,93	0,93	0,73	0,75	0,50	0,77
6,0	0,87	0,89	0,80	0,86	0,61	0,80
8,0	0,80	0,93	0,89	1,00	0,74	0,87
10,0	0,67	0,86	1,00	0,83	0,77	0,83
12,0	0,70	0,86	1,00	0,73	0,77	0,81
14,0	0,65	0,86	0,75	0,67	0,83	0,75
16,0	0,59	0,82	0,63	0,50	0,96	0,70
18,0	0,50	0,79	0,50	0,33	0,91	0,61

Примітка: Hg – глибина РГВ в позавеgetаційний період, м; T – тривалість періоду із глибиною РГВ нижче критичної, діб; S – засоленість активного шару ґрунту, %; G – мінералізація ґрунтових вод, г/л; M – зрошувальна норма, тис. м³/га

Так, доцільність запропонованих проектних рішень, які направлені на підвищення дренажності рисових полів, як головної умови створення промивного водного режиму, з яким пов'язане, в цілому, ефективне функціонування РЗС, підтверджується оцінкою їх екологічної надійності. Так, коефіцієнт екологічної надійності при створенні та підтриманні необхідного

рівня промивності на рисовому полі у період вегетації 6-8 мм/добу дорівнює 0,80-0,87, що відповідає необхідним вимогам.

Від швидкості фільтрації з поверхні рисового поля залежить такий важливий показник ефективності роботи рисової системи і дренажу на ній, особливо в умовах засолених ґрунтів, як тривалість передзбирального осушення рисового поля. Після припинення водоподачі на рисову карту відбувається активне зниження РГВ в усіх ґрунтово-геологічних різновидах. Швидкість зниження РГВ в умовах суглинистих ґрунтів залежить від параметрів поливних карт і в першу чергу від відстані між дренажно-скидними каналами й визначає терміни збирання врожаю, а також терміни проведення осінніх польових робіт.

Термін збирання будь-якої культури відіграє дуже важливу роль у процесі отримання фактичних урожаїв вирощуваних культур. Відхилення від його оптимального значення в той чи інший бік може призводити до значних втрат сільськогосподарської продукції.

В рисівництві втрати врожаю від несвоєчасного збирання можна оцінити за експериментальними даними, приймаючи до уваги, що оптимальні терміни збирання збігаються з пониженням РГВ після скиду води з рисового поля на глибину не нижче 0,8 м, яка дозволяє роботу збиральної техніки. Тому необхідно правильно визначати дату початку і тривалість збирання вирощеного врожаю культур рисової сівозміни.

На ділянках із низькими фільтраційними властивостями ґрунтів припинення подавання води необхідно починати в фазу молочної стиглості для того щоб шар води встиг спрацюватись до визрівання зерна. Надто повільне осушення рисових чеків може призвести до вилягання рису, пересушування зерна, втрат врожаю із-за осінніх дощів.

Загальний аналітичний вираз, що враховує зв'язок урожаю з втратами від відхилення термінів збирання, і використовується в сучасних умовах, має такий вигляд [57]

$$Y = K_T \cdot Y_n, \quad (7.1)$$

де K_T – коефіцієнт втрат врожаю рису при відхиленні термінів збирання від оптимальних;

Y_n – потенційно можливий врожай за оптимальних значень терміну сівби та водного режиму, ц/га.

В процесі визначення оптимального терміну збирання прийнято вважати, що втрати врожаю залежать лише від тривалості періоду між оптимальними та фактичними термінами збирання. Оптимальним терміном збирання врожаю рису є 10-15 діб після скидання шару води з рисового поля. За цей період дренажно-скидна мережа повинна понизити РГВ до глибини 0,8 м, при якій вологість верхнього шару ґрунту дозволить роботу збиральної техніки.

Тому оцінювання величини втрат врожаю від несвоєчасного збирання пов'язано з неспроможністю дренажної мережі понизити РГВ до вказаної рівня, а відповідно із затримкою з датою фактичного збирання та його оптимальним терміном (рис. 7.1).

Так, запізнення із збиранням врожаю рису на 10 діб від його дозрівання призводить до його втрати в середньому на 8-15%. Максимальні втрати врожаю можуть перевищувати 50%.

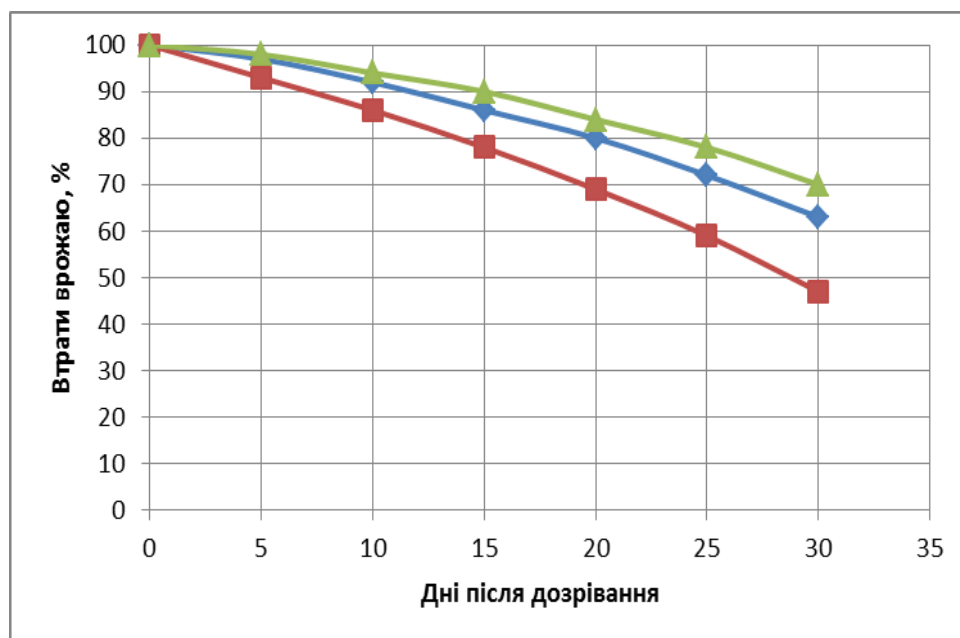


Рис. 7.1. Вплив строків збирання на величину зібраного врожаю після скидання води з чеку: 1 – осінь суха; 2 – осінь із середніми опадами; 3 – осінь дощова

Загальну модель втрати врожаю від несвоєчасного збирання за коефіцієнтом K_T можна виразити за відомим підходом М. О Лазарчука – В. Г. Муранова [144]

$$K_T = 1 - \delta_3 \cdot \left(\sum \Delta T_3^0 \right)^2, \quad (7.2)$$

де δ_3 – емпіричний коефіцієнт, що характеризує можливі максимальні зниження врожаю конкретної культури за максимальним відхиленням $\sum T_K^0$ суми позитивних середньодобових температур повітря в осінній період, які накопичені після дати оптимального терміну збирання врожаю, °С.

$\sum \Delta T_3^0$ – сума середньодобових температур повітря в інтервалі між оптимальною $\bar{\tau}_0$ та фактичною $\bar{\tau}$ датами збирання культури.

Отримані таким чином залежності (рис. 7.2) дають змогу у подальшому визначити диференційовано можливі зменшення врожаю рису при відхиленні термінів його збирання, як важливої складової при оптимізації параметрів дренажу з урахуванням формування економічного та екологічного ефекту.

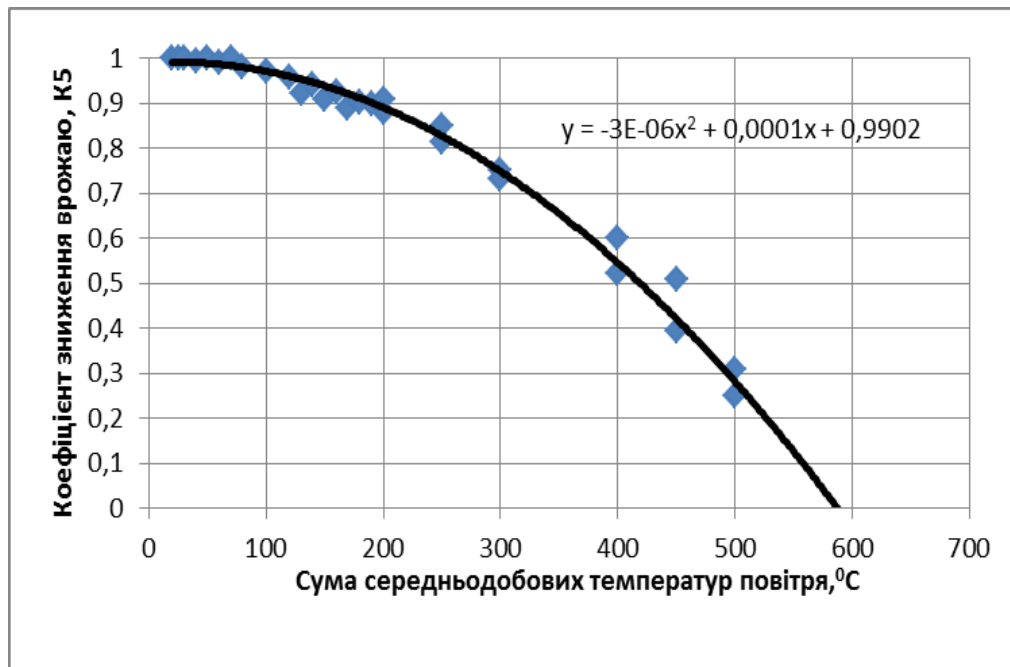


Рис. 7.2. Залежність зниження врожаю рису від суми середньодобових температур повітря, накопичених за період від оптимальних до фактичних термінів його збирання

Оскільки в проектах будівництва, реконструкції та експлуатації РЗС їх конструктивні параметри повинні бути такими, що задовольняють умовам оптимальності, коефіцієнт корегування врожаю за термінами збирання K_T , в загальній моделі врожайності припустимо приймати $K_T = 1$.

Встановлення екологічно оптимальних (прийнятних, раціональних або ресурсозберезувальних) режимів на РЗС має бути сформульовано і розв'язано на рівні кожної конкретної рисової системи, яка функціонує у визначених природно-агро-меліоративних умовах.

Науково-методичною базою для постановки і розв'язування такої задачі є наявність комплексу прогнозно-оптимізаційних моделей на довготерміновій основі та показників (критеріїв) оцінки водно-сольового і загального природно-меліоративного режимів РЗС.

7.2. Оптимізація технологій водо- та енергокористування

В рисосіянні на сучасному етапі першочергове значення набувають питання встановлення оптимальних норм водоспоживання і водовідведення, вдосконалення технології поливу рису та супутніх культур рисової сівозміни, питання меліоративного стану ґрунтів.

На територіях із складними гідрогеологічними умовами, де розміщені більшість рисових систем України, режим зрошення рису без створення шару поливної води на поверхні рисових полів є неприйнятним, оскільки він не забезпечує, насамперед, необхідні умови вирощування рису, а також промивний режим засолених ґрунтів, що відрізняє РЗС від традиційних.

Виходячи з наявних технологій водокористування із створенням шару води на поверхні рисового поля для забезпечення промивності ґрунтів слідує, що такі технології призводять до значних витрат поливної води та до погіршення їх ЕМС, що в свою чергу, підтверджує необхідність розробки та запровадження водозберезувальних технологій водокористування.

Потужність шару води на рисових полях є одним з важливих факторів, від якого значною мірою залежить обсяг поливної води, який необхідно подати на поле, так і продуктивність культури рису. Вода задовольняє фізіологічні

потреби рису, впливає на формування його вегетативних та репродуктивних органів, покращує умови живлення, регулює мікроклімат рисового поля, створюючи сприятливі умови для проходження фаз росту та розвитку від сівби насіння до збирання врожаю.

Оптимальний шар води на полі покращує умови мінерального живлення, знижує засоленість ґрунту, сприяє боротьбі з бур'янами, допускає тривале і беззмінне вирощування рису. Найбільш сприятливий шар води для різних умов вирощування рису, наприклад, в Узбекистані знаходиться в межах від 10-12 см, а в Краснодарському краї – до 5 см [214]. Традиційні технології вирощування рису в Україні орієнтовані на шар води 15-25 см. Така глибина шару води тісно пов'язана з тим, що формування пагонів відбувається при різній амплітуді добового коливання температури води, внаслідок швидкого прогрівання вдень і інтенсивного охолодження вночі. Але більш глибоке затоплення зменшує надходження кисню до кореневої системи, тому рис від посіву до кушіння гірше переносить затоплення, і якщо в середовищі міститься кисню менше 4%, то у зернівки, яка проростає розвиваються тільки бруньки, а зростання корінця гальмується. Починаючи з фази кушіння, у зв'язку з активним ростом додаткових коренів, рис обходиться без кисню в затопленому ґрунті. Відсутність кисню в глибокому шарі води впливає на процес небажаного накопичення в ґрунті відновлених токсичних продуктів. Це призводить до масової загибелі сходів та впливає на продуктивність посівів (табл. 7.2).

Глибокий шар води у виробничих умовах створюється, в основному, з причин недосконалого планування чеків, перебоїв з подачею води та багатьох інших технологічних порушень, які часто трапляються при традиційних технологіях вирощування рису.

Від шару води на рисовому полі залежать і затрати води на його вирощування, які характеризуються величиною зрошувальної норми. Зрошувальна норма, як показує практика рисосіяння, коливається в досить широких межах (15-30 тис. м³/га) і складається з трьох складових: кліматичної; гідрогеологічної; експлуатаційної.

Вплив шару води на врожайність рису [214]

Глибина шару води, см	Врожайність, т/га	Кількість стебел рису, шт./м ²	Коефіцієнт кущіння	Середня вага волоті, г	Пустозерність, %	Кореляція між		
						шаром води і врожайністю	врожайністю і густотою	шаром води і густотою
0-5	7,23	404	1,8	2,42	5,3	-0,839	0,799	-0,923
6-8	6,68	372	2,9	2,48	7,5	-0,864	0,922	-0,897
9-10	5,42	382	3,7	2,93	20,3	-0,941	0,811	-0,806
11-15	4,91	264	4,6	2,88	28,6	-0,996	0,797	-0,796
>15	3,37	184	9,4	3,89	41,4			

Багаторічна практика вирощування рису в різних кліматичних умовах показала на існування зв'язку між врожаєм рису і величиною зрошувальної норми [73; 134; 148; 256].

Тому на сьогодні важливим питання є розробка раціональних режимів зрошення провідної культури затоплюваного рису та супутніх суходільних культур рисової сівозміни з урахуванням їх продуктивності, як економічного аспекту їх вирощування, що повинно ґрунтуватись на засадах водо- та енергозбереження з дотриманням екологічних вимог.

Обґрунтування оптимальних параметрів технології водо- та енергокористування на системі може бути здійснено шляхом зменшення складових елементів водоподачі та водовідведення при поливі рису затопленням, який забезпечує необхідний рівень промивності зрошуваних засоленних земель та високий рівень ефективності.

За комплексною моделлю оптимізації оптимальне технологічне рішення в загальному вигляді може бути визначено як

$$\begin{cases} D_i^o = \max_{\{i\}} D_i; i = \overline{1, n_i}; \\ V_{\phi_i} \Rightarrow V_{\phi}^0, \end{cases} \quad (7.3)$$

де D_i^o , D_i – відповідно максимальне (оптимальне) та i -те значення **чистого доходу**, що досягається за рахунок отримання певного об'єму вирощуваної

сільськогосподарської продукції на меліорованих землях при застосуванні різних варіантів технологічних рішень сукупності $\{i\}$, $i = \overline{1, n_i}$ – можливих способів і схем водорегулювання на системі, зумовлених її типом, конструкцією, водозабезпеченістю тощо, як економічний критерій оптимізації

$$D_0 = \max_{\{i\}} D_i = \max_{\{i\}} [W_i - (A_i + C_i^{cz} + C_i^M + C_i^s) - R_i], \quad i = \overline{1, n_i}. \quad (7.4)$$

Складовою такої стратегії є модель врожайності рису, яка включає в себе функцію зниження його продукційних процесів, що опосередковано може бути представлена через взаємозв'язок врожайності та зрошувальної норми рису.

$$Y = K_3 \cdot Y_n, \quad (7.5)$$

де K_3 – коефіцієнт втрат врожаю рису при відхиленні величини зрошувальної норми від оптимальних значень;

Y_n – потенційно можливий врожай за оптимальних значень величини зрошувальної норми, ц/га.

Тоді, якщо цю функцію представити у відповідних позначеннях, отримуємо для зрошувальної норми рису такі залежності

$$K_3 = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(0,9M^0 + \underline{M}) - 7,3M}{M^0 - \underline{M}} \right], & \underline{M} \leq M \leq M^0; \\ 0,485 + 0,385 \arctg \left[\frac{3,65(\overline{M} + 0,9M^0) - 7,3M}{\overline{M} - M^0} \right], & M^0 \leq M \leq \overline{M}, \end{cases} \quad (7.6)$$

де $\underline{M}, M^0, \overline{M}$ – відповідно нижня, оптимальна й верхня величина зрошувальної норми рису; M – середнє значення величини зрошувальної норми рису.

Наведені функції зниження врожайності рису (рис. 7.3) залежно від відхилення величини зрошувальної норми для конкретних умов за виразами (7.6) здійснюють опис реального характеру цієї залежності, враховують постійну зміну вимог вирощуваних культур до умов вологозабезпеченості посіву.

Виконаний розрахунок визначення оптимальної зрошувальної норми, виходячи із економічних критеріїв ефективності функціонування РЗС показав, що оптимальною з точки зору отримання максимального чистого прибутку є норма 18 тис. м³/га, а сам чистий прибуток становить при цьому 26602 грн/га. Відносний показник прибутковості рівний 0,48, що відповідає поставленим вимогам.

Розрахунки економічної ефективності запровадження водооборотної технології водокористування на ПРЗС з розбавленням ДСВ прісною водою в співвідношенні 1:1 показали, що величина чистого прибутку буде становити 27939,6 грн/га, а при розбавленні в співвідношенні 1:2 – 27834,6 грн/га. Додатковий чистий прибуток відповідно складе 1336,7 грн/га та 1231,7 грн/га. При цьому економічно обґрунтованою зрошувальною нормою рису є норма – 18 тис. м³/га. Відносний показник прибутковості рівний 0,50.

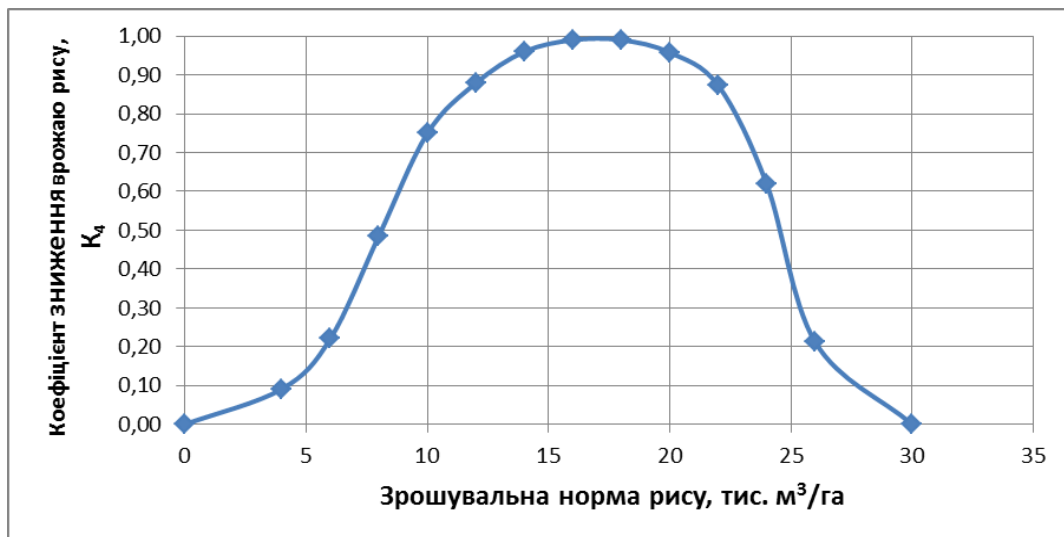


Рис. 7.3. Характер впливу зрошувальної норми рису на його врожай

За оптимальною величиною зрошувальної норми рису $M^0 = 18$ тис. м³/га та відповідним сумарним об'ємом перекачаної води $WP^0 = 27,5$ тис. м³/га оптимальні затрати електроенергії складають $Q^0 = 1,78$ тис. кВт·год/га. Реконструкція насосних станцій на РЗС з переходом на сучасне насосно-силове обладнання дасть змогу знизити цей показник ще на 20-40%.

На практиці водорегулювання на РЗС поряд із зрошенням шляхом затопленням ґрунтів традиційно розглядається можливість їх зволоження іншими способами, а також осушення за відповідними можливими умовами його застосування.

На вибір способу водорегулювання визначальний вплив мають: природно-кліматичні, рельєфні й ґрунтово-меліоративні умови; види і структура посівів сільськогосподарських культур; тип, конструкція РЗС, її водозабезпеченість тощо.

Способи водорегулювання на зрошуваних землях РЗС за принципом їх дії та впливу на режим вологи ґрунту й РГВ, а також основними технічними характеристиками і параметрами (нормами та елементами техніки водорегулювання тощо), можуть бути схематизовані відповідно до умов та параметрів їх застосування і представлені у вигляді наступної сукупності $S = \{s\}$, $s = \overline{1, n_s}$ ($n_s = 5$):

– **зрошення затопленням** культури рису та деяких супутніх культур рисової сівозміни (люцерна), $s = 1$, здійснюється через створення і підтримання необхідного шару води на поверхні рисового поля відповідно до прийнятого режиму зрошення;

– **осушення** рисових полів в окремі технологічні періоди вирощування рису, $s = 2$, здійснюється через відведення води з поверхні рисового поля та зниження РГВ до необхідної норми осушення за допомогою дренажно-скидної мережі;

– **зрошення дощуванням** супутніх культур рисової сівозміни, $s = 3$, здійснюється через застосування дощувальних машин та установок відповідно до прийнятого режиму зрошення;

– **попереджувальне шлюзування** супутніх культур рисової сівозміни, $s = 4$, здійснюється через подачу поливної води в кореневмісний шар ґрунту вирощуваної культури колекторно-дренажною мережею (включаючи кротовий дренаж);

– **дощування з підґрунтовим зволоженням** супутніх культур рисової сівозміни, $s = 5$, здійснюється через подачу поливної води в кореневмісний шар ґрунту вирощуваної культури дощувальними машинами та колекторно-дренажною мережею.

Вибір та призначення способів (технологій водорегулювання зрошуваних земель) визначається природно-агро-меліоративними умовами реального об'єкта та відповідним типом і конструкцією існуючої РЗС.

Сукупність основних видів вирощуваних сільськогосподарських культур на РЗС $Q_{g\omega} = \{k_{g\omega}\}$, $k = \overline{1, n_k}$; $g = \overline{1, n_g}$; $\omega = \overline{1, 4}$, величини їх проектних урожаїв

$Y_{kg\omega}^0$, $k = \overline{1, n_k}$; $\omega = \overline{1, 4}$ представлена такою сівозміною (рис, озимі зернові, люцерна, овочі).

Основними вихідними даними та змінними умовами у схематизованому нами вигляді для розробки економіко-математичних моделей оптимізації водорегулювання на РЗС на довготерміновій основі є сукупності таких варіантів:

1 варіант – характеризується питомим вмістом рису в сівозміні на рівні 75-100% на фоні загалом несприятливого ЕМС зрошуваних земель за умови перезволоження та заболочування території системи;

2 варіант – характеризується питомим вмістом рису в сівозміні на рівні 30-33% на фоні загалом несприятливого ЕМС зрошуваних земель, обумовленого прогресуючими процесами вторинного засолення та деградації ґрунтів загалом через недостатню дренажність поливних карт;

3 варіант – характеризується питомим вмістом рису в сівозміні на рівні 50-60% і характеризується відносно сприятливим ЕМС ґрунтів РЗС.

4 варіант – запровадження раціональної технології водокористування на рисовій системі;

5 варіант – запровадження ресурсозберігаючої технології водокористування;

6 варіант – перехід на монокультуру з дотриманням комплексу інженерно-меліоративних заходів з підвищення ефективності функціонування рисових систем;

7 варіант – передбачає можливі зміни клімату за моделлю Канадського кліматологічного центру «СССМ» та вміст рису в сівозміні 50-60% та запровадження раціональної технології водокористування;

8 варіант – передбачає можливі зміни клімату за моделлю Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства «УКМО», та вміст рису в сівозміні 50-60% та запровадження раціональної технології водокористування;

9 варіант – передбачає можливі зміни клімату за моделлю Канадського кліматологічного центру «СССМ» та вміст рису в сівозміні 50-60% та запровадження ресурсозберезувальної технології водокористування;

10 варіант – передбачає можливі зміни клімату за моделлю Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства «UKMO», та вміст рису в сівозміні 50-60% та запровадження ресурсозберезувальної технології водокористування;

11 варіант – запровадження ресурсозберезувальної технології водокористування з запровадженням заходів спрямованих на підвищення дренажності рисових чеків.

За результати прогнозно-імітаційних розрахунків на основі визначеної сукупності показників водного і природно-меліоративного режимів для даних природно-агро-меліоративних умов була виконана інтегральна оцінка рівня екологічної стійкості земель РЗС за коефіцієнтом екологічної надійності.

Узагальнені результати такої оцінки щодо водорегулювання на рівні рисового поля наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Узагальнена оцінка рівня екологічної надійності водо регулювання на рисовій карті-чеку щодо рівня її продуктивності

Варіанти	Період та умови вологозабезпечення	Спосіб водорегулювання	Значення коефіцієнта екологічної надійності	Рівень екологічної надійності
1	2	3	4	5
Варіант 1	Ретроспективний, Шар води 20см	Затоплення	0,39	недостатньо надійна
Варіант 2	Ретроспективний, шар води 20см	Затоплення	0,37	недостатньо надійна
Варіант 3	Ретроспективний, шар води 20см	Затоплення	0,44	недостатньо надійна
Варіант 4	Раціональний, шар води 12см	Затоплення	0,55	достатньо надійна
Варіант 5	Ресурсозберігаючий, шар води 8см	Затоплення	0,53	достатньо надійна
Варіант 6	Монокультура, шар води 8	Затоплення	0,50	недостатньо надійна
Варіант 7	Раціональний	Затоплення	0,51	достатньо надійна
Варіант 8	Раціональний	Затоплення	0,52	достатньо надійна
Варіант 9	Ресурсозберігаючий	Затоплення	0,53	достатньо надійна
Варіант 10	Ресурсозберігаючий	Затоплення	0,53	достатньо надійна
Варіант 11	Ресурсозберігаючий з заходами на покращення дренажності	Затоплення	0,64	достатньо надійна

Аналізуючи результати оцінювання рівня екологічної надійності водорегулювання на рисовому полі щодо рівня його продуктивності, можна зазначити, що найбільш сприятливі умови створюються на варіанті з підвищеною дренажістю поля в сукупності з глибоким розпушенням на фоні запровадження ресурсозберігаючого режиму зрошення рису.

При вирощуванні супутніх культур рисової сівозміни також варіант з підвищеною дренажістю має найвищий рівень екологічної надійності за умов проведення зволоження активного шару ґрунту дощувальною технікою в поєднанні з осушувальною дією дренажу. При цьому зрошення дощуванням доцільно застосовувати при вирощуванні трав та овочевих культур на стійких ґрунтах. Для більшості інших культур перевагу необхідно надавати, де це тільки можливо, зволожувальному шлюзуванню в поєднанні з дощуванням, як найбільш технологічно простим, економічним та екологічним способом зволоження земель.

Результати виконаних прогнозно-оптимізаційних розрахунків щодо оцінювання рисової системи в цілому свідчать про те, що найбільш сприятливі умови щодо формування ПМР ґрунтів складаються при запровадженні на РЗС додаткових заходів направлених на підвищення дренажності ґрунту (розпушення ґрунту з дооснащенням мережі відкритих дренажно-скидних каналів несистематичним закритим дренажем) та проведення зволоження ґрунту при вирощуванні супутніх культур шляхом дощування.

Безперечно, що отримані загальні рекомендації в цілому для зони рисосіяння України повинні в подальшому уточнюватися для умов кожного реального об'єкта, який буде розглядатися, за відповідними техніко-економічними та екологічними показниками.

Вони можуть бути використані, як орієнтовні, водогосподарськими організаціями, перш за все, при розробці планів експлуатації рисових зрошувальних систем, комплексу агротехнічних заходів і створенні сівозмін з формуванням раціональної структури посівів культур, орієнтованих на економічне і рівномірне використання поливної води, а також на стадії техніко-економічних розрахунків у проектах нового будівництва і реконструкції діючих

РЗС.

Так, результати розв'язання практичних прогнозно-оптимізаційних задач підтверджують достатню ефективність розроблених наукових принципів, методів і моделей оптимізації та прогнозової оцінки ефективності водорегулювання на РЗС на довготерміновій основі в цілому.

Цілком очевидно, що розглянуті різні підходи до вирішення проблеми оптимізації ґрунтових режимів на РЗС органічно доповнюють один одний і дозволяють підвищити рівень об'єктивності отриманих результатів та вироблених за ними рекомендацій.

7.3. Оптимізація параметрів конструкції РЗС

Умовою реалізації комплексної моделі оптимізації виступає так звана «виробнича функція» як основа функції оптимізації, яка в нашому випадку має враховувати технологічні, економічні та екологічні аспекти роботи дренажу.

При цьому, реалізація економічної складової комплексної моделі оптимізації щодо конструкції й параметрів дренажу, за аналогією з А.М. Рокочинським [229] може бути представлена як підсистема виду *врожай сільськогосподарських культур (Y) ⇔ швидкість фільтрації з поверхні рисового чека (V) ⇔ відстань між дренами (B)*, де швидкість фільтрації виступає ключовою ланкою.

Відповідно оптимальні конструктивні рішення та їх параметри щодо конструкції дренажно-скидної мережі РЗС тощо розробленого комплексу заходів реалізуються на стадії проекту за такою комплексною оптимізаційною моделлю

$$\begin{cases} ZP_i^o = \min_{\{i\}} ZP_i; i = \overline{1, n_i}, \\ V_{\phi_i} \Rightarrow V_{\phi}^o, \end{cases} \quad (7.7)$$

де ZP_i^o, ZP_i – відповідно мінімальне (оптимальне) та i -те значення *приведених витрат* при застосуванні різних варіантів ПР сукупності $I = \{i\}, i = \overline{1, n_i}$

$$ZP_i = \sum_{p=1}^{n_p} [(A_{ip} + C_{ip}^{cz} + C_{ip}^M + C_{ip}^6) + E_n K_{ip} - R_{ip}] \times \alpha_p / W_{ip}, \quad i = \overline{1, n_i}, \quad (7.8)$$

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень K_i .

В процесі обґрунтування оптимальних параметрів картового дренажу нами розглянуто залежність між параметрами дренажу (B_i) та швидкістю фільтрації (V_{ϕ_i}) як оберненої функції виду $B_i = f'_1(V_{\phi_i})$, в якості якої використано загальноприйнятту формулу згідно ДБН В.2.4-1-99 з урахуванням розробок О. Я. Олійника та А. І. Мурашко, а також досліджень М. І. Жовтонога (1980) на рисових системах.

Ефективність їх застосування підтверджена іншими дослідниками та практикою як у зоні осушувальних, так і зрошувальних меліорацій.

У якості відповідної залежності між параметрами ефекту (Y_i) та швидкості фільтрації (V_{ϕ_i}) використана залежність виду $Y_i = f'_2(V_{\phi_i})$ (див. розд. 4).

Враховуючи попередні результати досліджень [214], якими визначаються параметри водо- та енергокористування щодо раціонального та ресурсозберігаючого рівнів ефективності функціонування ПРЗС і які дають змогу знизити, порівняно з проектним, затрати водних й енергетичних ресурсів залежно від умов тепло- та вологозабезпеченості років та підвищити загальний рівень технічної експлуатації рисових систем, нами були сформовані варіанти досліджень, за якими була здійснена системна оптимізація ПМР, технології водорегулювання та основних конструктивних елементів ПРЗС щодо конструкції та параметрів дренажно-скидної мережі за розглянути методами.

Як варіанти досліджень нами були розглянуті такі:

варіанти 1-3 – конструкція та параметри дренажу, згідно рекомендацій Мендуся С. П. [169];

варіанти 4-8 – удосконалена нами конструкція дренажно-скидної мережі на картах-чеках шляхом улаштування проміжних закритих дрен - колекторів [118];

варіанти 9-12 – конструкція та параметри існуючої дренажно-скидної мережі у вигляді відкритих каналів [214].

Оптимізація оптимальних параметрів дренажу здійснювалось з урахуванням оптимальних параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку, яка відображає одночасно режимний та технологічний аспекти водорегулювання на РЗС, а також встановленого оптимального показника дольової частки рису в сівозміні – 50-60%.

Розрахунок економічних показників здійснювався за цінами і розцінками 2015 року.

Узагальнені результати такої оцінки наведені в табл. 7.4

Таблиця 7.4

Основні результати оптимізаційних розрахунків для ПРЗС щодо обґрунтування оптимальних параметрів дренажу на рисових картах-чеках

Варіанти ПР	Відстань між дренами	Глибина залягання РГВ в осінньо-зимовий період, м	Швидкість вертикальної фільтрації з поверхні рисового поля V, мм/добу	Капіталовкладення, грн./га	Амортизаційні відрахування, грн/га	Сільськогосподарські витрати, грн/га	Меліоративні витрати, грн/га	Вартість проектної валової продукції, грн	Вартість фактичної валової продукції, грн	Погодно-кліматичний ризик	Показник приведених витрат з врахуванням погодно-кліматичного ризику
1	50	1,86	27,1	74022,2	3701,1	10353,0	11768,7	55800	31248,0	21069,0	1,86
2	75	1,78	12,0	66702,5	3335,1	11764,9	11063,9	55800	39606,8	16193,2	1,32
3	85	1,75	9,4	65656,8	3282,8	13670,6	10938,6	55800	50889,6	4910,4	0,84
4	100	1,59	6,8	63565,4	3178,3	14125,8	10497,1	55800	53584,7	2215,3	0,74
5	125	1,49	4,7	61474,1	3073,7	13086,3	10718,8	55800	47430,0	8370,0	0,94
6	150	1,35	3,0	62519,8	3126,0	12187,1	10639,0	55800	42106,7	13693,3	1,16
7	175	1,23	2,2	60951,2	3047,6	10894,9	9023,6	55800	34456,5	21343,5	1,55
8	200	1,11	1,7	58337,0	2916,9	10248,3	8999,1	55800	30628,4	25171,6	1,83
9	225	0,95	1,3	57814,2	2890,7	9206,8	8982,4	55800	24462,0	31338,0	2,50
10	250	0,83	1,0	57291,4	2864,6	8856,3	8970,4	55800	22387,0	33413,0	2,80
11	300	0,60	0,7	56559,4	2828,0	7600,0	8954,8	55800	14948,8	40851,2	4,60
12	500	0,40	0,2	55200,0	2760	7286,1	8932,0	55800	13090,7	42709,3	5,34

За результатами прогнозно-оптимізаційних розрахунків оптимальний, економічно вигідний варіант ПР щодо розрахункової відстані між дренажно-скидними каналами і додатковими закритими дренами-колекторами для умов ПРЗС є варіант з відстанню 100 м.

Така міждренна відстань, на відміну від існуючої 200-500 м, забезпечує створення та підтримання на рисовому полі промивного водного режиму з оптимальною інтенсивністю вертикальної фільтрації 6-8 мм/добу. Економічний критерій оптимізації становить $ZP_0 = 0,74$.

Отримані нами дані узгоджуються з результатами досліджень Мендуся С. П. [170], який провів оцінку ефективності дренажу за рядом показників: за інтенсивністю розсолення активного шару ґрунту, за швидкістю фільтрації з поверхні рисового чека та за нормою осушення в передзбиральний період (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

Оцінка ефективності дренажу для умов Кілійської РЗС [169]

Міждренна відстань, м	За інтенсивністю розсолення		За швидкістю фільтрації з поверхні карти		За нормою осушення	
	Тривалість розсолення, t, роки		Швидкість фільтрації, м/добу		Норма осушення на 15 добу після скиду води, м	
	фактична	необхідна	фактична	необхідна	фактична	необхідна
200	2.8	1.0	0.0016	0.01	0.24	0.8
175	2.4	1.0	0.002	0.01	0.32	0.8
150	2.1	1.0	0.003	0.01	0.45	0.8
125	1.8	1.0	0.004	0.01	0.62	0.8
100	1.4	1.0	0.007	0.01	0.8	0.8
75	1.07	1.0	0.01	0.01	1.2	0.8

З таблиці видно, що при міждренній відстані 100 м досягаються нормативні показники за всіма факторами оцінювання ефективності дренажу.

Одним із способів підвищення водопроникності важких ґрунтів рисових поливних карт, що експлуатуються в умовах тривалого перезволоження, може стати їх глибоке розпушення, як агро меліоративний захід, що направлений на високоефективне, еколого-безпечне використання зрошуваних земель рисових систем та поліпшення їх агро екологічного стану.

Запровадження заходів направлених на підвищення водопроникності ґрунтів з метою підтримання певного рівня їх промивності шляхом глибокого

розпушення дає можливість збільшення відстані між дренами при влаштуванні систематичного закритого дренажу на 20-40%.

Оптимізаційними розрахунками встановлено, що економічно обґрунтованими відстанями між дренами за умови проведення глибокого розпушення верхнього шару ґрунту на глибину до 0,6 м є відстані 125-150 м.

Як показали розрахунки (див табл. 5.9), оптимальні швидкості фільтрації (6-8 мм/добу) спостерігаються на картах-чеках без розпушення ґрунту за умови влаштування закритого дренажу, в поєднанні з існуючою відкритою дренажно-скидною мережею з міждренною відстанню 100 м. За умови його проведення таких швидкостей фільтрації можна досягти на чеках з дренажем влаштованим через 125 м при щільовому розпушенні, а при смуговому та суцільному розпушенні, навіть, через 150 м.

Наведені результати, в цілому, відображають визначену тенденцію щодо ступеня збільшення міждрення при глибокому розпушуванні мінеральних ґрунтів, а також переконливо свідчать про те, що застосування глибокого розпушення ґрунтів РЗС інтенсифікує роботу дренажу та сприяє поліпшенню їх агроекологічного стану.

Так з економічної точки зору більш доцільним, все ж таки, є варіант з міждренними відстанями 125 м при якому відносний показник приведених витрат з врахування погодно-кліматичного ризику становить 0,60, що вказує на високу ефективність глибокого розпушення з такими параметрами в порівнянні з іншими заходами, які плануються на РЗС для покращення їх ЕМС.

Запропонований методичний підхід та методика його реалізації для умов РЗС щодо прогнозу продуктивності їх земель дають змогу відображати оптимальні умови розвитку рису щодо отримання заданого економічного ефекту та мінімізації негативних екологічних наслідків.

Так, застосування оптимізаційного підходу дасть змогу обґрунтувати параметри сільськогосподарського дренажу з урахуванням множинних природно-агро-меліоративних умов реального об'єкта з дотриманням сучасних економічних та екологічних вимог у проектах будівництва й реконструкції РЗС.

РОЗДІЛ 8. ВПРОВАДЖЕННЯ, ОЦІНКА ТА ІНВЕСТИЦІЙНА ПРИВАБЛИВІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИДУНАЙСЬКИХ РЗС

8.1. Необхідність удосконалення методології еколого-економічного оцінювання інвестицій в проекти рисових зрошувальних систем

Сучасний етап розвитку галузі рисівництва в Україні характеризується комплексом невирішених завдань, які пов'язані, перш за все, з недостатністю фінансування, що, в свою чергу, часто зумовлене відсутністю зацікавленості як з боку держави, так і з боку потенційних приватних інвесторів.

Вирішення даної проблеми можливе тільки шляхом перебудови системи економічних відносин у галузі, впровадження ефективних ринкових методів управління водогосподарськими та меліоративними проектами і, зокрема, зміни загальної методології та методики їх оцінювання та прийняття рішень на еколого-економічних засадах.

Екологічні проблеми рисосіяння потребують особливої уваги і реалізація будь яких меліоративних проектів в даній галузі не можлива без ретельної оцінки можливих негативних наслідків. Згідно закону внутрішньої динамічної рівноваги, зміна кількості чи якості одного з екологічних компонентів неминуче призводить до якісно-кількісних змін інших екологічних компонентів або динамічних властивостей природної системи в цілому.

Загострення екологічних проблем в останнє десятиріччя потребує узгодження економічних і екологічних цілей виробництва, тобто вибору такого співвідношення, при якому досягається найбільший сукупний економіко-екологічний ефект [259]. Поєднання економічних пріоритетів з екологічною переорієнтацією соціально-економічного розвитку є на сьогодні найбільш гострим питанням, що потребує методологічного і методичного забезпечення, оскільки технічний прогрес повинен бути спрямований на впровадження екологічно прийнятних технологій [40].

У загальному випадку оптимальні рішення з вибору типу, конструкції, параметрів і схем роботи рисової системи відповідно до діючих нормативів

визначаються залежно від конкретних умов реального об'єкта шляхом порівняння можливих альтернативних варіантів технічних і технологічних розв'язань за відповідно обраними показниками (критеріями) оптимальності. Метод оптимізації в такому випадку повинен ґрунтуватись на направленому порівнянні можливих варіантів з урахуванням практики водорегулювання на РЗС, що склалася, тобто поєднувати в собі елементи евристичного підходу до прийняття рішень [231].

В процесі проведення масштабних досліджень і проектуванні складних еколого-економічних систем, якими є РЗС, доцільно застосовувати на різних етапах оцінювання різні методологічні й методичні підходи для підвищення достовірності отриманих результатів.

Саме тому вважаємо за доцільне здійснювати оцінку проектних рішень в дві стадії:

- попередня еколого-економічна оцінка альтернативних варіантів меліоративного проекту;
- остаточна інвестиційна оцінка варіантів проектних рішень та вибір найкращого з них.

Попередня еколого-економічна оцінка здійснюється на підставі ескізного проектування та визначених укрупнених та нормативних основних техніко-економічних показників за варіантами проекту.

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.

Загальноприйнятим підходом у сфері вибору оптимальних проектних рішень у галузі меліорації земель є орієнтація на їх економічну доцільність та екологічну прийнятність. Тобто, в загальному вигляді модель еколого-економічної оцінки альтернативних варіантів меліоративного проекту може бути представлена у вигляді двох складових [164; 226; 234]:

- економічна складова, виражена обраним критерієм оптимальності;
- екологічна складова, визначена неявно через оцінку сукупності фізичних показників.

Так, 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 проектних рішень для подальшої, вже більш детальної їх розробки та оцінки.

За вибраними на попередньому етапі перспективними з екологічної та економічної точок зору варіантами проекту розробляється, відповідно до діючих вимог, уточнюються прийняті конструктивні рішення та їхні технічні параметри, визначаються реальні обсяги основних будівельно-монтажних робіт, потреби в ресурсах тощо.

На відміну від стадії попередньої порівняльної еколого-економічної оцінки, на етапі остаточної інвестиційної оцінки простих методів визначення економічної доцільності інвестицій вже недостатньо. Тому для інвестиційного оцінювання та остаточного вибору оптимального варіанту меліоративного проекту слід використовувати динамічні методи оцінки доцільності інвестицій, що відповідає сучасним вимогам проектного аналізу. На даному етапі відбір слід здійснювати за відповідним комплексом основних економічних критеріїв, що відповідають цілям та задачам інвесторів.

Так, запропоновані принципи й підходи, які покладені в основу розробленої загальної моделі еколого-економічного обґрунтування оптимального для реалізації проекту будівництва чи реконструкції РЗС, відповідають сучасним вимогам проектного та інвестиційного аналізу. Вони орієнтовані на підвищення економічної ефективності та екологічної обґрунтованості розроблюваних техніко-технологічних рішень, що, в свою чергу, позначиться на зростанні обсягів інвестування меліоративних заходів.

8.2. Оцінювання економічної ефективності запропонованих заходів

Відповідно до [226; 214; 215], загальна економічна ефективність

відображає ефективність проекту з точки зору суспільства та економіки країни в цілому, враховує соціальну та екологічну значимість проекту.

Соціальні, екологічні та інші фактори, які на сьогодні важко оцінити у вартісній формі, розглядаються як додаткові показники народногосподарської ефективності і враховуються в процесі прийняття рішень щодо підтримки проекту експертним шляхом.

Показники загальної економічної ефективності, що входять до загальної моделі за варіантами меліоративного проекту визначаються за відповідними формулами згідно [229; 288].

Оцінювання економічної ефективності, що ґрунтується на запропонованій методиці, виконана за питомими показниками різних альтернативних варіантів ПР з водо- та енергокористування на зрошуваних землях для умов реального проекту КРЗС.

Як альтернативні варіанти розглянуті такі:

варіант 1 – як база порівняння щодо умов роботи РЗС у проектному режимі, який характеризується питомим вмістом рису на рівні 70-90% з включенням у сівозміну супутніх культур (багаторічні трави, зернові) на фоні в цілому несприятливого водного та сольового режимів зрошуваних земель, обумовлених прогресуючими процесами їх заболочування через завищені фактичні зрошувальні норми (до 25 тис. м³/га) та недостатню дренаваність поливних карт;

варіант 2 – відображає умови роботи РЗС при запровадженні заходів, направлених на підвищення дренаваності рисових чеків за рахунок дооблаштування дренажної мережі у вигляді відкритих каналів закритими дренами-колекторами з урахуванням оптимальних параметрів швидкості вертикальної фільтрації на рисовому чеку 8-10 мм/добу з встановленням оптимального показника дольової частки рису в сівозміні – 50-60%, які відображають одночасно удосконалені режимні та технологічні аспекти водорегулювання на РЗС;

варіант 3 – заходи за варіантом 2, плюс глибоке розпушення верхнього важководопроникного шару ґрунту на товщину 0,6 м;

варіант 4 – заходи за варіантом 2, плюс запровадження повторного використання ДСВ з їх розбавленням у співвідношенні 1:1;

варіант 5 – заходи за варіантом 2, плюс запровадження повторного використання ДСВ з їх розбавленням у співвідношенні 1:2;

варіант 6 – заходи за варіантом 3, плюс повторне використання ДСВ з їх розбавленням в співвідношенні 1:1;

варіант 7– заходи за варіантом 3, плюс повторне використання ДСВ з їх розбавленням у співвідношенні 1:2;

варіант 8 – робота РЗС у проектному режимі (варіант 1) з проведенням глибокого розпушення ґрунту на глибину 0,6 м.

Основні економічні показники за варіантами ПР представлені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Основні економічні показники по системі за варіантами ПР, грн/га

№ з/п	Показник	Варіанти ПР							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Балансова вартість та капіталовкладення на реалізацію ПР	57291,4	63565,4	63565,4	63565,4	63565,4	63565,4	63565,4	57291,4
2	Поточні витрати:	20691,3	27801,2	285551,2	27860,4	29638,5	27860,4	28040,4	21441,3
	сільськогосподарські	8856,3	14125,8	14125,8	14500,0	14500,0	14500,0	14500,0	8856,3
	експлуатаційні	8970,4	10497,1	11247,1	10182,1	10287,1	10182,1	10362,1	9720,4
	амортизація основних фондів	2864,6	3178,3	3178,3	3178,3	3178,3	3178,3	3178,3	2864,6
3	Валова продукція	22387,0	53584,7	64820,3	55800,0	55800,0	55800,0	55800,0	27081,0
4	Чистий дохід	7424,9	32140,1	42625,7	34296,2	34191,2	34296,2	34116,2	11368,9

Розрахунки з визначення значень основних економічних показників за варіантами ПР з урахуванням їхньої зміни за роками розрахункової тепло- й вологозабезпеченості, що описують прогнозні зміни погодно-кліматичних умов, водного режиму та технології водорегулювання, а також продуктивності меліорованих земель у множинних змінних природно-агро-меліоративних умовах досліджуваного об'єкту виконані за аналогією з [229].

Порівняльна характеристика та обґрунтування оптимального ПР за зведеними показниками їх економічної та екологічної ефективності, що

отримані за відповідними методиками, наведена в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Обґрунтування оптимального ПР за зведеними показниками економічної та екологічної ефективності

№ з/п	Показник	Варіанти ПР							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Критерій економічної ефективності, ZP_s	2,88	0,74	0,6	0,78	0,79	0,75	0,76	2,06
2	Критерій екологічної ефективності за показником надійності, $k_{нс}$	0,41	0,87	0,63	0,75	0,78	0,81	0,83	0,53

Наведені дані переконливо засвідчують, що реалізація розробленого комплексу агротехнічних та інженерно-меліоративних заходів є економічно обґрунтована та екологічно прийнятна у порівнянні з існуючими конструкцією та технологією водо- та енергокористування при вирощуванні рису і супутніх культур в умовах Придунайських РЗС.

При цьому найнижче значення критерію економічної ефективності та коефіцієнту екологічної надійності $k_n = 0,41$, що нижче за прийнятий рівень $k_n \geq 0,5$ має місце на базовому варіанті, який передбачає умови роботи РЗС у проектному режимі, що говорить про його неефективність порівняно з іншими варіантами.

Прийнятними, як з екологічної, так і з економічної точки зору, є варіанти 2-7, найкращим з них є варіант 3 з критерієм екологічної надійності 0,63.

Найкращий з економічної точки є варіант 3, згідно з яким передбачається дообладнання відкритої дренажно-скидної мережі закритими дренами з мідренною відстанню $B=100$ м та проведення глибокого розпушення ґрунту на товщину 0,6 м. Критерій екологічної надійності при цьому також досить високий 0,63, що говорить про його екологічну прийнятність.

8.3. Інвестиційне оцінювання варіантів проектних рішень

Метою розробки будь-якого меліоративного проекту, у тому числі проектів РЗС, є обґрунтування технічної можливості та економічної доцільності

створення об'єкта інвестування, і рішення про вкладання капіталу в даний об'єкт може бути прийняте лише на основі детально розроблених проектних матеріалів.

Галузь рисівництва, як зрошувальне землеробство в цілому, є надзвичайно капіталоемною, а тому інвестування тут слід здійснювати за певною дольовою участю держави та землекористувачів. Відповідно актуального значення набуває комерційна ефективність відповідного проекту.

Методика інвестиційного оцінювання проектів водогосподарського спрямування базується на наступних засадах:

- використання показників, які безпосередньо пов'язані з основними цілями та завданнями проекту;
- відповідність системи обраних показників особливостям функціонування економіки країни, окремої галузі та інтересам основних учасників інвестиційного процесу;
- для проектів державного значення – орієнтація не стільки на економічну, скільки на екологічну і соціальну ефективність меліоративного проекту;
- для комерційних проектів – отримання доходу не нижче бажаного рівня, який, крім того, компенсує ризик невизначеності кінцевого результату;
- повна окупність вкладених засобів за рахунок доходів від реалізації проекту в межах терміну, прийняттого для інвестора.

Основними показниками, що використовуються для обґрунтування оптимальних інвестиційних рішень є показники, які можна розділити на дві основні групи:

- дисконтовані показники;
- показники, що не враховують фактор часу.

До дисконтованих відносяться показники, що враховують зміну вартості грошей у часі: дисконтований грошовий потік – *PV*; чиста теперішня вартість – *NPV*; індекс рентабельності інвестицій – *PI*; внутрішня норма прибутковості – *IRR*; дисконтований термін окупності – *DPP*; дисконтований коефіцієнт ефективності інвестицій – *ARR_d*.

До показників, що не враховують зміну вартості грошей у часі, відносять: коефіцієнт ефективності інвестицій – *ARR*; термін окупності – *PP*; максимум проектного прибутку – *ACBP*.

У загальному випадку модель вибору оптимального для реалізації варіанту меліоративного проекту та обґрунтування його ефективності на стадії інвестиційної оцінки має вигляд

$$NPV(s_o) = \max_{\{i\}}(NPV_i) , \quad i = \overline{1, n} , \quad (8.1)$$

за умови, що

$$\begin{cases} NPV_s \geq 0; \\ IRR_s \geq r_i; \\ PP_s \geq \dot{O}_{i\dot{o}}; \\ k_i \geq 0,51, \end{cases} \quad (8.2)$$

де r – норма дисконту за варіантом ПР;

T_{np} – прийнятний для інвестора дисконтований термін окупності вкладів.

Дисконтований грошовий потік (*PV* – сучасна вартість грошового потоку, яка визначається за формулою

$$PV = \sum \frac{CF_t}{(1 + r)^t} , \quad (8.3)$$

де r – ставка дисконту, прийнята для інвестора норма прибутку на капітал, або річна банківська процентна ставка;

CF_t – чистий грошовий потік, не дисконтований дохід від здійснення проекту за період t , який включає чистий прибуток після сплачування всіх платежів та зборів до бюджетів різних рівнів та амортизаційні відрахування. Він формується в результаті надходження виручки від реалізації продукції.

Чистий грошовий потік розраховується за формулою

$$CF = B - C , \quad (8.4)$$

де B – виручка від реалізації продукції (послуг), що буде створюватись в результаті здійснення проекту;

C – сукупні експлуатаційні витрати на проект.

Чиста теперішня вартість проекту (NPV) – це сумарне перевищення надходження над втратами за весь період існування проекту приведена до початкового періоду. Показник чистої теперішньої вартості капіталу визначає динамічну норму ефективності інвестицій як норму приведення (дисконту), при якій сума дисконтованого доходу (прибутків) за певний час стає рівною інвестиційним витратам.

Це один з найважливіших показників, за яким оцінюється ефективність проекту

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t - I_t}{(1+r)^t}, \quad (8.5)$$

де CF_t – чистий грошовий потік в рік t ,

I_t – інвестиційні витрати на проект у рік t ;

r – ставка дисконту (норма дисконту);

n – тривалість існування проекту.

При використанні показника NPV необхідно дотримуватись таких основних правил прийняття інвестиційних рішень: якщо значення NPV за заданої норми дисконту додатне ($NPV > 0$), можна вважати проект ефективним і розглядати питання про його прийняття чи подальший аналіз; якщо $NPV < 0$, то проект вважається неефективним і його потрібно зняти з подальшого аналізу; якщо представлені проекти є альтернативними, то потрібно приймати проект з вищим значенням NPV ; якщо потрібно сформувати зі списку можливих капітальних вкладень портфель інвестицій, то найкращою є комбінація проектів з найбільшим значенням NPV .

Індекс рентабельності (прибутковості) інвестицій визначається за формулою

$$ІДІ = PI = \frac{\sum CF_t}{(1+r)^t} / \sum \frac{I_t}{(1+r)^t}. \quad (8.6)$$

Якщо значення $PI > 1$, то проект є ефективним і його доцільно реалізовувати.

Внутрішня норма прибутковості (*IRR*) (рентабельності, доходності) – це норма дисконту r , при якій *IRR* стає рівне нулю, або коли сума дисконтованих ефектів рівна сумі дисконтованих капіталовкладень, або інвестицій.

IRR розраховуємо за методом лінійної інтерполяції, коли значення *IRR* розраховується за спрощеною формулою:

$$IRR = A + \frac{a \cdot (B - A)}{a - b}, \quad (8.7)$$

де A – величина ставки дисконту, при якій *NPV* має додатне значення ;

B – величина ставки дисконту, при якій *NPV* має від'ємне значення;

a – величина позитивної *NPV*, при величині ставки дисконту A ;

b – величина *NPV*, при величині ставки дисконту B .

Для обґрунтування рішень, що пов'язані з використанням залученого капіталу, найбільш відповідним є таке визначення внутрішньої норми рентабельності *IRR*, яка визначає максимально допустиму процентну ставку, при якій ще можливо без будь-яких втрат для власників компанії – замовника залучати інвестиції в проект.

При використанні показника внутрішньої норми рентабельності *IRR* необхідно дотримуватись такого основного правила при прийнятті інвестиційних рішень: якщо внутрішня норма рентабельності перевищує ціну капіталу, фірма може приймати проект, в протилежному випадку проект повинен бути відхилений.

Термін окупності (*PP*) – це мінімальний часовий інтервал (від початку здійснення проекту), за межами якого інтегральний дохід від проекту стає позитивним і залишається таким в подальшому. Тобто, це період часу, починаючи з якого початкові інвестиції та інші пов'язані з проектом витрати покриваються результатами його здійснення.

В випадку, якщо прибуток розподілений за роками нерівномірно, то *PP* розраховують безпосередньо як період, протягом якого інвестицію буде погашено за рахунок кумулятивного прибутку, тобто

$$\sum_t CF_t \geq \sum_t I_t. \quad (8.8)$$

Термін окупності визначаємо використовуючи формулу

$$PP = (t_0 - 1) + \frac{\sum I_t - \sum CF_{(t_0-1)}}{CF_{t_0}}, \quad (8.9)$$

де CF_t – недисконтований грошовий потік за t -й рік;

$\sum I_t$ – сума інвестицій у проект;

t_0 – номер першого року, у якому досягається умова $\sum CF_{(t_0)} \geq \sum I_t$.

При використанні показника терміну окупності PP в інвестиційному аналізі необхідно дотримуватись таких основних правил при прийнятті інвестиційних рішень: проекти зі строком окупності, який менше, ніж нормативний (або встановлений інвесторами) приймаються, а з більшим строком окупності – відхиляються; із кількох взаємовиключних проектів слід надавати перевагу проекту, що має менший термін окупності.

Вихідні дані для визначення інвестиційної ефективності ПР наведені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Вихідні дані для розрахунку інвестиційних рішень за варіантами ПР

№ з/п	Показники	Варіанти							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Річний чистий дохід, середньозважений за групами років, грн/га тис. грн	<u>7424,9</u> 25615,9	<u>32140,1</u> 110883,3	<u>42625,7</u> 147058,7	<u>34296,2</u> 118321,9	<u>34191,2</u> 117959,6	<u>34296,2</u> 118321,9	<u>34116,4</u> 117701,6	<u>11368,9</u> 39222,7
2	Амортизаційні відрахування, грн/га тис. грн	<u>2864,6</u> 11325,7	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>3178,3</u> 10965,1	<u>2864,6</u> 9882,9
3	Інвестиції в ПР, грн/га тис. грн	<u>57291,4</u> 197654,0	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>63565,4</u> 219300,6	<u>57291,4</u> 197654,0

Результати інвестиційної оцінки альтернативних проектних варіантів, на основі яких визначено кращий варіант наведені в табл. 8.4.

Результати інвестиційної оцінки варіантів ПР щодо підвищення ефективності функціонування ПЗС

Показник	Варіанти ПР							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Чиста теперішня вартість (NPV) з початку існування проекту, тис. грн	22954,1	78987,7	93372,7	80726,5	79840,9	85976,2	84482,7	16206,2
Індекс рентабельності інвестицій (PI)	0,50	1,91	2,47	1,62	2,11	1,30	1,29	1,08
Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	2,05	3,28	8,19	5,02	9,37	6,66	6,62	5,16
Термін окупності (PP) з початку існування проекту, роки	8,65	3,47	2,75	3,28	3,55	3,16	3,19	7,71

Таким чином, здійснені розрахунки з інвестиційного оцінювання варіантів ПР підтверджують як загальноекономічну, так і достатньо високу комерційну ефективність варіантів 3,4,6. Найвище значення показника *NPV* маємо за варіантом 3, яке дорівнює 93372,7 тис. грн, що говорить про його найвищу інвестиційну ефективність. Термін окупності капіталовкладень для вищенаведених варіантів становить відповідно 2,75; 3,28; 3,16 років, що є досить перспективним і забезпечить швидке погашення інвестицій.

8.4. Математичне моделювання динамічних економічних процесів щодо запровадження проектних рішень на ПЗС

На кінцевому етапі проведеного комплексу оптимізаційних розрахунків режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо підвищення ефективності функціонування ПЗС ми зустрічаємось з випадком, коли метою (ціллю) оптимізації є встановлення найкращої послідовності тих чи інших робіт пов'язаних з впровадженням запланованих заходів, оскільки проведення капітальної реконструкції ПЗС вимагає значних капіталовкладень. При обмежених інвестиційних можливостях постає питання поетапної

реконструкції, встановлення пріоритетів для першочергового фінансування з точки зору оптимальної економічної доцільності.

Для розв'язання цієї задачі використаємо метод динамічного програмування, в основу якого покладено принцип оптимальності Беллмана [23; 261], в якому оптимальне продовження процесу визначається відносно стану, який досягнуто на даний момент. Основна умова того, щоб цей принцип здійснювався така: процес управління повинен бути без зворотного зв'язку, тобто керування на даному кроці не повинно впливати на попередні кроки.

Основне функціональне рівняння Беллмана можна записати у такому вигляді

$$F_{n-k}(X^k) = \max_{u_{k+1}} [W_{k+1}(X^{(k)}, U_{k+1}) + F_{n-k}(X_n^{(k+1)})], \quad k = \overline{0, n-1}, \quad (8.10)$$

де $X^{(k)} = (x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_n^{(k)})$ – є сукупність чисел, що визначають стан системи S на k -му кроці і отримані в результаті керування U_k , яка забезпечує перехід системи S із стану $X^{(k-1)}$ в $X^{(k)}$;

$U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ – оптимальна стратегія керування;

$F_{n-k}(X^k)$ – це прибуток, який отримується при переході будь-якого стану $X^{(k)}$ в кінцевий стан $X^{(n)}$ при реалізації оптимальної стратегії керування на решті $(n-k)$ кроках.

Задача оптимального розподілу ресурсів за варіантами ПР щодо запровадження комплексу технологічних та конструктивних заходів щодо підвищення ефективності функціонування РЗС на стадії їх експлуатації розглядалась за умови отримання максимального загального прибутку.

При цьому нами розглядалось шість наступних варіантів ПР із обґрунтованого комплексу заходів :

Варіант 1 – перехід на запровадження ресурсозберігаючого режиму зрошення рису із обґрунтованою зрошувальною норму $M^0=18000 \text{ м}^3/\text{га}$;

Варіант 2 – використання ДСВ для зрошення рису та супутніх культур з їх розбавленням в співвідношенні 1:1;

Варіант 3 – використання ДСВ для зрошення рису та супутніх культур з їх розбавленням в співвідношенні 1:2;

Варіант 4 – проведення розпушення ґрунту на глибину 0,6 м без реконструкції рисових карт;

Варіант 5 – проведення дооснащення відкритої дренажно-скидної мережі закритими дренами-колекторами з $V=100$ м в поєднанні з розпушенням ґрунту та влаштуванням приукісного дренажу;

Варіант 6 – проведення реконструкції карт-чеків шляхом ліквідації картових дренажно-скидних каналів з проведенням поливу рису та супутніх культур дощуванням.

Розрахунки показали, що загальні затрати на повну реконструкцію ПРЗС, яка включає запровадження ресурсозберігаючої технології водокористування з комплексом заходів на підвищення ефективності їх функціонування з проведенням модернізації насосних станцій та заміни і ремонту гідротехнічних споруд будуть становити 70-80 тис. грн/га. Як показали результати моделювання, найкращим рішенням щодо вкладання ресурсів на ПРЗС є першочергове запровадження на них ресурсозберігаючої технології зрошення рису, в поєднанні з реконструкцією карт-чеків. Її суть зводиться до дооснащення існуючої дренажно-скидної мережі закритими дренами-колекторами, проведенням глибокого розпушення ґрунту та влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів від руйнування їх русла, що потребує на її реалізацію 15-20 тис. грн/га. Друга черга реконструкції – це реконструкція насосних станцій, яка за укрупненими показниками в розрахунку на 1 га площі рисової системи буде становити біля 20 тис. грн/га. І третя черга – це реконструкція гідротехнічних споруд на зрошувальній і дренажно-скидній мережі, яка потребує найбільших капіталовкладень – понад 35 тис. грн/га. Проводиться вона в останню чергу, аби окупились інвестиції попередніх етапів реконструкції.

Таким чином, залежно від фінансування, повні затрати на реконструкцію ПРЗС можуть окупитись за 9-12 років.

ВИСНОВКИ

1. У монографії наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми, яка полягає в необхідності підвищення загальної режимно-технологічної, технічної та еколого-економічної ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України на основі системної оптимізації їх водо- та енергокористування.

Показано, що здійснення такого підходу потребує подальшого розвитку теоретичних засад та удосконалення методів прогнозно-оптимізаційних розрахунків при обґрунтуванні параметрів режимних, технологічних та технічних рішень у проектах будівництва, реконструкції та експлуатації рисових зрошувальних систем за сучасними економічними та екологічними вимогами.

2. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень отримали подальшого розвитку теоретичні засади щодо системної оптимізації різномірних та взаємопов'язаних режимних, технологічних й технічних рішень з водо- та енергокористування на діючих рисових зрошувальних системах як складних природно-технічних еколого-економічних системах через специфіку їх створення та функціонування.

3. За науково-дослідними та виробничими матеріалами, які охоплюють піввіковий період та відображають зміну погодно-кліматичних, режимно-технологічних та соціально-економічних умов функціонування рисових зрошувальних систем України науково обґрунтовано сукупність різномірних та взаємопов'язаних показників (*глибина РГВ в міжвегетаційний період для рису та в вегетаційний період для супутніх культур рисової сівозміни, мінералізація ґрунтових вод, тривалість періоду із стоянням РГВ нижче критичної глибини, ступінь засолення кореневмісного шару ґрунту, інтенсивність фільтраційних процесів (швидкість фільтрації з поверхні рисового чеку, зрошувальна норма рису, загальний об'єм перекачаної води)* як критеріїв оцінювання загальної ефективності їх водо- та енергокористування

4. Науково обґрунтовано параметри різномірних режимних, технологічних та технічних показників функціонування діючих РЗС при змінних природно-

меліоративних режимах (сприятливий, несприятливий) з відповідним формуванням еколого-меліоративного стану зрошуваних засолених земель (*задовільний*, а також *незадовільний* як за умовами перезволоження, так й за умовами відтворення вторинного засолення) за визначеними часовими періодами (ретроспективний, сучасний, перспективний) та можливими рівнями їх ефективності (проектний, фактичний, раціональний, ресурсозберезувальний);

5. Встановлено характер та рівень зв'язку між основними параметрами різнорідних показників режимів, технологій та конструкцій щодо водо- та енергокористування на РЗС, які визначають їх природно-меліоративний режим та відповідний еколого-меліоративний стан.

6. На основі системної оптимізації розроблено комплекс режимних, технологічних та технічних заходів щодо необхідності й доцільності переходу на раціональний та ресурсозберігаючий рівні водо- та енергокористування, повторного використання дренажно-скидних вод, застосування глибокого розпушення з використанням відповідних малоенергозатратних агрегатів, проведення періодичного промивання засолених ґрунтів на фоні глибокого їх розпушення, дооснащення існуючої відкритої дренажно-скидної мережі закритими дренами-колекторами, влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів від деформацій їх русла, захищені патентами на корисну модель і направлені на підвищення загальної ефективності функціонування РЗС у відповідності до сучасних економічних й екологічних вимог, удосконалено методи обґрунтування їх параметрів;

7. Удосконалено наукові підходи до системної оптимізації на еколого-економічних засадах загального природно-меліоративного режиму РЗС, технологічних та технічних рішень з водо- та енергокористування, що його забезпечують, за різнорідними критеріями оптимізації щодо різних рівнів прийняття їх в часі, які ґрунтуються на системному розгляді рисової системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи.

8. Розроблено загальні принципи побудови й реалізації комплексних моделей системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних

рішень щодо водо- та енергокористування рисових зрошувальних системах на еколого-економічних засадах на довготерміновій основі.

9. Обґрунтовано оптимальні параметри різнорідних взаємозв'язаних показників режимних (швидкість фільтрації), технологічних (зрошувальна норма рису, частка рису в сівозміні, ступінь розбавлення дренажно-скидних вод при їх повторному використанні) та конструктивних рішень (конструкція та параметри дренажу карт-чеків, в тому числі, із застосуванням глибокого розпушення) для розробленого комплексу заходів з підвищення ефективності функціонування РЗС;

10. На основі застосування динамічного програмування розроблено науковий підхід та обґрунтовано оптимальний склад заходів та черговості їх реалізації при реконструкції діючих РЗС.

На прикладі Придунайських РЗС встановлено, що загальні затрати на їх повну реконструкцію, яка включає запровадження ресурсозберезувальної технології водокористування з комплексом заходів на підвищення ефективності їх функціонування з проведенням модернізації насосних станцій та заміни і ремонту гідротехнічних споруд будуть становити 70-80 тис.грн/га. При цьому, найкращим рішенням є першочергове запровадження на них ресурсозберігаючої технології зрошення рису в поєднанні з реконструкцією карт-чеків з дооснащення їх відкритої дренажно-скидної мережі закритими дренами, проведенням глибокого розпушення ґрунту та влаштування приукісного дренажу для захисту дренажно-скидних каналів від руйнування їх русла, яка потребує на її реалізацію 15-20 тис.грн/га. Друга черга реконструкції – це реконструкція насосних станцій, яка за укрупненими показниками в розрахунку на 1га площі рисової системи буде становити близько 20 тис.грн/га. І третя черга – це реконструкція гідротехнічних споруд на зрошувальній і дренажно-скидній мережі, яка потребує найбільших капіталовкладень – понад 35 тис.грн/га. Проводиться вона в останню чергу, аби окупились інвестиції попередніх етапів реконструкції.

Так, залежно від фінансування та досягненні сукупного дисконтованого доходу 70-90 тис. грн/га, повні затрати на реконструкцію Придунайських РЗС можуть окупитись за 9-12 років.

11. Результати наукових досліджень, які були успішно апробовані в умовах виробництва, увійшли до 3 нормативних документів для проектних та експлуатаційних водогосподарських організацій і використовуються в навчальному процесі НУВГП для підготовки фахівців різних рівнів за спеціальностями 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

12. Результати наукових досліджень були успішно апробовані в умовах виробництва, увійшли до 3 науково-методичних рекомендацій для проектних та експлуатаційних водогосподарських організацій, використовуються в навчальному процесі при підготовці фахівців за спеціальностями 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверьянов С. Ф. О расчёте осушительного действия горизонтального дренажа в условиях напорного питания. *Научные записки МИИВХ им. В.Р. Вильямса*. М., 1960. Т.22. С. 3–13.
2. Аверьянов С. Ф., Рекс Л. М. Некоторые математические методы переноса солей в почвогрунтах. *Почвы содового засоления и их мелиорация: материалы международного симпозиума по мелиорации почв содового засоления*. Ереван, 1971. Вып. IV. С. 667–691.
3. Агрометеорологические условия и урожайность сельскохозяйственных культур: труды ордена Ленина гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. Л. : Гидрометеиздат, Вып. 325. 1991. 136 с.
4. Адаменко В. Н. Мелиоративная микроклиматология. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 182 с.
5. Айдаров И. П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М. : Агропромиздат, 1985. 303 с.
6. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель : рекомендации / И. П. Айдаров, А. И. Голованов, Ю. Н. Никольский и др. М. : Агротемиздат, 1990. 60 с.
7. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. М. : Мир, 1971. 534 с.
8. Алексеевский В. Е., Топольник Т. И. Организация мелиоративного мониторинга на осушаемых землях в верховьях реки Припяти. М. : 1990. 20 с.
9. Алексеевский В. Е., Наседкин И. Ю., Корсунская И. Б. Формирование мелиоративной обстановки на осушаемых землях, её оценка и контроль. *Обеспечение экологической надежности мелиоративных объектов*. К. : Урожай, 1987. С. 33–43.
10. Алексеевський В. Є., Бондар О. І. Методичні вказівки по організації і проведенню моніторингу на меліорованих землях в гумідній зоні України. К. : 1993. 36 с.
11. Алиев А. Г., Шабанов А. И., Гаврилов В. М. Системный подход к управлению мелиоративной обстановкой на орошаемых землях. *Гидротехника и мелиорация*. М. : Колос, 1985. № 3. С. 25–26.

12. Алпатьев А. М. Влагообороты в природе и их преобразования. Л. : Гидрометеиздат, 1969. 323 с.
13. Алпатьев С. М., Остапчик В. П. Опыт использования биоклиматического метода расчета испарения при формировании эксплуатационного режима орошения. *Биологические основы орошаемого земледелия*. М. : Наука, 1974. С. 127–135.
14. Алпатьев С. М. Зрошення і осушення земель. К. : Урожай, 1971. 320 с.
15. Алтунин В. С., Рассолов Б. К. Использование комплексных мелиораций для повышения урожайности сельскохозяйственных культур : учебное пособие. М., 1987. 80 с.
16. Андреев В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Л. : Гидрометеиздат, 1957. 524 с.
17. Андрушин М. А. Орошение риса. М. : Колос, 1977. 128 с.
18. Аникеев В. В. К биологии критического периода у растений к недостаточному водоснабжению. *Учен. зап. ЛГПИ им. А.И.Герцена*. Л., 1963. Том 249. С. 5–207.
19. Афанасик Г. И., Армоник О. Р., Скворцов Н. Г. Расчет водного режима мелиорированных почвогрунтов. *Конструкции и расчеты осушительно-увлажнительных систем*. Минск : 1976. Вып. 2. С. 75–86.
20. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах / Афанасик Г. И., Армоник О. Р., Пятницкий В. Н., Финский А. И. *Управление водным режимом мелиорированных земель*. Минск : Ураджай, 1967. С. 9–15.
21. Афанасик Г. И., Армоник О. Р., Пятницкий В. Н., Финский А. И. Принципы оптимизации управления водным режимом почв на осушительно-увлажнительных системах. *Управление водным режимом мелиорированных земель*. Минск : Ураджай, 1987. С. 9–15.
22. Афанасик Г. И., Омелько А. А., Жуков Л. Ф. Управление водным режимом на больших мелиоративных системах. *Мелиорация и охрана окружающей среды*. Минск, 1989. С. 17–26.

23. Ашманов С. А., Тимохов А. В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях. М. : Наука, 1991. 154 с.
24. Бабенко Ю. А., Мусиенко Б. А., Стародуб В. В. Защита заливов Чёрного моря от загрязнения дренажными водами. *Охрана природы при проектировании мелиоративных и водохозяйственных систем: научн. тр. Союзводпроект.* М., 1984. С. 56–61.
25. Бабіченко В. М., Ніколаєва Н. В., Гущина Л. М. Зміни температури повітря на території України на прикінці ХХ та початку ХХІ століття. *Український географічний журнал.* 2006. № 4. С. 3–12.
26. Багаторусний землерийний робочий орган : пат. 81348 Україна. 20.07.2007, Бюл. № 15. 4 с.
27. Багров Н. А. О метеорологическом индексе урожайности. *Метеорология и гидрология.* 1983. № 11. С. 92–99.
28. Балюк С. А., Ромащенко М. І., Сташук В. А. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України : наукове видання. Київ : Видавництво «Аграрна наука», 2009. 624 с.
29. Беляев Л. С. Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределённости. Новосибирск : Наука, 1978. 128 с.
30. Бисвас А. Системный подход к управлению водным хозяйством. Системный подход к управлению водными ресурсами / под ред. А. Бисваса ; пер. с англ. М. : Наука, 1985. С. 12–24.
31. Бобровский А. Л. Оценка действия различных конструкций дрен на фоне глубокого рыхления : экспресс-информация. М. : ЦБТНИ Минводхоза СССР, 1985. Сер. 2. Вып. 5. 6 с.
32. Бойченко С. Г., Волощук В. М., Дорошенко І. А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал,* 2000. № 2. С. 59–68.
33. Бондар О. І. Агроекологічні основи оцінки, охорони і управління продуктивністю гідроморфних ґрунтів Полісся України : автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Харків, 1996. 48 с.
34. Моделирование продуктивности агроэкосистем / Бондаренко Н. Ф.,

- Жуковский Е. Е., Мушкин И. Г. и др. Л. : Гидрометеиздат, 1982. 264 с.
35. Борисов В. И. Проблемы векторной оптимизации. *Исследование операций: методологические аспекты*. М. : Наука, 1972. С. 72–91.
36. Брызгин П. С., Натальин Н. Б. Рис. М. : Колос, 1968. 328 с.
37. Будаговский А. И. Испарение почвенной влаги. М. : Наука, 1964. 344 с.
38. Будыко М. И. О влиянии мелиоративных мероприятий на испаряемость. *Изв. АН СССР. Сер. Геогр.* 1957. № 1. С. 16–35.
39. Бурейко И. Г. Об окупаемости затрат на содержание техники в рисоводческих хозяйствах Дона. *Технологии, техника засушливого земледелия: исслед. испытания, освоение в пр-ве*. Звенигород, 2003. С. 268–274.
40. Буркинский Б. В., Ковалева Н. Г. Экономические проблемы природопользования. Киев : Наукова думка, 1995. 142 с.
41. Технологія вирощування рису з врахуванням вимог охорони навколишнього природного середовища в господарствах України / Ванцовский А. А., Вожегов С. Г., Корнбергер В. Г. та ін. Скадовськ, 2003. 43 с.
42. Ванцовский А. А., Дудченко В. В. Оптимальний та безпечний захист посівів рису. *Пропозиція*. 2003. № 2. С. 56–57.
43. Ващик С. М. Расчет составляющих оросительной нормы с учетом их динамики и экономии воды при возделывании риса в условия Причерноморья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 24 с.
44. Величко Е. Б. Выбор и обоснование рациональной конструкции рисовой оросительной карты. Краснодар : Кубанский СХИ, 1980. 35 с.
45. Величко Е. Б. Рациональное использование воды при возделывании риса. Краснодар, 1965. 193 с.
46. Величко Е. Б. Теория экологической природы риса и практика рисосеяния. *Труды ЮжНИИГиМ*. 1958. Вып. 5. С. 198–217.
47. Величко Е. Б., Харченко С. В. Оптимизация параметров рисовой карты. *Гидротехника и мелиорация*. 1983. № 11. С. 30–33.
48. Вельбовец В. А. Фильтрационные потери на рисовых оросительных системах дельты Дуная и их динамика под влиянием естественной кольматации : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1969. 31 с.

49. Вермишев Ю. Х. Методы автоматизированного поиска решений при проектировании сложных технических систем. М. : Радио и связь, 1982. 152 с.
50. Вивчення та моніторинг стану ресурсів природогосподарських комплексів Придунав'я з метою їх раціонального використання: звіт про НДР, № держреєстрації 0109U001949. Рівне : НУВГП, 2010. 185 с.
51. Власюк А. П. Мартинюк Н. М. Чисельне розв'язання одного класу задач, що зустрічаються в теорії фільтраційної консолідації. *Доповіді Національної академії наук України*. 2000. № 12. С. 65–72.
52. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорева. К. : Генеза, 2000. 456 с.
53. Воейков, А. И. Влияние климата на растительность. *Избр. сочинения по сельскохозяйственной метеорологии*. Л. : Гидрометеиздат, 1957. С. 92–95.
54. Вознюк С. Т. Ефективність і екологічне обґрунтування осушувальних меліорацій. *Водне господарство України* : спецвипуск. 1977. С. 31–33.
55. Вознюк С. Т., Рокочинский А. Н., Сташук В. А. Оптимизация водорегулирования как основа повышения эколого-экономической эффективности осушаемых земель. *Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушаемых земель* : сб. научн. трудов. Минск : БелНИИМиЛ, 1998. С. 33–38.
56. Волк П. П., Рокочинський А. М. Обґрунтування економічно оптимального та екологічно прийняттого проектного рішення щодо конструкції й параметрів дренажу. *Водні ресурси України та меліорація земель* : сб. матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. Київ : ІГІМ, 2013. С. 168–170.
57. Волк П. П., Шалай С. В., Рокочинський А. М. Вплив роботи дренажу на формування продуктивності осушуваних земель у весняний період. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2012. Рівне : НУВГП. Вип. 4(60). С. 3–9.
58. Воронцов Л. А. Роль кислорода в жизни рисового растения и его влияние на урожай : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 1965. 24 с.
59. Временные методические рекомендации по определению проектного уровня урожайности сельскохозяйственных культур на осушаемых землях Украинской ССР. К., 1988. 38 с.

60. Временные методические указания водобалансовым станциям на мелиорируемых землях по производству наблюдений и обработке материалов. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 296 с.
61. Временные методические указания по учету влияния водного режима мелиорированных торфяников на урожай сельскохозяйственных культур / Закржевский П. И., Шебеко В. Ф. и др. Минск, 1976. 20 с.
62. Науково-методичні рекомендації до застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України / Гавриш В. С., Ткачук В. Ф., Кравець С. В., Рокочинський А. М. Рівне : НУВГП, 2013. 46 с.
63. Галямин Е. П. Модель оптимального регулирования условий жизни растений на мелиорируемом поле. *Гидротехника, мелиорация и использование осушенных земель*. Минск, 1968. С. 125–137.
64. Галямин Е. П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 272 с.
65. Голованов А. И. О расчете дренажа на рисовых системах. *Гидротехника и мелиорация*. 1976. № 2. С. 82–86.
66. Голованов А. И., Новиков А. С. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почво-грунтах на орошаемых землях. *Сельскохозяйственная мелиорация*. М. : МГМИ, 1974. Т. 36. С. 87–95.
67. Гончаров С. М. О зависимости водного баланса рисового поля от конструкции рисовой оросительной системы. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1978. № 44. С. 23–29.
68. Гончаров С. М. О программировании и прогнозировании урожаев риса в условиях Дунайских рисовых систем. *Гидромелиорация и гидротехническое строительство*. 1980. № 8. С. 3–5.
69. Гончаров С. М. О формировании режима грунтовых вод на рисовых оросительных системах центральной части дельты Дуная. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1969. № 10. С. 37–44.
70. Гончаров С. М. Окислительно-восстановительный режим почв Дунайских рисовых оросительных систем. *Мелиорация и гидротехническое строительство*. 1978. № 6. С. 11–13.

71. Гончаров С. М., Кропивко С. М. Карты-чеки с дренажем на Дунайских рисовых системах *Мелиорация и водное хозяйство*. 1990. № 7. С. 12–17.
72. Гончаров С. М., Кропивко С. М. Эффективность карт-чеков широкого фронта затопления с дренами на рисовых системах в дельте Дуная. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1983. № 57. С. 6–8.
73. Гончаров С. М., Степаненко Н. Г. Исследование водно-солевого баланса Дунайских рисовых оросительных систем. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1973. № 26. С. 3–9.
74. Гордїйчук А. С., Стахів О. А. Методика економічної ефективності водогосподарських заходів. Рівне, 2000. 185 с.
75. Грацианский М. Н. Инженерная мелиарация. М. : Стройиздат, 1965. 261 с.
76. Грищенко Ю. М. Основы эколого-меліоративного моніторингу рисових полів. К., 1996. 112 с.
77. Грищенко Ю. Н. Динамика окислительно-восстановительных процессов физико-механических и биологических свойств почв при культуре затопляемого риса в условиях причерноморской степи Украины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Ровно. 1975. 30 с.
78. Гурин В. А. Повышение надежности и совершенствование закрытой оросительной сети в условиях юга УССР : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. МГМИ. М, 1990. 40 с.
79. ДБН В. 2.4.1–99. Меліоративні системи і споруди. К. : Держводгосп, 2000. 74 с.
80. ДБН В.2.4.-1-99. Меліоративні системи та споруди. К., 2000. 174 с.
81. Джулай А. П. Быстрее ввести севообороты в рисосеющих колхозах Кубани. *Земледелие*, 1957. № 8. С. 15–20.
82. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Колос, 1979. 416 с.
83. Підвищення ефективності рисових зрошувальних систем України : науково-методичні рекомендації / Дудченко В. В., Грановська Л. М., Рокочинський А. М., Турченко В. О. Херсон-Рівне : 2011. 104 с.
84. Районування зони рисосіяння України / Дудченко В. В., Кропивко М. Ф., Морозов Р. В., Чекамова А. І. Херсон : Стар, 2009. 95 с.

85. Дудченко В. В., Морозов Р. В. Рисівництво в Україні : історія, агроресурсний потенціал, ефективність. Херсон : Стар, 2009. 106 с.
86. Дупляк В. Д. Научно-технический прогресс в орошении. К. : Урожай, 1989. 248 с.
87. Ежов Ю. И. Почвенные процессы при культуре риса. *Труды Кубанского СХИ*. 1969. Вып. 23(51). С. 84–89.
88. Епатко А. Ф., Еремин Э. А., Нагалецкий Э. Ю. Воздействие гидромелиоративных систем на эколого-хозяйственный баланс территории (на примере Краснодарского края). КубГАУ. 2004. Вып. № 407. С. 147–149.
89. Ерыгин П. С. Физиологические основы орошения риса. М. : Изд-во АН СССР, 1950. 208 с.
90. Ерыгин П. С., Натальин Н. Б. Рис. М. : Колос, 1968. 328 с.
91. Жапбасбаев М. Агроклиматические условия произрастания риса в континентальном климате. Л. : Гидрометеиздат, 1969. 166 с.
92. Рис / Жовтоног И. С. и др. Киев : Урожай, 1978.
93. Жовтоног Н. И. О расчете скоростей фильтрации воды на рисовых чеках. *Мелиорация и водное хозяйство*. К. : Урожай, 1984. Вып. 61. С. 7–11.
94. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения. Л. : Гидрометеиздат, 1981. 304 с.
95. Жуковский Е. Е., Нерпин С. В., Полуэктов Р. А. Модели продуктивности растительного покрова и управление формированием урожая. *Принципы управления продукционными процессами в агро-экосистемах*. М. : Наука, 1976. С. 86–96.
96. Жулаев Р. Ж. Рисовая оросительная система. Джамбул, 1982. 11 с.
97. Заєць В. В. Нормування водо- та енергокористування Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2014. № 2(66). С. 67–73.
98. Зайдельман Ф. Р. Глубокое рыхление и бестраншейный дренаж в Нечёрнозёмной зоне: перспективы и ограничения. *Гидротехника и мелиорация*. 1986. № 6.

99. Зайдельман Ф. Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М. : Колос, 1975. 320 с.
100. Зайцев В. Б. и др. Особенности режима грунтовых вод под картами-чеками широкого фронта затопления. *Бюллетень ВНИИ риса*. 1972. Вып. 9. С. 6–9.
101. Зайцев В. Б. Рисовая оросительная система. М. : Колос, 1975. 360 с.
102. Зайченко Ю. П. Исследование операций. К. : Вища школа, 1979. 391 с.
103. Закржевский П. И. Расчет расстояний между дренами по гидрологическому режиму в паводки. *Докл. ВАСХНИЛ*. 1985. № 2. С. 42–44.
104. Закржевский П. И. Совершенствование мелиоративных систем. Минск : Ураджай, 1989. 232 с.
105. *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства УААН»*. К. : ЕКМО, 2006. Спецвипуск. 172 с.
106. Иванов В. М., Янчевский Ю. Ф. Особенности освоения засоленных почв Крымского Присивашья под культурой риса. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1967. № 1. С. 76–80.
107. Иванов Н. Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. М. : Изд-во АН СССР, 1949. 228 с.
108. Ивицкий А. И. О предельных и оптимальных нормах осушения болот. *Гидротехника и мелиорация*. 1962. № 2. С. 68–72.
109. Ивицкий А. И. Установление расстояний между дренами: дополнение № 1 к руководству по проектированию осушительных систем сельскохозяйственного назначения. Минск : Ураджай, 1981. 69 с.
110. Ивицкий А. И., Афанасик Г. И., Михальцевич А. И. Проектирование и расчеты регулирующей сети осушительно-увлажнительных систем на торфяных почвах : рекомендации. Минск : Урожай, 1979. 80 с.
111. Инструкция по определению экономической эффективности использования новой техники, изобретений и рационализаторских предложений в орошении и осушении земель, обводнении пастбищ и мелиоративном строительстве. М., 1979. 161 с.

112. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве : СН 423-71. М.: Стройиздат, 1979. 41 с.
113. Инструкция по проектированию рисовых оросительных систем : СН-П-25-75. М., 1975. 49 с.
114. Информационная система планирования проектных режимов орошения : инструкция / под ред. В. П. Остапчика. К., 1985. 53 с.
115. Ионат В. А. Расчёт горизонтального дренажа в неоднородных грунтах. Таллин : ЭНИИЗиМ, 1962. 347 с.
116. Каленюк С. М. Рассоление предупреждение заболачивания почв при освоении под рис на юге Украины : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Харьков, 1979. 21 с.
117. Кардаш В. А. Оптимизационные экономико-математические модели и методы анализа в ирригации : автореф. дис. ... д-ра эконом. наук. Новосибирск, 1973. 42 с.
118. Карта-чек рисової системи з закритою дренаю-колектором : пат. 104000 Україна : МПК (2015.01) E02B 13/00, E02B 11/00. № 2015 06186 ; заявл. 23.06.2015 ; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. 6 с.
119. Карта-чек рисової системи з закритою дренаю-колектором і ловчою дренаю : пат. 108567 Україна : МПК (2016.01) E02B 13/00, E02B 11/00. № 2015 13005 ; заявл. 29.12.2015 ; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14. 4 с.
120. Карта-чек рисової системи з різноглибоким закладанням дренажу : пат. 120516 Україна : МПК (2017.01) E02B 13/00, A01G16/00 № U2017 03763 ; заявл. 18.04.2017 ; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 4 с.
121. Карук Б. П. Системный подход к оценке воздействия на окружающую среду объектов осушительной мелиорации в Украине. *Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье* : сб. докл. К., 1992. С. 22–32.
122. Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М. : Колос, 1976. 271 с.
123. Кириенко Т. Н. Рисовые поля Украины и пути оптимизации почвообразовательных процессов. Львов : Вища школа, 1985. 184 с.

124. Клименко Н. А. Почвенные режимы гидроморфных почв Полесья УССР. К. : Изд-во УСХА, 1990. 176 с.
125. Климко А. И., Канцибер Р. А., Ермолина Л. М. Расчеты оптимальных параметров сельскохозяйственного дренажа. М. : Колос, 1976. 144 с.
126. Климков В. Т. Совершенствование конструкций мелиоративных систем на основе полимерных материалов : дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1995. 334 с.
127. Ковалевский П. Г., Куркин К. А. Эффективность глубокого рыхления при осушении лугов. *Гидротехника и мелиорация*. 1982. № 4. С. 55–57.
128. Коваленко П. И. Экологические аспекты осушения и орошения в Украине. *Экологические проблемы при водных мелиорациях* : докл. науч.-практ. конф. стран СНГ. К., 1996. С. 3–7.
129. Коваленко П. И. Экологические проблемы при орошении и осушении. Международная конференция, 16-18 сентября 1993 г. К., 1993. 8 с.
130. Коваленко П. И., Яцык Н. В. Оптимизация уровневых режимов грунтовых вод в системах с двусторонним регулированием водного режима почв. *Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем*. К. : УкрНИИГиМ, 1985. С. 8–16.
131. Коваленко П. І., Жовтоног О. І. Сучасні проблеми іригації, дренажу та управління водними ресурсами. *Вісник аграрної науки*. 2000. № 1. С. 50–55.
132. Коваленко П. І., Яцик М. В., Поляков В. Л. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки факторів зовнішнього середовища. *Меліорація і водне господарство*. К., 1996. Вип. 82. С. 3–12.
133. Ковальов С. В. Мендусь П. И. О причинах снижения урожаев риса в на оросительных системах дельты Дуная. *Актуальные проблемы водохозяйственного строительства*. Ровно, 2002. С. 107–109.
134. Ковальов С. В. Проблеми використання інженерних рисових систем в Україні (на прикладі Херсонської області). *Вісник УДУВГП*. 2002. Вип. 4(17). С. 54–64.
135. Ковальов С. В., Грищенко Ю. М. Функціонування рисових інженерних систем в Україні та перспективи їх використання. *Водне господарство України*.

2002. № 3-4. С. 39–43.

136. Ковальов С. В., Козішкурт М. Є., Козішкурт С. М. Необхідність та можливість збереження рисових систем України. *Вісник НУВГП*. 2004. Вип. 4(28) С. 41–49.

137. Ковальчук П. И., Остапчик В. П. Определение моделей урожая в зависимости от динамики водоснабжения растений. *Мелиорация и водное хозяйство*. К. : Урожай, 1982. Вып. 55. С. 3–5.

138. Ковальчук П. І., Михальська Т. О. Системне моделювання для оцінки ефективності ресурсозберігаючих технологій управління поливами. *Меліорація і водне господарство*. К. : Урожай, 1994. Вип. 81. С. 30–35.

139. Ковальчук П. І., Чистоклетова В. О. Оптимізація водокористування на основі визначення розрахункової забезпеченості зрошувальних норм. *Меліорація і водне господарство*. К. : Урожай, 1994. Вип. 81. С. 39–42.

140. Ковда В. А. Водный и солевой баланс местности и орошаемых почв. *Почвы аридной зоны как объект орошения*. М. : Наука, 1968. С. 105–136.

141. Козловський Б. І. Наукові основи моніторингу осушених земель. Львів, 1995. 190 с.

142. Кольцов А. В. Технология возделывания риса в Крыму. Симферополь, 1997. 133 с.

143. Кольцов А. В., Тітков А. А., Сичевський М. Є. Агроекологічна обстановка і перспектива розвитку рисосіяння на півдні України. Симферополь, 1994. 225 с.

144. Концепція розвитку водного господарства України. К., 1996. 35 с.

145. Коробченко С. М. Исследование эффективности дренажной сети рисовых массивов на Краснознаменной оросительной системе УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1973. 29 с.

146. Костяков А. Н. Основы мелиорации. М. : Сельхозгиз, 1960. 622 с.

147. Кравченко Р. Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. М. : Колос, 1978. 424 с.

148. Кропивко С. М. Исследование эффективности карт-чеков широкого фронта затопления с дренажем (на примере рисовых оросительных систем дельты Дуная) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно. 1987. 20 с.

149. Кружилин А. С. Биологические особенности и продуктивность орошаемых культур. М. : Колос, 1977. 304 с.
150. Крушевский А. В. Справочник по экономико-математическим моделям и методам. К. : Техника, 1982. 208 с.
151. Кубышкин В. П. Исследование параметров закрытого дренажа при осушении суглинковых почв различных генетических типов с учётом их водопроницаемости, характера водного питания и условий рельефа. *Осушение тяжёлых почв*. М. : Колос, 1981. С. 85–98.
152. Кузнецов Е. В., Шевченко Г. В. Охрана земель от переувлажнения и подтопления и мероприятия по их предотвращению. *Оросительные мелиорации* : сб. науч. тр. КубГАУ. Краснодар, 2000. С. 185–190.
153. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Муранов В. Г. Оптимізація параметрів основних елементів осушувальних систем за економіко-математичним методом. *Вісник Рівненського державного технічного університету* : зб. наук. праць. Рівне, 2000. Вип. 4 (6). С. 66–72.
154. Лазарчук М. О., Рокочинський А. М., Черенков А. В. Проектування осушувальних систем з основами САПР : практикум. К. : ІСДО, 1994. 408 с.
155. Лазарчук М. О., Черенков А. В., Рокочинський А. М. Оптимізація розрахунку осушувальних систем та управління ними : монографія. Рівне: НУГП, 2010. 155 с.
156. 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. Ровно, 1988. 20 с.
157. Лихацевич А. П. К оценке точности уравнений водного баланса орошаемого поля. *Мелиорация и водное хозяйство*. 1991. № 9. С. 25–26.
158. Лукинас А. Л., Рамошка Э. С. Эффективность глубокого рыхления и кротования тяжелых почв. *Гидротехника и мелиорация*. 1983. № 2. С. 45–48.
159. Лыко Д. В. Проблемы и пути окультуривания мелиорируемых земель Полесья УССР. К. : Изд-во УСХА, 1990. 165 с.

160. Лэсдон Л. С. Оптимизация больших систем / пер. с англ. М. : Наука, 1975. 432 с.
161. Маковский В. И., Ушкаренко В. А., Морозов В. В. Закрытая чековая оросительная система с замкнутым циклом водораспределения. Херсон, ЦНТИ. 1994. 3 с.
162. Маслов Б. С. Глубокое рыхление почв; опыт и задачи науки. *Гидротехника и мелиорация*. 1979. № 7. С. 28–33.
163. Маслов Б. С. Режим грунтовых вод переувлажненных земель и его регулирование. М. : Колос, 1970. 232 с.
164. Маслов Б. С., Минаев И. В. *Мелиорация и охрана природы*. М. : Россельхозиздат. 1985. 271 с.
165. Мелиорация и водное хозяйство : справочник. 3. *Осушение* / под ред. Б. С. Маслова. М. : Агропромиздат, 1985. 447 с.
166. Мелиорация и водное хозяйство : справочник. 6. *Орошение* / под ред. Б. Б. Шумакова. М. : Агропромиздат, 1990. 415 с.
167. Мелиорация и водное хозяйство : справочник. *Экономика* / под ред. В. Ф. Моховикова. М. : Колос, 1984. 255 с.
168. Мендусь П. И. Влияние оросительных каналов разных конструкций на к.п.д. рисовых систем и прилегающие территории в условиях дельты Дуная : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно. 1975. 31 с.
169. Мендусь С. П. Обґрунтування необхідності та посилення дренажності поливних карт рисових систем (на прикладі Придунайських рисових зрошувальних систем) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рівне, 2012. 21 с.
170. Мендусь С. П., Мендусь П. І., Рокочинський А. М. Оцінка меліоративного стану та ефективності рисових систем. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво* : зб. наук. праць. Рівне, 2007. Вип. 32. С. 38–48.
171. Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проектах будівництва й реконструкції осушувальних систем : посібник до ДБН В.2.4.-1-99. *Меліоративні системи та споруди*, (розділ 3. Осушувальні системи).
172. Методические указания по проведению наблюдений за мелиоративным

состоянием осушенных земель. Л. : СевНИИГиМ, 1972. 153 с.

173. Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України. Рівне : НУВГП, 2005. 50 с.

174. Методы системного анализа в мелиорации и водном хозяйстве / под ред. чл.-кор. ВАСХНИЛ Б. Г. Штепы. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 262 с.

175. Минаев И. В. О расчете расстояний между дренами. *Гидротехника и мелиорация*. 1985. № 2. С. 41–43.

176. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М. : Наука, 1971. 576 с.

177. Морозов В. В., Гамаюнова В. В., Сидоренко О. І., Пічура В. І. Еколого-агро-меліоративний моніторинг зрошуваних земель із застосуванням ГІС – технологій : практикум. Херсон : Вид-во ХДУ, 2007. 167 с.

178. Морозов В. В., Корнбергер В. Г., Дудченко К. В. Використання дренажних вод рисових зрошувальних систем для поливу сільськогосподарських. Херсон : РВЦ «Колос» ХДУ, 2010. С. 54–56.

179. Мошинський В. С. Оцінка еколого-меліоративного стану осушуваних земель (на прикладі Рівненської області України) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. К., 1993. 21 с.

180. Муранов В. Г. Оптимизация параметров дренажу для почв атмосферно–грунтового питания в зоне Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. К., 1989. 18 с.

181. Натальин Н. Б. Подбор и испытание травосмесей и однолетних культур в севообороте. Краснодар : Советская Кубань, 1961. 180 с.

182. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. *Многолетние данные*. Части 1-6. Выпуск 1. Украинская ССР. Книга 1. Ленинград : Гидрометиздат, 1990. 608 с.

183. Никольский Ю. Н. Оптимизация водного режима осушаемых земель грунтового типа питания : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М. : 1988. 41 с.

184. Никонюк А. М., Обухов О. Д. Про фільтрацію води з рисових чеків. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. 1975. № 3. С. 3–6.

185. Никонюк. А. М. Водный баланс и пути рационального использования воды

- на рисовых системах в причерноморской полосе Краснознаменского орошаемого массива УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1972. 32 с.
186. Нусимович С. Г. Закрытые рисовые системы в пойме дельты Дуная. *Гидротехника и мелиорация*. 1975. № 3. С. 53–60.
187. Нусимович С. Г. Разработка и исследование некоторых типов и конструкций закрытых автоматизированных рисовых систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1975. 40 с.
188. Обеспечение экономической надежности мелиоративных объектов / под ред. Б. П. Карука. К. : Урожай, 1987. 219 с.
189. Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа. К. Наукова думка, 1987. 286 с.
190. Олейник А. Я. Регулирование водно-воздушного режима почв на фоне дренажа на основе математического моделирования. *Мелиорация и водное хозяйство*. К. : 1985. Вып. 54. С. 72–75.
191. Олейник А. Я., Жовтоног И. С. Методические рекомендации по проектированию дренажа на рисовых оросительных системах : рекомендации. К. : Минводхоз УССР, 1981. 135 с.
192. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненных земель. К. : Наукова думка, 1987. 280 с.
193. Олейник А. Я., Ткач В. Н., Жовтоног И. С. Закрытый систематический дренаж на рисовых системах. *Гидротехника и мелиорация*. 1976. № 9. С. 67–75.
194. Остапчик В. П. Планирование режимов орошения на основе биологического метода расчета водопотребления сельскохозяйственных культур. М. : ЦБНТИ Минводхоза СССР (Обзорная информация), 1981. № 9. 90 с.
195. Оцінка ефективності водокористування на рисових зрошувальних системах та комплекс заходів з підвищення їх експлуатаційної надійності : звіт про НДР, № держреєстрації РК 0105 U 006392. Рівне, НУВГП, 2005. 102 с.
196. Платонов В. А., Чудновский А. Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 280 с.
197. Поливна карта рисової системи для поливу дощуванням : пат. 120517 Україна : МПК (2017.01)) E02B 13/00, E02B 11/00 № 2017 03769 ; заявл. 18.04.2017 ; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 4 с.

198. Полупан Н. И. Изменение свойств почв под культурой риса. *Почвоведение*. 1985. № 1. С. 84–93.
199. Поляков В. Л. Визначення параметрів режиму роботи дренажу при регулюванні рівня підґрунтових вод. *Меліорація і водне господарство*. К., 1994. Вип. 81. С. 73–78.
200. Поляков В. Л. К расчету параметров дренажа, обеспечивающих стабилизацию уровня грунтовых вод. *Гидравлика и гидротехника*. К., 1989. Вып. 48. С. 62–66.
201. Попов В. А. Регулирование грунтовых вод на рисовых системах. Краснодар, 1984. 96 с.
202. Пособие по расчету горизонтального дренажа при освоении земель в рисовом севообороте : пособие. М. : Колос, 1972. 72 с.
203. Приходько И. А., Сафронова Т. И., Степанов В. И. Оценка водно-солевого режима почвогрунтов на рисовых системах. *Математика. Экономика. Образование* : сб. науч. тр. XIII Международной конференции. Ростов-на-Дону, 2005. С. 92–97.
204. Приходько Н. В. Удосконалення технології водорегулювання рисового поля Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2014. Вип. 2(66). С. 57–65.
205. Просунко В. М. Агроклиматические ресурсы и продуктивность риса. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 99 с.
206. Пути решения проблем при выращивании риса в агроэкосистемах умеренного климата. *Материалы международной научной конференции*, Скадовск, 4-8 августа, 2008 г. / ред кол.: Дудченко В. В., Вожегова Р. А., Шпак Д. В. и др. Скадовск, 2008. 276 с.
207. Рабочев И. С., Пягай Э. Т. Оптимизация параметров дренажа на пойменных почвах. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1984. № 9. С. 103–105.
208. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). *Россия молодая*. М. : 1994. 367 с.
209. Рекс Л. М. К методике определения прогнозных урожаев при обосновании

- гидромелиоративных систем. *Научно-технические основы АСУ Минводхоза СССР*. М., 1977. С. 100–107.
210. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем. М. : изд-во Аслан, 1995. 192 с.
211. Рекс Л. М. Техничко-економичеcкое обоснование оросительных норм и параметров гидромелиоративных систем. *Гидротехника и мелиорация*. 1974. № 2. С. 42–49.
212. Рекс Л. М., Шитова И. А. Оптимизационная модель мелиоративной системы в гумидной зоне. *Предупреждение и ликвидация заболачивания и засоления орошаемых земель*. М., 1984. С. 40–53.
213. Решетняк Н. Ф. Влияние грунтовых вод на динамику воднорастворимых солей в почвогрунтах рисовых севооборотов. *Почвоведение*. 1973. № 2. С. 111–120.
214. Рис в Україні : монографія / за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, Л. М. Грановської. Херсон : Гринь Д.С., 2014. 76 с.
215. Рис Придунав'я : монографія / за ред. В. А. Сташука, А. М. Рокочинського, П. І. Мендуся, В. О. Турченюка. Херсон : Гринь Д.С., 2016. 620 с.
216. Робочий орган укладача – розпушувача : пат. 76118 Україна : 22.02.2003. Бюл. № 7. 6 с.
217. Розпушувач ґрунту : пат. 116000 Україна : МПК (2006.01) А01В13/16 (2006.01), А01В13/08 (2006.01). № U2016 08985 ; заявл.22.08.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9. 4 с.
218. Розробка водо- та енергозберігаючих технологій водокористування на рисових зрошувальних системах України : звіт про НДР, № держреєстрації 0106И006772. Рівне, НУВГП, 2006. 115 с.
219. Розробка пропозицій з підвищення експлуатаційної надійності та ефективності водокористування на Придунайських рисових зрошувальних системах : звіт про НДР, № держреєстрації 0104U006401. Рівне, НУВГП, 2004. 95 с.
220. Рокочинский А. Н. Методы оценки, прогноза и оптимизации управления водным режимом осушаемых земель. *Экологические проблемы при водных*

мелиорациях. К., 1996. С. 67–76.

221. Рокочинский А. Н. Системная оптимизация водорегулирования на мелиорированных землях. *Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья* : сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14-17 сент. 2016 г.). В 2 т. / Нац. акад. наук Беларуси и др. ; редкол. В. Г. Гусаков (гл. ред.) и др. Минск : Беларуская навука, 2016. Т. 2. С. 111–114.

222. Рокочинский А. Н., Зубик Л. В. Принципы создания и реализации моделей оптимизации водорегулирования осушаемых земель на долгосрочной основе. *Проблемы мелиорации и водного хозяйства на современном этапе* : сб. науч. трудов Бел. с.-х. академии. Горки, 1999. Ч. 1. С. 158–163.

223. Рокочинский А. Н., Мендусь П. И., Заец, В. В. Повышение эффективности функционирования Придунайских рисовых систем в условиях изменения климата. *Вестник БрГТУ*. 2012. № 2(80). С. 11–13.

224. Рокочинский А. Н., Турченко В. А., Заец В. В., Приходько Н. В. Оценка эффективности функционирования рисовых систем дельты Дуная на эколого-экономической основе с учетом изменений климата. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия* : сб. науч. тр. ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск : РосНИИПМ, 2014. Вып. 56. Ч. 1. С. 40–49.

225. Рокочинский А. Н., Турченко В. А., Приходько Н. В., Заец Н. В. Оценка погодно-климатических условий при оценке эффективности функционирования рисовых оросительных систем. *Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания* : научные статьи Международн. науч.-практ. конф., Брест 23-25 апр. 2014 г. в 4-х частях УО «Брестск. гос. техн. ун-т» / под ред. А. А. Волчека и др. Брест, 2014. Ч. III. С. 254–260.

226. Рокочинська Н. А. Урахування екологічних факторів при економічному оцінюванні альтернативних варіантів меліоративного проекту. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Економіка* : зб. наук. праць. Рівне. 2004. Вип. 3 (27). С. 121–128.

227. Рокочинський А. М. Загальна модель меліорованого поля на осушуваних землях. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. 1997. Вип. 21. С. 39–43.

228. Рокочинський А. М. Критерії оцінки ефективності водорегулювання

осушуваних земель. *Вісник аграрної науки*. 1998. № 3. С. 67–71.

229. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах : монографія / за ред. Ромащенко М. І. Рівне : НУВГП, 2010. 351 с.

230. Рокочинський А. М. Оптимізація водорегулювання осушуваних земель. *Водне господарство України*. 1997. № 2. С. 4–5.

231. Рокочинський А. М. Оптимізація проектних технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель : дис. ... д-ра. техн. наук. К., 2002. 442 с.

232. Рокочинський А. М. Принципи реалізації кліматологічно оптимальної стратегії управління меліоративними об'єктами на осушуваних землях. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво* : зб. наук. праць. Рівне, 2000. Вип. 25. С. 42–49.

233. Рокочинський А. М., Вознюк С. Т., Сташук В. А. Оптимізація водорегулювання осушуваних земель. *Водне господарство України*. 1996. № 4. С. 13–15.

234. Рокочинський А. М., Зубик Л. В., Покладньов Є. І., Рокочинська Н. А. Загальні практичні критерії, умови та моделі еколого-економічної оптимізації проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель. *Вісник Рівненського державного технічного університету* : зб. наук. праць. Рівне, 2001. Вип. 4(12). С. 232–242.

235. Рокочинський А. М., Окопний О. І., Зубик Я. Я. й ін. Оцінювання і прогнозування метеорологічних величин в характерні за умовами зволоження періоди вегетації для виконання водобалансових розрахунків та агрометеорологічних прогнозів на довготерміновій основі : методичні вказівки. Рівне, 1996. 33 с.

236. Рокочинський А. М., Окопний О. І., Зубик Я. Я. Типовий розподіл метеочинників у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізі. *Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво*. 1997. Вип. 21. С. 48–55.

237. Рокочинський А. М., Сташук В. А., Дупляк В. Д., Фроленкова Н. А. Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у

проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів. Рівне, 2010. 52 с.

238. Рокочинський А. М., Турченко В. О., Заєць В. В., Приходько Н. В. Удосконалення технології водорегулювання та нормування водо- і енергокористування Придунайських РЗС на еколого-економічних засадах з урахуванням змін клімату. *Меліорація і водне господарство* : міжвідом. темат. наук. зб. К. : Аграрна наука, 2014. Вип. 101. С. 200–207.

239. Рокочинський А. М., Черенков А. В., Муранов В. Г., Тимейчук О. Ю. Науково-методичні рекомендації до обґрунтування оптимальних параметрів сільськогосподарського дренажу на осушуваних землях за економічними та екологічними вимогами. Рівне, 2013. 34 с.

240. Ромащенко М. И. Некоторые аспекты обоснования уменьшения оросительных норм. *Вісник аграрної науки*. К., 1992. № 4. С. 35–39.

241. Ромащенко М. И. Совершенствование технологии и технических средств микроорошения сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1995. 60 с.

242. Ромащенко М. І., Балюк С. А. Зрошення земель в Україні. *Стан та шляхи поліпшення*. К. : Світ, 2000. 114 с.

243. Ромащенко М. І., Жовтоног О. І., Філіпенко Л. А. Обґрунтування екологічно безпечних поливних норм. *Вісник аграрної науки*. К., 1999. № 11. С. 53–59.

244. Ромащенко М. І., Собко О. О., Савчук Д. П., Кульбіда М. І. Про деякі завдання аграрної науки у зв'язку зі змінами клімату : наукова доповідь-інформація. Київ : Інститут гідротехніки і меліорації УААН. 2003. 46 с.

245. Сапожникова С. А. Опыт агроклиматического районирования СССР. Вопросы агроклиматического районирования СССР. М. : Изд. МСХ СССР, 1958. С. 14–37.

246. Сапсай Г. И. Действие дренажа и расчёт его параметров на дерново-подзолистых глеевых почвах Западного Полесья УССР : автореф. дис. ... канд. техн. наук. К., 1986. 21 с.

247. Сафронова Т. И., Кузнецов В. В., Серый Д. Г. Прогноз минерализации

- грунтових вод и засоления зоны аэрации. *Образование. Экология. Экономика. Информатика* : сб. научных трудов VIII Международной конференции. Астрахань : МГИЦ Факел. 2004. С. 335–339.
248. Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования СССР. *Вопросы агроклиматического районирования СССР*. М. : Изд. МСХ СССР, 1958. С. 7–14.
249. Синицина Н. И., Гольдсберг И. А., Струнников Э. А. *Агроклиматология*. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 344 с.
250. Рис в дельте Дуная / Скрипчинская Л. В. и др. Одесса, 1980. 80 с.
251. Спосіб промивання засолених земель рисових систем : пат. 112204 Україна, № 2016 05373 ; заявл. 18.05.2016 ; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. 4 с.
252. Справочник по экономике водохозяйственного строительства / под ред. Л. З. Андреева. М. : Колос, 1982. 192 с.
253. Сташук В., Рокочинський А., Мендусь П., Турченко В. Відновлення та розвиток рисівництва – невід’ємна складова продовольчої безпеки України. *Водне господарство України*. Київ, 2017. № 2 (128) С. 17–21.
254. Сташук В. А. Оцінка і прогноз умов формування водного режиму осушених земель при різних способах його регулювання : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Рівне, 1993. 28 с.
255. Сташук В. А., Рокочинський А. М., Грановська Л. М. Сучасний стан та шляхи підвищення загальної еколого-економічної ефективності рисових зрошувальних систем України. *Меліорація і водне господарство*. К. : Аграрна наука. 2012. Вип. 1 (97). С. 19–22.
256. Степаненко Н. Г. Дифференцированный режим орошения затопляемого риса в условиях засоленных земель дельты Дуная : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1975. 20 с.
257. Титков А. А., Кольцов А. В. Эволюция рисовых ландшафтно-мелиоративных систем Украины. Симферополь : СОНАТ, 2007. 308 с.
258. Ткачук В. Ф., Лук’янчук О. П., Рижий О. П. Агромеліоративні багатоярусні глибокорозпушувачі : монографія. Рівне, 2011. 190 с.

259. Трегобчук В. М. Экономико-экологические проблемы гидромелиорации. АН УССР. Институт экономики. К. : Наукова думка. 1990. 208 с.
260. Трускавецький Р. С., Грінченко Т. О., Балюк С. А., Бондар О. І. Прийоми управління родючістю ґрунтів меліоративного фонду. *Родючість ґрунтів: моніторинг і управління*. К. : Урожай, 1992. С. 163–194.
261. Трусев П. В. Введение в математическое моделирование : учеб. пособие. М.: Логос, 2005. 440 с.
262. Тулякова З. Ф. Рис на засоленных землях. М. : Колос, 1978. 238 с.
263. Турченко В. А., Рокочинский А. Н. Повышение эффективности функционирования рисовых оросительных систем на основе оптимизации их природно-мелиоративного режима. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия* : сб. науч. тр. ФГБНУ «РосНИИПМ». Вып. 54. Новочеркасск : РосНИИПМ, 2014. С. 104–109.
264. Турченко В. А., Фроленкова Н. А., Мендусь С. П., Рокочинский А. Н. Системная оптимизация природно-мелиоративного режима рисовых оросительных систем на эколого-экономических принципах. *Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий* : сб. науч. тр. / под общ. ред. Ю. А.Мажайского. Рязань : ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2016. Вып. 7. С. 118–126.
265. Турченко В. О. Оцінка еколого-меліоративного стану Придунайських рисових зрошувальних систем. *Зміни в соціально-економічному розвитку країни* : зб. матеріалів XLVI Міжнародн. наук.-практ. конф., 15-16 жовтня 2016 р. Чернівці, 2016. С. 13–16.
266. Турченко В. О. Підвищення дренажності рисових зрошувальних систем шляхом глибокого розпушення ґрунтів. *Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції* : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, 27 жовтня 2016 р. Житомир, 2016. С. 37.
267. Турченко В. О. Роль вертикальної фільтрації в формуванні еколого-меліоративного стану ґрунтів рисових оросительных систем и урожая ведущей культуры риса. *Актуальные научно-технические и экологические*

- проблеми сохранения среды обитания* : сб. науч. статей междунаrodn. научн.-практ. конф., 6-8 апр. 2016 г. Брест, 2016. Ч. 2. С. 276–282 .
268. Турченко В. О. Фільтраційні процеси на рисових зрошувальних системах та їх вплив на формування еколого-меліоративного стану ґрунтів. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. 2 (74). С. 56–62.
269. Турченко В. О., Кропивко С. М., Козішкурт С. М. Повторне використання дренажно-скидних вод, як складова екологічно-безпечної технології вирощування рису. *Перспективные направления развития водного хозяйства, строительства и землеустройства* : сб. материалов междунаrodn. научн.-практ. конф., Херсон : изд-во ПП «ЛТ-Оффис», 2016. С. 125–132.
270. Турченко В. О., Кропивко С. М., Рокочинський А. М. Забезпечення ресурсозбереження на Придунайських рисових зрошувальних системах через повторне використання дренажно-скидних вод. *Вісник аграрної науки*. Київ, 2017. № 6. С. 55–61.
271. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Оптимізація природно-меліоративного режиму рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне, 2014. Вип. 2(66). С. 3–9.
272. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Роль вертикальної фільтрації у формуванні еколого-меліоративного стану ґрунтів рисових зрошувальних систем та врожаю провідної культури рису. *Перспективные направления развития водного хозяйства, строительства и землеустройства* : сб. матер. международной научно-практической конференции. Херсон : изд-во ПП «ЛТ-Оффис», 2016. С. 5–8.
273. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Сучасний стан та шляхи покращення еколого-меліоративного стану Придунайських рисових систем. *Таврійський науковий вісник Херсонського державного аграрного університету*. Херсон, 2011. № 77. Ч. 2. С. 201–205.

274. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Удосконалення водокористування на рисових системах в умовах зміни клімату на прикладі Придунайських РЗС. *Управління водними ресурсами в умовах змін клімату* : матеріали Міжнар. науково-практична конф., присвяченої Всесвітньому дню води, 21 березня 2017 р., Київ /НААН України, Інст. водних проблем і меліорації, Глобальне водне партнерство. Київ, 2017. С. 134–135.
275. Турченко В. О., Рокочинський А. М., Мендусь П. І., Мендусь С. П. До оцінювання ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем. *Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 3(71). Ч. 2. С. 306–312.
276. Турченко В. О., Сокірко І. О., Жовтоног М. І. Покращення еколого-меліоративного стану рисових систем дельти Дунаю. *Вісник НУВГП*. Рівне, 2011. Вип. 2(54). С. 72–78.
277. Турченко В. О., Фроленкова Н. А., Рокочинський А. М. Системна оптимізація природно-меліоративного режиму рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП*. Рівне : НУВГП, 2016. № 3(75). С. 3–10.
278. Турченко В. О., Фроленкова Н. А., Рокочинський А. М. Системна оптимізація режимних, технологічних та конструктивних параметрів рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету* : наук.-теорет. зб. Житомир, 2017 р. № 1 (58). Т. 1. С. 302–313.
279. Турченко В. О., Фроленкова Н. А., Рокочинський А. М. Теоретичні та практичні аспекти системної оптимізації конструктивних та технологічних параметрів рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Развитие науки в XXI веке* : сб. стат. научн.-информ. центра «Знание» по материалам XXIII международной научн.-практ. конф. Харьков : научн.-инф.центр «Знание», 2017. Ч. 1. С. 95–105.
280. Турченко В. О., Фроленкова Н. А., Тимейчук О. Ю., Рокочинський А. М. Еколого-економічне оцінювання проектів реконструкції рисових зрошувальних

систем та їхньої загальної ефективності. *Меліорація і водне господарство* : міжвідом. темат. наук. зб. К. : Аграрна наука, 2017. Вип. 105. С. 88–93.

281. Турченко В. А., Рокочинский А. Н. Критерии оценки эффективности функционирования рисовых оросительных систем дельты реки Дунай. *Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология* : сб. науч. тр. Брест, 2015. Вып. 2(92). С. 31–34.

282. Турченко В. А., Рокочинский А. Н. Оптимизация природно-мелиоративного режима рисовых оросительных систем на эколого-экономических принципах. *Развитие АПК на основе рационального природопользования* : монография / под ред. П. В. Писаренко. Международный издательский дом LAP Lambert Academic Publishing, 2015. С. 155–164.

283. Турченко В. О., Мендусь П. І., Рокочинський А. М. Оптимізація природно-меліоративних режимів рисових зрошувальних систем. *Досягнення та перспективи розвитку водогосподарської галузі* : до 100-річчя від дні народження Гаркуші М. А. – першого Міністра меліорації і водного господарства України : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 11-12 вересня 2014 р. м. Київ / ред. кол. В. А. Сташук та ін. К. : Державний інститут управління та економіки водних ресурсів, 2014. С. 87–90.

284. Турченко В. О., Мендусь П. І., Рокочинський А. М. Оптимізація природно-меліоративних режимів рисових зрошувальних систем. *Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П. Г. Черняги* : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Рівне, 5-6 листопада 2014 р. Рівне : НУВГП, 2014. С. 178–181.

285. Турченко В. О. Покращення еколого-меліоративного стану ґрунтів рисових зрошувальних систем шляхом їх глибокого розпушення. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. Рівне, 2017. № 3(79). С. 3–11.

286. Турченко В. О., Рокочинський А. М. Шляхи покращення еколого-меліоративного стану рисових систем. *Вода та енергія. II міжнар. науково-практичн. конференція присвячена дню води* : матеріали наук.-практ. конф. 21 березня 2014 р. м. Київ / ред. кол. В. А. Сташук та ін. К. : Державний

інститут управління та економіки водних ресурсів, 2014. С. 88–90.

287. Франс Дж., Торнли Ф. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве / пер. с англ. М. : Агропромиздат, 1987. 400 с.

288. Фроленкова Н. А., Кожушко Л. Ф., Рокочинський А. М. Еколого–економічна оцінка в управлінні меліоративними проектами. Рівне : НУВГП, 2007. 260 с.

289. Харченко Б. И. Деформация и защита дренажно-сбросных каналов рисовых систем в пойме р. Дунай : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно. 1980. 23 с.

290. Харченко Б. И., Киричок А. Г., Харченко А. Б. Графоаналитический способ анали за устойчивости откосов каналов и их защиты от деформаций. *Меліорація і водне господарство*. К. : Колос, 1994. Вип.8 1. С. 98–102.

291. Харченко О. В. Мелиоративное состояние рисовых систем и способы его улучшения на Краснознаменском массиве УССР : автор. дис. ... канд. с.-х. наук. Херсон. 1978. 20 с.

292. Харченко О. В. Техніко-економічне обґрунтування зрошення в умовах різного природного зволоження. *Меліорація і водне господарство*. К., 1994. Вип. 81. С. 36–39.

293. Харченко С. И. Управление водным режимом на мелиорируемых землях в Нечернозменной зоне (Гидрологические аспекты). Л. : Гидрометеиздат, 1987. 240 с.

294. Хвесик М. А. Эколого-экономические проблемы водопользования в полесском регионе Украины. *Экологические проблемы при водных мелиорациях* : докл. науч.-практ. конф. стран СНГ. К., 1996. С. 8–18.

295. Химин Н. М. Оценка точности уравнений водного баланса орошаемого поля. *Меліорація и водное хозяйство*. 1991. № 2. С. 26–30.

296. Химич Д. П. Водно-солевой баланс и отдельные вопросы мелиоративного состояния рисовых оросительных систем Приморской солонцевой зоны юга Украины : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 1968. 20 с.

297. Хомик К. Т. Основы расчета осушительных систем. Талин : бюро НТИ Минсельхоза Эстонской ССР, 1966. 280 с.

298. Хэнкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л. Прикладная физика почв. Влажность и

- температура почвы / пер. с англ. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 152 с.
299. Черенков А. В., Лазарчук Н. А., Рокочинский А. Н., Муранов В. Г. Расчёт основных параметров циклического подпочвенного увлажнения осушаемых земель. *Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. Сер. 2.* М., 1988. Вып. 6. С. 6–13.
300. Чернёнок В. Я., Брусиловский Ш. И. Глубокое рыхление осушаемых тяжёлых почв. М. : Колос, 1983. 63 с.
301. Чернёнок В. Я., Стариков Х. Н. Эффективность глубокого рыхления тяжёлых почв в Нечерноземной зоне. *Гидротехника и мелиорация.* 1980. № 5. С. 52–55.
302. Шалай С. В., Рокочинський А. М. Оцінка продуктивності осушуваних земель за довготерміновим прогнозом : монографія. Рівне : НУВГП. 2011. 149 с.
303. Шапошников Д. Г. Восстановление плодородия рисовой оросительной системы. Херсон, 1973. 12 с.
304. Шашко Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 248 с.
305. Шебеко В. Ф. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территории. Минск : Урожай, 1983. 200 с.
306. Шебеко В. Ф. Водобалансовые исследования и расчеты при регулировании режима увлажнения мелиорируемых избыточно увлажненных земель. *Водные ресурсы.* М., 1972. № 2. С. 180–195.
307. Шебеко В. Ф. Водохозяйственные расчёты при мелиорации переувлажненных земель. Минск, 2000. 320 с.
308. Шумаков Б. А. Тулякова З. Ф. Рисосеяние в СССР. *Земледелие.* 1960. № 11. С. 35–38.
309. Шумаков Б. Б. Мелиорация в XXI веке. *Мелиорация и водное хозяйство.* 1996. № 3. С. 4–6.
310. Экономико-математические модели комплексных мелиоративных систем, учитывающих охрану окружающей среды. *Водное хозяйство и гидротехническое строительство.* Минск : Высшая школа, 1978. Вып. 8. С. 3–16.

311. Юдин М. И. Долгосрочный прогноз как средство управления хозяйственной деятельностью. *Применение статистических методов в метеорологии*. Л. : Гидрометеиздат, 1975. С. 5–10.
312. Юдин М. И. Информационный подход к задаче оценивания гидрометеорологических прогнозов в категорической и вероятностной форме. *Применение статистических методов в метеорологии*. М. : Гидрометеиздат, 1978. С. 7–15.
313. Янголь А. М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. М. : Колос, 1970. 135 с.
314. Яцык А. В. Екологічна безпека в Україні. К. : Генеза, 2001. 216 с.
315. Яцык А. В. Экологические основы рационального водопользования (на примере рек Украины) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1997. 64 с.
316. Abikenova S., Yespolov T., Rau A., Kalybekova Y., Zhanashev I. Water-saving Technology of Rice Irrigation on Kazakstan Rice Systems. *Journal Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 2015. V. 12 is. 3. P. 2459–2465.
317. Amarasingha R. P. R. K., Suriyagoda L. D. B., Marambe B. B., Rathnayake B. Improving water productivity in moisture-limited rice-based cropping systems through incorporation of maize and mungbean. *A modelling Agricultural Water Management*. 2017. V. 189. P. 111–122.
318. Atlin G. N., Lafitte H. R., Tao D. Developing rice cultivars for high-fertility upland system in the Asia. *Field crops Res.* 2006. № 97. P. 43–52.
319. Bishnoi O. P. Agroclimatic zoning. WMO CAgM report. Geneva. 1989. N 30. 147 p.
320. Blackwell J. Grows and yield of rice under sprinkler irrigation on a freedraining and Drainage and Small Hydropower Station. 1989. № 1. P. 16–18.
321. Botes J. H. F., Bosch D. J., Oosthuizen L. K. A simulation and optimization approach for evaluating irrigation information. *Agricultural Systems*. 1996. P. V. 51 is. 2. 165–183.
322. Bouman B. A. M., Xiaoguang Yang, Huaqi Wang et al. Performance of temperate rice varieties under irrigated aerobic conditions in North China. *Field Crops Res.* 2006. № 97. P. 53– 65.

323. Bouman B. A. M., Lampayan R. M., Toung T. P. Water management in irrigated rice: coping with water. *Los Banous (Philippines) : International Rice Research Institute*. 2007. 54 p.
324. Bouman B. A. M., Tuong T. P. Field water management and increase its productivity in irrigated rice. *Agricultural Water Management*. 2001. № 49. P. 11–30.
325. Chabra R., Abrol I. R. Relaiming effect of rice grown in sodic soils. *Soil Science*. 1977. V. 124. № 1. P. 49–55.
326. Cui Y. L., Li Y. H., Mao Z. The crop-water production function with the influence of reference evapotranspiration taken into account. *J. Hydraul. Eng.* 1998. № 3. P. 48–56.
327. Dawe D. Increasing water productivity in rice-base systems in Asia—past trends, current problems, and future prospects. *Plant Prod. Sci.* 2005. № 8. P. 221–230.
328. Doorenbos J., Pruitt W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome (Italy) : Food and Agriculture Organization. 1984. 144 p.
329. Falkenmark M., Rockström J. Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology. London (UK) : Earthscan. 2004. 247 p.
330. Fang R. J., Li Y. H., Zhang, M. Z. Study on growing features of rice roots under water deficit irrigation conditions. *China Rural Water and Hydropower*. 1996. № 8. P. 11–14.
331. Fang X. J. The physiological reaction of rice to drought. *Irrigation and Drainage and Small Hydropower Station*. 1989. № 1. P. 16–18.
332. Galang A. L. A., Bhuiyan S. I. PUMPMOD: A simulation model for multipump rice irrigation systems. *Agricultural Water Management*. 1989. V. 15 is. 4. P. 333–346.
333. Hea T. H., Moon H. P. Basis studies for breeding (4) of high protein rice. Effect of short day and high temperature treatment on the amylase in rice. *J. Kor. Soc. Crop. Sci.* 1975. № 15. P. 129–133.
334. Kar S., Varade S. B., Kar S. Childyal Soil physical conditione affecting rice root growtf: bulk density and submerged soil temperature regime affects. *Agron. J. V* 68. 1976. № 1. P. 23–26.

335. Katambara Z., Kahimb F. C., Mbungu W. B., Paul R. Optimizing system of rice intensification parameters using aquacrop model for increasing water productivity and water use efficiency in rice production. 2017. V. 1. 20 p.
336. Kiyosawa S. Studies on inheritance of resistance of rice varieties to blast II. *Genetic relationship between the blast resistance and other characters in the rice varieties Reishika and Sekiyama 2. Japan. J. Breed.* 1966. V. 16, № 2. P. 18–23.
337. Lafitte H. R., Bennett J. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations. *Water-wise rice production. Los Baños (Philippines).* 2002. P. 259–274.
338. Li Y. H., Zhang M. Z., Xie etc L. G. Calculation of rice evapotranspiration under the conditions of insufficient irrigation. *J. Hydraul. Eng.* 1995. № 2. P. 64–75.
339. Li Y. H. Theory and techniques of water saving irrigation. *Wuhan : Wuhan Uni. of Hydraul. Electric Eng. Press.* 1999. 310 p.
340. Li Y. H., Cui Y. L., Xie etc L. G. Experiment study of water saving irrigation model for rice. *Irrigation and Drainage and Small Hydropower Station.* 1994. № 12. P. 5–9.
341. Mannocchi F., Mecarelli P. Optimization Analysis of Deficit Irrigation Systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 1994. V. 120. Is. 3. P. 484–503.
342. Mao Zhi. Environmental impact of water-saving irrigation for rice. *Proceedings of Environmental Sound Water Resource Utilisation.* 1993. P. 143–148.
343. Marcos M., Sharifi H., Stephen R. Grattan, Bruce A. Linqvist Spatio-temporal salinity dynamics and yield response of rice in water-seeded rice fields. *Agricultural Water Management.* 2018. V. 195. P. 37–46.
344. Mc Cauley G. N. Sprinkler vs. flooded irrigation in traditional rice production regions of South Texas. *Agron. J.* 1990. № 82. P. 677–683.
345. Mc. Ilrotn W. O., Toden, N. E., Sonnier, E. A., Jrahan G. J. Rice J. Baton Rouge. 1997. V. 30, № 9. P. 16–20.
346. Monaco F., Sali G. How water amounts and management options drive Irrigation Water Productivity of rice. *A multivariate analysis based on field experiment data. Agricultural Water Management.* 2018. V. 195. P. 47–57.

347. Morozov V. V., Dudchenko K. V., Kaminska M. O. Drainage water application in rice irrigation system for watering agricultural crops. Херсон : ПБІ «Колос» ХДУ, 2011. С. 118–119.
348. Nagao S., Takahashi M. E. Genetically studies on rice plant. *J. Fac. Agr. – XXVII: Trial construction of twelve linkage groups in Japanese rice.* 1963. № 53. P. 72–130.
349. Okuno K. A. A low amylase mutant of rice. *Agronomy Researcher.* 1975. P. 28–34.
350. Pandey S., Byerlee D., Dawe D. Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, 2010. 477 p.
351. Paudyal G. N., Pandit D. S., Goto A. Optimization of design of on-farm channel network in an irrigation area. *Irrigation and Drainage Systems.* 1991. V. 5 is. 4. P. 383–395.
352. Peng Sh., Li Sh., Xu G., Wu Z. New water consumption pattern of rice under water-saving irrigation. *Irrigation and Drainage Systems.* 1994. V. 8 (2). P. 97–108.
353. Pingali P., Vamadevan V. K., Dastane N. G. Impact of rice receive. Development Research Institute Vamadevan V.K. *Effects of different moisture regimes at various stages of growth on the yield of rice. Riso.* 1972. V. 21. № 4. P. 335–339.
354. Rokochinskiy A. M., Mendus S., Turchenyk V. Substantiation of evaluation criteria for overall functioning efficiency of Ukrainian Danube rice irrigation systems. *International Journal of New Economics and Social Sciences.* 2016. № 1 (3). P. 154–161.
355. Rokochinskiy A. M., Mendus P. I., Mendus S. P., Turchenyk V. A. Enhancing environmental safety rice systems. *International Journal of New Economics and Social Sciences.* 2016. № 2 (4). P. 120–125.
356. Rokochynskiy A., Turcheniuk V., Zaiets V., Prykho N. Improving of water regulation technology and normalization of water and energy use at Danubian RIS on ecological and economic principles taking into account the climate change. *Problems and Prospects of Research in the Americas and Eurasia : Proceedings of the III*

- International Academic Congress. (Buenos Aires, Argentina, 3-5 December 2014). Volume I. *Buenos Aires University Press*. Buenos Aires, 2015. P. 452–457.
357. Sandra Cesari de Maria, Michele Rienzner, Arianna Facchi, Enrico Antonio Chiaradia, Claudio Gandolf. Water balance implications of switching from continuous submergence to flush irrigation in a rice-growing district. *Agricultural Water Management*. 2016. V. 171. P. 108–119.
358. Singh, R. B. Reserch and development strategies for increased and sustained production of rice in Asia and the Pacific Region. FAO Publication. 1992.
359. Soundharajan B., and Sudheer K. P. Deficit irrigation management for rice using crop growth simulation model in an optimization framework. *Paddy and Water Environment*. V. 7, is. 2. 2009. P. 135–149.
360. Tabbal D. F., Lampayan R. M., Bhuiyan S. I. Water-efficient irrigation technique for rice. *Soil and water engineering for paddy field management*. 1992. P. 146–159.
361. The biology and ecology of rice (*Oryza sativa* L.) in Australia, 2005. 24 p.
362. Thornthwaite C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 1948. V. 38. P. 55–94.
363. Tuong T. P., Bhuiyan S. I. Increasing water-use efficiency in rice production: Farmlevel perspectives. *Agricultural Water Management*. 1999. № 40. P. 117–122.
364. Turchenuk V., Frolenkova N., Rokochynskiy A. Environmental and economic foundations of system optimization of operational, technological and construction parameters of rice irrigation systems. *Environmental Economics*. 2017. 8(2). P. 76–82.
365. Turchenuk V., Rokochinskiy A., Prykhodko N., Mendus S., Zaiets V. The efficiency of Danube rice irrigation systems drainage and ways of its improvement. *The scientific heritage*. 2016. № 4 (4). P. 102–105.
366. Van Niel T. G., McVicar T. R. Current and potential uses of optical remote sensing in rice-based irrigation systems : a review. *Australian Journal of Agricultural Research*. 2004. V. 55, is. 2. 155 p.
367. Water-saving irrigation for rice: Proceedings of an International Workshop, 23-25 March 2001, Wuhan, China / Eds. R. Barker, R. Loeve, Y. H. Li and

- T. P. Tuong. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 2001. 123 p.
368. Westcott M. P., Vines K. W., A comparison of sprinkler and flooded irrigation for rice. *Argon. J.* 1989. № 78. P. 637–640.
369. Willet J. R., Malafan K. W. J. Long-term effect of rice growing on some chemical properties of two soil of Northern Australia. *Austral. J. Soil Res.* 1986. № 2. P. 239–251.
370. Wu D. P. Experiment study of irrigation techniques and water requirement of rice. № 11. P. 11–15.
371. Wu Di., Jingyuan Xue, Xiaodong Bo, Weichao Meng, Youjie Wu, Taisheng Du. Simulation of Irrigation Uniformity and Optimization of Irrigation Technical Parameters Based on the SIRMOD Model under Alternate Furrow Irrigation. *Irrigation and Drainage.* 2017. V. 66. Is. 4. P. 478–491.

Наукове видання

*Турченко Василь Олександрович
Рокочинський Анатолій Миколайович*

**СИСТЕМНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВОДО- ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ
НА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЗАСАДАХ
НА РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

Друкується в авторській редакції

Технічний редактор

Г. Ф. Сімчук