

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

**ГЛИБОКЕ МЕЛІОРАТИВНЕ СУЦІЛЬНЕ РОЗПУШЕННЯ
ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ
УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ
ЗА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ТА
ВОЛОГОРЕГУЛЮЮЧИМИ ПРИНЦИПАМИ**

Монографія

за загальною редакцією:

*д.т.н., проф., акад. НААН України В. А. Сташука,
д.с.-г.н., проф., акад. НААН України О. А. Никитюка,
д.т.н., проф. А. М. Рокочинського*

Рівне – 2026

УДК 631.62:631.312.5

Г54

Рецензенти:

Камінський В.Ф. доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України, академік-секретар Відділення землеробства, меліорації та механізації Президії НААН України;

Рижук С.М. доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України, директор інституту сільського господарства Полісся НААН України.

Рекомендовано:

*вченою радою Київського аграрного університету НААН,
протокол № 4 від 20.11.2025 р.;*

*науково-технічною радою Національного університету водного
господарства та природокористування, протокол № 8/2025 від 23.10.2025 р.*

**Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П., Турченко В.О.,
Приходько Н.В., Ничкалюк В.Г.**

**Г54 Глибоке меліоративне суцільне розпушення осушуваних
мінеральних ґрунтів Українського Полісся за енергоефективними
та вологорегулюючими принципами: монографія / за ред. д.т.н.,
проф., акад. НААН України В. А. Сташука, д.с.-г.н., проф., акад. НААН
України О. А. Никитюка, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського. – Рівне:
Волин. обереги, 2026. – 252 с.
ISBN 978-617-8624-30-9**

Роботу присвячено подальшому розвитку теоретичних і експериментальних засад удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами як адаптивного агроеліоративного заходу щодо сучасних змінюваних умов та вимог для підвищення їх вологозабезпеченості та поліпшення еколого-еліоративного стану.

Розраховано на науковців, аспірантів, здобувачів вищої освіти відповідного профілю, фахівців сільськогосподарського виробництва, а також проектних і експлуатаційних організацій у галузі водного господарства..

УДК 631.62:631.312.5

© Національний університет водного
господарства та природокористування, 2026
© «Волинські обереги», 2026

ISBN 978-617-8624-30-9

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	– 6
ВСТУП	– 10
1. СУЧАСНИЙ СТАН УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ, НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ЩОДО ЗМІНЮВАНИХ УМОВ ТА ВИМОГ	– 12
1.1. Аналіз еколого-меліоративного стану осушувальних мінеральних ґрунтів щодо змінюваних умов та вимог	– 12
1.2. Погодно-кліматичні умови зони осушення Українського Полісся	– 18
1.3. Зміна клімату та її можливий вплив на природно-ресурсний потенціал зони осушення Українського Полісся	– 21
1.4. Меліоративна ефективність рельєфу Українського Полісся	– 38
1.5. Ґрунти Полісся та їх основні агрофізичні властивості	– 48
1.6. Аналіз можливості застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агромеліоративного заходу щодо змінюваних умов та вимог	– 62
1.7. Обґрунтування необхідності та шляхів глибокого меліоративного розпушення щодо змінюваних умов та вимог	– 67
1.8. Висновки до розділу	– 81
2. НАУКОВІ СИСТЕМНІ ПІДХОДИ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 83
2.1. Вихідні передумови	– 83
2.2. Аналіз структурно-ієрархічного взаємозв'язку різнорідних складових осушувальної меліоративної системи як природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням глибокого розпушення	– 84
2.3. Теоретичне обґрунтування принципів удосконалення глибокого меліоративного розпушення на основі технічних складових меліоративної системи	– 87
2.4. Обґрунтування енергетичного взаємозв'язку принципів енергоефективності та вологорегулювання у складі природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи	– 90
2.5. Зміна підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів осушуваних меліоративних систем	– 96
2.6. Висновки до розділу	– 99
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАКРОСТРУКТУРИ ҐРУНТУ НА ВОДНО-ФІЗИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ РОЗПУШЕННЯ	– 100

3.1.	Вихідні передумови	– 100
3.2.	Аналітичне моделювання макроструктури розпушеного ґрунту для прогнозування агротехнічних показників	– 102
3.3.	Експериментальне дослідження енергетичної ефективності величини макроструктури розпушеного ґрунту щодо його вологості	– 111
3.4.	Експериментальне дослідження енергостійкості структурного подрібнення ґрунту при розпушенні	– 116
3.5.	Висновки до розділу	– 122
4.	УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 123
4.1.	Вихідні передумови	– 123
4.2.	Характерні ознаки основних тенденцій розвитку сучасних агротехнологій та конструкцій глибокорозпушувачів	– 124
4.3.	Шляхи реалізації вологорегулюючих та енергоефективних принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення	– 133
4.4.	Висновки до розділу	– 137
5.	ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 139
5.1.	Вихідні передумови. Узагальнена технологічна схема удосконаленого глибокого меліоративного розпушення	– 139
5.2.	Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з частково працюючим дренажем	– 142
5.3.	Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з непрацюючим дренажем	– 144
5.4.	Глибоке меліоративне розпушення для посушливих регіонів	– 146
5.5.	Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з переувільненими підорними шарами	– 147
5.6.	Висновки до розділу	– 149
6.	ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 151
6.1.	Вихідні передумови	– 151
6.2.	Обґрунтування форми поверхні робочого органу та параметрів робочого процесу розпушення ґрунту	– 151
6.3.	Визначення відносної критичної глибини в ярусі щодо ширини долотоподібної частини робочого органу	– 161
6.4.	Аналіз впливу швидкості руху на відносну критичну глибину розробки ґрунту долотоподібною частиною робочого органу	– 167

6.5. Обґрунтування форми і параметрів вертикального стояка щодо руху в ґрунтовому потоці	– 172
6.6. Обґрунтування раціональної компоновки робочих органів в різних умовах розробки ґрунту	– 177
6.7. Методика розрахунку конструктивних параметрів удосконаленого глибокорозпушувача	– 183
6.8. Висновки до розділу	– 188
7. ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ НА ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ	– 189
7.1. Загальна характеристика об'єктів	– 189
7.2. Методи оцінювання ефективності	– 194
7.3. Агротехнологічна ефективність	– 195
7.4. Енергетична ефективність	– 200
7.5. Екологічна ефективність	– 201
7.6. Інвестиційно-економічна ефективність	– 209
7.7. Висновки до розділу	– 213
ВИСНОВКИ	– 216
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	– 220

ПЕРЕДМОВА

Однією з головних проблем у водному господарстві України, при глобальних масштабах продовольчої, водної та енергетичної криз, є проблема дефіциту природного вологозабезпечення, яка виступає основним чинником, що обмежує продуктивність сільськогосподарських угідь й потенціал аграрного виробництва на землях з регульованим водним режимом. Крім того, сучасні економічні та воєнні реалії зумовлюють необхідність розроблення нових шляхів з вирішення проблеми енергозабезпеченості, як однієї з основних складових національної безпеки України.

Виклики сучасності щодо енергетичної, продовольчої, водної та екологічної проблем, що загострюються в умовах змін клімату та проявляються як на планетарному, так і регіональному рівнях, а також вже тривалі військові дії на сході та півдні країни зі значними негативними наслідками, обумовлюють необхідність підвищення ролі Полісся України для забезпечення сталого розвитку та продовольчої безпеки, як його невід'ємної складової і для регіону, і для країни в цілому, у найближчій та віддаленій перспективі.

Зміна природних умов визначає необхідність зміни вимог для раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель. Внаслідок чого надзвичайно актуальним постає питання щодо зміни підходів до функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, напрямів та шляхів підвищення загальної та еколого-економічної ефективності функціонування меліоративних систем. Для осушуваних мінеральних ґрунтів це можливо на підставі розробки комплексу адаптивних агро-меліоративних заходів на основі удосконалення глибокого меліоративного розпушення, що спрямовані на ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі та в межах меліоративної системи, підвищення вологозабезпеченості ґрунтів тощо. Такий комплекс заходів може бути рекомендований не лише для осушуваних але і для зрошуваних ґрунтів, оскільки в процесі зрошення ґрунтів дощуванням з часом також погіршуються їх водно-фізичні властивості.

Отже, проблематика підвищення вологозабезпеченості меліорованих земель, які використовуються в аграрному виробництві, є нагальною в тому числі і на богарних землях, для яких перспективними є такі прийоми основного обробітку ґрунту, які дають можливість здійснювати необхідне розпушення його нижнього (анаеробного) і, при цьому, мінімальний обробіток – верхнього (аеробного) шару. Тому розроблення принципово нових робочих органів ґрунтообробних знарядь такого технологічного призначення є одним із пріоритетних завдань агроінженерії.

Виходячи з актуальності питання вологозабезпечення, викликів сучасності та трендів у розвитку наявних агротехнологій, у даній монографії

представлено вирішення актуальної науково-практичної проблеми з удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами для підвищення їх вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану відповідно до сучасних змінюваних умов та вимог.

Дана монографія підготовлена досвідченими в своїй галузі науковцями кафедри водної інженерії та водних технологій, а також кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних машин та обладнання Національного університету водного господарства та природокористування, на основі узагальнення результатів власних багаторічних досліджень, які були здійсненні з 1990 по 2025 роки, а також виробничого досвіду провідних фахівців водогосподарсько-меліоративного профілю щодо природно-екологічних, режимно-технологічних, технічно-конструктивних та економічно-інвестиційних аспектів ефективного кліматично-орієнтованого агровиробництва у зоні Українського Полісся.

За результатами проведених авторами теоретичних та експериментальних досліджень у монографії здійснено оцінювання впливу змін клімату на природно-ресурсний потенціал зони Українського Полісся, проаналізовано сучасний стан наявного ресурсу осушуваних мінеральних ґрунтів та можливості застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агромеліоративного заходу щодо змінюваних кліматичних умов, обґрунтовано необхідність його удосконалення; проаналізовано структурно-ієрархічний взаємозв'язок різнорідних складових технологічного та технічного блоків меліоративної системи, як складної природно-технічної еколого-економічної системи, обґрунтовано енергетичний взаємозв'язок принципів енергоефективності та вологорегулювання у такій системі, визначено необхідні зміни в підходах до раціонального використання водних і земельних ресурсів у межах осушувальних меліоративних систем; здійснено аналітичне моделювання макроструктури розпушеного ґрунту для визначення агротехнічних показників та експериментальне дослідження енергетичної ефективності величини макроструктури розпушеного ґрунту щодо його вологоємкості; визначено характерні ознаки основних тенденцій розвитку сучасних агротехнологій та конструкцій глибокорозпушувачів, наведено технічну реалізацію вологорегулюючих та енергоощадних принципів в удосконалених технологіях та технічних засобах глибокого розпушення; встановлено передумови ефективного впливу глибокого розпушення на активний шар ґрунту, розроблено узагальнену технологічну схему удосконаленого глибокого меліоративного розпушення для ділянок з частково працюючим дренажем та для ділянок з майже непрацюючим дренажем для посушливих регіонів, а також для ділянок з переущільненими підорними шарами; обґрунтовано форму та параметри поверхні робочих органів, визначено необхідне тягове зусилля для здійснення робочого процесу розпушення ґрунту, обґрунтовано форму і визначено динамічний

опір вертикального стояка глибокорозпушувача щодо руху в ґрунтовому потоці, визначено величину критичної глибини розробки ґрунту робочими органами, проаналізовано вплив швидкості руху на енергоємність глибокої розробки ґрунту, визначено загальний тяговий опір глибокорозпушувача при різній компоновці робочих органів, наведено методiku розрахунку конструктивних параметрів глибокорозпушувача; приведено загальну характеристику об'єктів натурних досліджень, наведено методи та результати оцінювання показників агротехнічної, енергетичної, технологічної, еколого-економічної та інвестиційної ефективності різних технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення.

При цьому запропоноване в даній роботі удосконалене глибоке меліоративне розпушення, крім прямого призначення, може бути також механізмом, що сприяє зменшенню випаровування парникових газів з поверхні ґрунту за рахунок стимулювання їх накопичення та поглинання глибоко в ґрунтовому масиві, а не у верхньому шарі ґрунту, оскільки структурні макроагрегати розпушеного ґрунту діаметром 2...8 мм, які закладені в основу розрахунків, характеризуються на 51% кращим поглинаючими властивостями ніж макроагрегати ґрунту з діаметром до 2 мм, що за даними Chaplot V., Abdalla K., Alexis M., Bourennane H. та ін. дає змогу до 20% зменшити випаровування з ґрунту. Це є дуже актуальним питанням сьогодення також через ведення бойових дій, які вже завдали катастрофічної шкоди довкіллю та поглиблюють кліматичну кризу, викликаючи значні викиди вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу (за підрахунками фахівців Міндовкілля та міжнародних експертів, більше 33 млн тон викидів вуглекислого газу), а розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. №373-р схвалено «Енергетичну стратегію України на період до 2050 року», яка з поміж іншого передбачає впровадження новітніх енергоощадних технологій, що спрямовані на зменшення викидів парникових газів.

Окремої уваги заслуговує представлена розробка вологорегулюючих та енергоефективних принципів, які підвищують водну безпеку і покращують енергетичну позицію для подальшого розвитку теоретичних засад удосконалення адаптивних агро меліоративних заходів щодо сучасних змінюваних умов та вимог для підвищення вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану меліорованих ґрунтів на основі системного розгляду енергетичного взаємозв'язку між параметрами різномірних за природою структурних елементів підсистем меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи. Такий підхід сповна відображає наявні тенденції розвитку сучасної наукової методології. При цьому розглянуті технології можна розглядати і удосконалювати не просто як процеси розпушення ґрунтів, а як технології їх обробітку або розробки в цілому.

Також з позитивної сторони слід відмітити комплексність оцінювання технічної, технологічної, економічної та екологічної ефективності даних

науково-технічних розробок у їх взаємозв'язку, що повністю відповідає сучасному рівню розвитку науки взагалі.

Загалом матеріал монографії характеризується належним науковим рівнем, логічним поданням опрацьованого матеріалу, використанням сучасного інструментарію наукового дослідження, суттєвою науковою новизною, теоретичною та практичною цінністю і пов'язаний в основному з покращенням регулюванням водно-повітряного режиму осушуваних земель в змінюваних кліматичних умовах, економією водних та енергетичних ресурсів, перерозподілом водних ресурсів, водною та продовольчою безпекою, забезпеченням відповідного рівня сільського господарства та виробництва в зоні Українського Полісся.

Монографія безсумнівно зацікавить професійних читачів відповідного профілю: науковців, аспірантів, здобувачів вищої освіти, фахівців кліматично-орієнтованого сільськогосподарського виробництва, а також проектних і експлуатаційних організацій у галузі водного господарства.

*Академік Національної академії аграрних наук України,
проректор з наукової роботи Київського аграрного університету
Національної академії аграрних наук України,
доктор технічних наук, професор
Василь СТАШУК*

ВСТУП

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

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

При наявних у глобальних масштабах продовольчої, водної та енергетичної криз однією з головних проблем у водному господарстві України і меліорації земель є проблема дефіциту природного вологозабезпечення, яка виступає основним чинником, що обмежує продуктивність сільськогосподарських угідь й потенціал аграрного виробництва. Проблема дефіциту природного вологозабезпечення актуальна для більш ніж 2/3 території нашої країни і має стійку тенденцію до загострення внаслідок кліматичних змін й зменшення запасів водних ресурсів, придатних для зрошення сільськогосподарських культур.

Сучасні кліматичні зміни чинять несприятливий вплив на еколого-меліоративний стан ґрунтів та їх водно-фізичні властивості. Підвищення температури повітря, збільшення кліматичного дефіциту та посилення посушливості неминуче призводить до збільшення сумарного випаровування і, як наслідок, значного збільшення загальної водопотреби при забезпеченні необхідного рівня врожайності вирощуваних культур.

Внаслідок підвищення температурного режиму, викликаного кліматичними змінами, площа території України зі значним дефіцитом природного вологозабезпечення за останні два десятиліття збільшилась на 7%, а з надмірним та достатнім зволоженням навпаки – зменшилась на 10%. Це призводить до зниження рівня врожайності вирощуваних культур, недоотримання вирощуваної сільськогосподарської продукції та зниження ефективності використання меліорованих земель в цілому.

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

Стратегією продовольчої безпеки та Стратегією зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року визначено пріоритети у сфері продовольчої безпеки як складової національної безпеки держави, сформовано напрями і способи їх досягнення, обґрунтовано необхідність, напрямки та шляхи підвищення загальної та еколого-економічної ефективності функціонування меліорованих систем.

Для осушувальних мінеральних ґрунтів це можливо на підставі

розробки комплексу адаптивних, в тому числі, агротехнічних заходів, спрямованих на ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі в межах меліоративної системи, підвищення вологозабезпеченості ґрунтів тощо.

Одним з найбільш перспективних в цьому плані є глибоке меліоративне розпушення, яке до недавнього часу було ефективним допоміжним заходом при регулюванні водно-повітряного режиму осушуваних мінеральних ґрунтів. Його проведення направлене на інтенсифікацію переведення поверхневого стоку в ґрунтовий і, як наслідок, підвищенню навантаження на дренаж.

Але за нинішніх умов це, як правило, вже не тільки не доцільно але й шкідливо, тому пряме застосування традиційного глибокого розпушення як ефективного адаптивного заходу в змінюваних умовах стримується невідповідністю існуючих технологій і засобів змінюваним умовам, які вже не забезпечують необхідну ефективність розпушення та відповідні водно-фізичні властивості осушуваних мінеральних ґрунтів, а тому потребують внесення технологічних змін та конструктивного удосконалення.

Існуючі методи обґрунтування технологій і засобів глибокого розпушення як агро меліоративних заходів осушуваних мінеральних ґрунтів були спрямовані в основному на удосконалення окремих технічних рішень без розгляду існуючих взаємозв'язків між параметрами різномірних елементів меліоративних систем в цілому, що не відповідає сучасним економічним та екологічним вимогам, тому через надзвичайну складність явищ та процесів перетворення властивостей мінерального ґрунту в межах меліоративної системи потребують змін та переходу до системного підходу із визначення їх енергоефективності з прив'язкою до загальної ефективності меліоративної системи в цілому.

Таким чином, об'єктивною необхідністю є удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів як адаптивного агро меліоративного заходу щодо змінюваних умов та вимог за енергоефективними та вологорегулюючими принципами на основі системної методології розгляду меліоративних систем як складних природно-технічних еколого-економічних систем для підвищення вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів.

1. СУЧАСНИЙ СТАН УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ, НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ЩОДО ЗМІНЮВАНИХ УМОВ ТА ВИМОГ

1.1. Аналіз еколого-меліоративного стану осушувальних мінеральних ґрунтів щодо змінюваних умов та вимог

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

За даними Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН (ФАО), для забезпечення потреб населення землі продовольством у найближчі десятиліття його кількість необхідно збільшити щонайменше в 1,5 рази [32].

Значна кількість продукції вирощується на землях з регульованим водним режимом з використанням різних типів та конструкцій меліоративних систем, зокрема осушувальних.

Осушення – один з інженерних способів впливу на фактори перезволоження земель спрямований на усунення надлишкової зволоженості через сполучення гідротехнічних і агротехнічних заходів. Розрізняють п'ять основних методів осушення: прискорення поверхневого стоку, зниження рівнів ґрунтових вод, зниження рівнів напірних вод, перехоплення поверхневого стоку схилів, прискорення руслового стоку [87].

Основним способом осушення перезволожених ґрунтів і поліпшення їх водно-повітряного режиму є будівництво закритого дренажу. Однак при водопроникності підорних горизонтів менше 0,1–0,05 м/добу відведення надлишкової води відбувається майже виключно верхнім, більш проникним шаром ґрунту, тобто дренаж працює в режимі закритих збирачів [54; 125; 112; 171]. Тому, дренаж є необхідною, але недостатньою умовою поліпшення водного режиму перезволожених земель. Один дренаж, без проведення додаткових агро-меліоративних заходів щодо збільшення водопроникності наддренажних шарів ґрунту, часто не забезпечує підвищення родючості сільськогосподарських угідь.

На 1985 р. у світі налічувалося 164 млн га осушених земель, з яких 2% – в Україні. У таких країнах, як Англія, Німеччина, Бельгія, Нідерланди, Данія, Швеція, осушено близько 70–90% від усієї площі використовуваних земель [201].

У цілому по Україні сільськогосподарські угіддя становлять 69,2% від загальної площі земель, а рівень їх розораності – майже 54%. Це дуже високий рівень розораності, такого рівня не має жодна розвинена країна світу (США – 20%, Австралія – 10,1%, Великобританія – 35,5%) [145].

Загальна площа осушених земель в Україні складає близько 3 млн га або 7,1% в складі сільськогосподарських угідь. Одні з найбільших площ осушених

сільськогосподарських угідь з мінеральними ґрунтами знаходяться у Житомирській (425,4 тис. га), Волинській (416,6 тис. га) та Рівненській (390,4 тис. га) областях [44].

Загальна площа меліорованих земель у Житомирській області становить 425,4 тис. га з них на осушуванні сільськогосподарські угіддя припадає 353,4 тис. га. За аналізом проведеним Дубінцем В.В. на 2015–2017 рр. меліоративний стан сільськогосподарських угідь області був не задовільним на території 20541 га (6%), задовільний – 94057 га (26%) та сприятливий – 238821 га (68%), тому загальна кількість систем, що мають певні проблеми і потребують покращення технічного стану, становить 32% (відносно рівня сприятливого) (табл. 1.1). Незадовільний стан в основному формувався через високі рівні ґрунтових вод та терміни відведення поверхневих вод [44].

Таблиця 1.1

Динаміка зміни стану осушуваних земель Житомирської області, га [44]

Стан \ Рік	2005	2006	2007	2008	2009	2015
незадовільний	20151	21821	20944	21634	22510	20541
задовільний	181583	114483	139969	114207	158284	94057
сприятливий	155143	218212	193570	218639	172831	238821

Згідно аналізу даних Волинського та Рівненського обласних управлінь водного господарства, проведеного Сапсаєм Г.І. та ін., встановлено, що вже досить тривалий період 14% осушуваних земель Волинського Полісся України мають незадовільний меліоративний стан, 56% – задовільний та тільки 30% – сприятливий, тому загальна кількість систем, що мають певні проблеми і потребують покращення технічного стану, становить 70% (відносно рівня сприятливого) (табл. 1.2, 1.3) [167; 127; 128].

Таблиця 1.2

Розподіл осушуваних земель Волинської області за меліоративним станом [127]

Район	Осушувані землі, га	Осушувані землі за станом, га		
		сприятливий	задовільний	незадовільний
Володимир-Волинський	9864	4325	4940	601
Камінь-Каширський	33534	6128	18406	9000
Ківерцівський	18996	5595	12533	869
Ковельський	43922	19366	22431	2125
Локачинський	1897	615	887	395
Луцький	1137	523	563	53
Любешівський	23560	5663	12869	5023
Любомльський	28067	5930	16994	5143
Маневицький	26607	9408	16299	900
Ратнівський	39240	13581	24664	995
Рожищенський	28498	5621	18777	4100
Старовижівський	26025	8208	15563	1254
Турійський	28583	11076	15495	2012
Шацький	9951	2794	5015	2142
всього	319881	98833	186436	34612

Таблиця 1.3

Розподіл осушуваних земель Рівненської області за меліоративним станом [128]

Район	Осушувані землі, га	Осушувані землі за станом, га		
		сприятливий	задовільний	незадовільний
Березнівський	22526	4542	11765	6219
Володимирський	30613	10900	13857	5856
Гошанський	2766	1034	1535	197
Дубровицький	27046	6959	16460	3627
Зарічненський	30273	5150	16923	8200
Корецький	11318	3949	6004	1365
Костопільський	38351	6495	25503	6353
Рівненський	1874	595	975	304
Рокитнівський	6233	2825	2842	566
Сарненський	29487	12372	11635	5480
всього	200487	54821	107499	38167

На меліоративних системах, побудованих 50–60 років тому, відбулися небезпечні екологічні зміни з посиленням процесів деградації ґрунтів, відбувається зниження рівня експлуатації меліоративних систем та погіршення стану осушуваних земель, внаслідок чого їх продуктивність знизилася на 50% проти проектної [167; 201].

Оцінювання стану меліорованих земель здійснюється за меліоративними, еколого-меліоративними, екологічними та агроекологічними критеріями (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Критерії оцінки стану меліорованих земель [121, 86]

До еколого-меліоративного критерію відносяться показники водного і гідро-екологічного режиму та рівня родючості ґрунту. Поміж інших одними з основних показників агроекологічного критерію є щільність і шпаруватість ґрунту [121; 86].

До основних *водно-фізичних характеристик* ґрунтів відносять: щільність твердої фази ґрунту, пористість, водопроникність, повна вологоємність, гранична польова вологоємність, висота капілярного підняття [87; 135].

Найбільш розповсюджені значення водно-фізичних властивостей осушуваних ґрунтів приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Найбільш розповсюджені значення водно-фізичних властивостей осушуваних ґрунтів [113]

Ґрунт	Щільність твердої фази, г/см ³	Щільність ґрунту, г/см ³	Пористість, %	Найменша вологоємність, %	Висота капілярного підняття, см	Коефіцієнт фільтрації, м/добу
піщані	1,6–1,7	2,6–2,7	35–40	12–18	10–30	0,70–3,00
суглинкові	1,4–1,5	2,5–2,7	45–50	25–30	100–150	0,06–0,40
глинисті	1,5–1,8	2,6–2,8	34–45	30–35	200–300	0,005–0,03

Нормативні показники для оцінки агроекологічного стану осушених земель як сприятливого є наступними: об'ємна маса <1,2 г/см² для суглинкових ґрунтів та <1,5 г/см² для супіщаних і піщаних ґрунтів, загальна шпаруватість >55% [181; 9].

Наведені критерії є фактично нормативною базою для об'єктивної оцінки агроекологічної ситуації на осушених землях, яка вчасно інформує про необхідність запровадження профілактичних, оперативних (тактичних) та перспективних заходів щодо усунення деградаційних явищ, відтворення родючості осушених земель та їх раціонального використання [9].

Крім того, для кожної сільськогосподарської культури існує комплекс «оптимальних» значень властивостей, які гарантують максимальну врожайність. У табл. 1.5 приведені дані багаторічних досліджень щодо визначення оптимальної щільності ґрунту для різних сільгоспкультур.

Таблиця 1.5

Величина оптимальної щільності ґрунтів для різних сільськогосподарських культур [109]

Ґрунт	Сільськогосподарська культура	Щільність, т/м ³
дерново-підзолисті	овес, ячмінь, ярова пшениця, горох, кормові боби, капуста	1,1–1,3
	картопля	1,0–1,2
	льон	1,2–1,3
чорноземи опідзолені	ярова пшениця, кукурудза, ячмінь, овес, цукровий буряк	1,2–1,3
чорноземи звичайні та південні	озима пшениця	1,2–1,3
	інші зернові	1,1–1,2

В Україні одним з визначальних критеріїв модернізації існуючих меліоративних систем у прийнятій Стратегії зрошення та дренажу на період до 2030 року є також питання енергоефективності [4], що в повній мірі корелюється

з проголошеними Генеральною Асамблеєю ООН цілями щодо подвоєння до 2030 року глобального показника енергетичної ефективності [141].

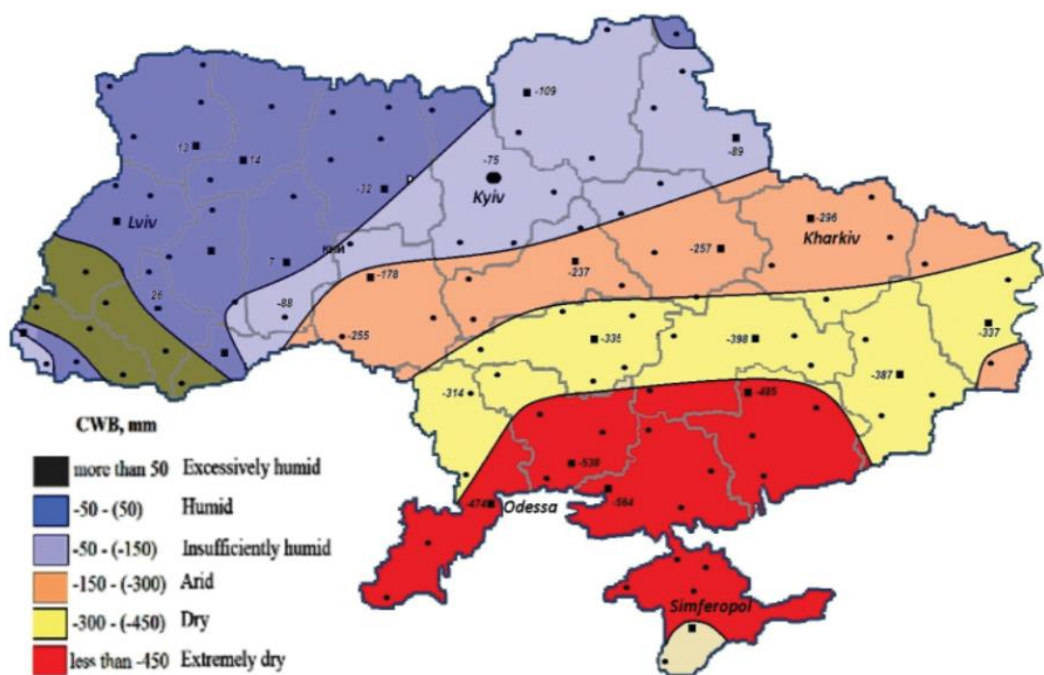
Аграрне виробництво в умовах України, в тому числі на меліорованих землях, ускладнюється наявними природно-кліматичними, ґрунтовими та ін. умовами [217; 286]. Особливо це стосується зони Західного Полісся України де переважають осушувані дерново-підзолисті, поверхнево оглеєні ґрунти, які часто мають несприятливі водно-фізичні властивості та загальний еколого-меліоративний стан, що знижує ефективність їх використання.

Урожайність основних сільськогосподарських культур на осушених землях наразі є нижчою порівняно із загальною в Україні, що свідчить про неефективне управління та нераціональне використання їх земельно-ресурсного потенціалу. При цьому ФАО зазначає, що нераціональні методи використання або сільськогосподарського обробітку ґрунтів може призвести до вивільнення ґрунтового вуглецю в атмосферу у вигляді вуглекислого газу, що є фактором зміни клімату [201]. Крім того протягом останніх 100 років використання води для сільськогосподарського виробництва постійно зростає. За даними ФАО до 2050 року прогнозується зростання об'ємів води на 6% для потреб сільського господарства [32].

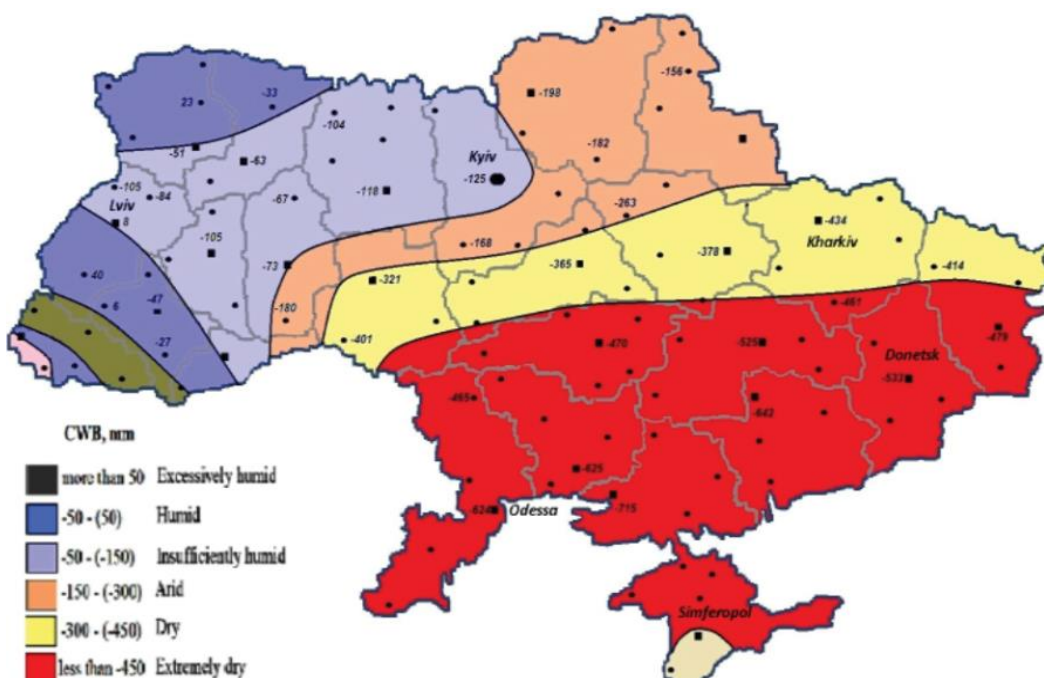
Внаслідок стійкого підвищення температурного режиму площа території України зі значним дефіцитом природного вологозабезпечення за період 1990–2015 рр. збільшилась на 7%, а з надмірним та достатнім зволоженням навпаки – зменшилась на 10%. Внаслідок таких змін існує висока імовірність на середньо-та довгострокову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

На середньострокову та довгострокову перспективи (до кінця 2100 р.) існує висока імовірність зональних змін (рис. 1.2) і очікується зростання середньорічної температури повітря порівняно із сучасною на 3,03–3,29° С з можливим збільшенням кількості опадів для всієї території України на 11%, а в північній та західній частині України навіть на 15–21%.

За висновком Міжурядової групи експертів по зміні клімату, підвищення температури повітря супроводжуватиметься зростанням дефіциту вологості повітря і лише в регіонах із достатніми ресурсами поверхневих вод може спричинити зростання фактичного сумарного випаровування і в результаті збільшення опадів. Окрім цього, більш інтенсивне випаровування над океанами призведе до збільшення опадів над ними, а над суходолом необов'язково. Тому ймовірність збільшення кількості опадів для України є вкрай низькою і ймовірність більш жорстких умов за рівнем вологозабезпечення території є досить високою [59].



a)



б)

Рис. 1.2. Середньо- та довгостроковий прогноз умов природного вологозабезпечення території України за річним кліматичним водним балансом: а) на 2050 рік; б) на 2100 рік [59]

За усталених кліматичних умов максимальна продуктивність таких земель залежала в основному від ефективності роботи дренажу шляхом переведення поверхневого стоку в ґрунтовий з подальшим його відведенням за межі осушуваної території. Підвищення температури повітря, збільшення кліматичного дефіциту та посилення посушливості в регіоні неминуче призводить до збільшення сумарного випаровування та загальної водопотреби при вирощуванні сільськогосподарських культур, в тому числі і на землях з регульованим водним режимом (осушувані землі).

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

1.2. Погодно-кліматичні умови зони осушення Українського Полісся

Кліматичні умови зони осушення України з достатньою репрезентативністю характеризуються за даними метеорологічних станцій м. Рівне та м. Сарни Рівненської області. Рівнинний характер рельєфу і незначний ухил поверхні зумовлюють повільну течію у річках і недостатню дренацію, що спричиняє надмірне зволоження і заболочення території [113, 271].

Клімат району помірно-континентальний з теплим вологим літом і порівняно м'якою зимою. Основними кліматоутворюючими факторами є сонячна радіація, що особливо ефективна в теплий період року, атмосферна циркуляція, що переважає в холодний період, і характер земної поверхні. Великий вплив на клімат регіону мають континентальні повітряні маси, що формуються над рівнинами Євразії, а також океанічні повітряні маси з Атлантичного океану і арктичних морів.

Середня температура повітря становить 6,6–6,8° С. Пересічна температура січня від –4,8 до –5,6° С, липня +18,1–+18,6° С (табл. 1.6). Середньорічна кількість опадів досягає 600–700 мм. Вегетаційний період починається з квітня і триває по листопад.

Таблиця 1.6

Температура повітря упродовж року, °С													
Показник \ Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
температура повітря, °С	-5,4	-4,4	0,0	6,9	13,5	16,9	18,5	17,5	13,0	7,4	1,8	-2,6	6,9

Тривалість безморозного періоду ($t > 0^{\circ}\text{C}$) – 255 днів, з температурою $t > 5^{\circ}\text{C}$ – 205 днів, з температурою $t > 10^{\circ}\text{C}$ – 160 днів.

Середня глибина промерзання ґрунту складає 0,58 см, максимальна – 102 см. Середня висота снігового покриву складає 14 см, максимальна – 51 см.

Відносна вологість повітря та дефіцити вологості наведені в табл. 1.7.

Таблиця 1.7

Середні місячні та річні показники вологості повітря

Показник \ Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
відносна вологість повітря, %	86	86	82	74	70	71	73	75	77	82	88	89	79
дефіцит вологості, гПа	0,7	0,6	1,2	3,3	5,6	6,6	6,7	6,7	4,2	2,1	0,9	0,6	3,2

Вітровий режим зумовлюється головним чином атмосферою циркуляцією і характером підстилаючої поверхні. У холодну пору року переважають південно-східні, південні, південно-західні та західні вітри. Навесні здебільшого панують вітри південно-східного та північно-західного напрямків. В літню пору у зв'язку з посиленням фронтальної діяльності на заході, домінують вітри західних та північно-західних напрямків, які восени поступаються спочатку південним та західним вітрам, а з другої половини осені починають переважати вітри з південного сходу (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Середня місячна річна швидкість вітру, м/с

Метеостанція \ Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Рівне	5,8	6,1	5,7	4,9	4,3	4,0	3,8	3,7	3,9	4,5	5,5	5,5	4,8

Кліматоутворюючу роль сонячної радіації можна охарактеризувати показниками сумарної і відбитої радіації. В середньому за рік на поверхню у Рівненщині надходить 3,89 МДж/м². Співставлення надходження і втрати сонячної радіації за певний проміжок часу визначає величину радіаційного балансу. Рівненщина має позитивний річний радіаційний баланс, що становить 1,43–1,6 МДж/м².

На рис. 1.3 зображено графік надходження сонячної радіації на Рівненщині впродовж року.

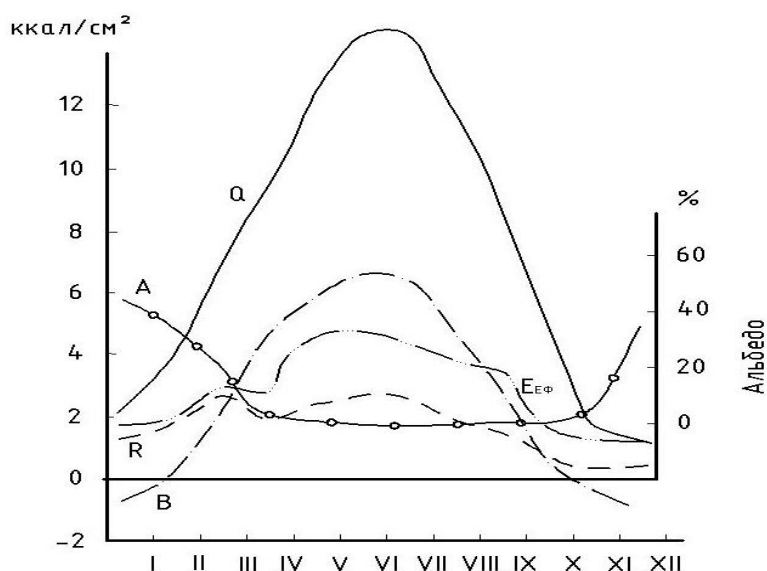


Рис. 1.3. Сонячна радіація на Рівненщині: R – сумарна радіація, Q – відбита радіація, $E_{\text{эф}}$ – ефективне випромінювання, B – радіаційний баланс, A – альбедо

Середня місячна та річна кількість опадів за багаторічний період наведена в табл. 1.9, а кількість опадів 50 і 75% забезпеченості в табл. 1.10.

Таблиця 1.9

Середня кількість опадів за багаторічний період, мм

Місяць \ Вид опадів	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
рідкі	7	12	21	33	56	72	83	77	52	38	28	9	488
тверді	31	25	14	2	–	–	–	–	–	2	10	19	103
мішані	12	15	11	6	2	–	–	–	1	10	14	21	92
разом	50	52	46	41	58	72	83	77	53	50	52	49	683

Таблиця 1.10

Середня кількість опадів 50 і 75 % забезпеченості, мм

Місяць \ Опади	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
50% забезпеченості	46	38	20	30	49	72	126	59	30	8	38	33	549
75% забезпеченості	26	16	22	9	89	70	90	28	43	40	18	29	480

Середня річна кількість опадів на території області за багаторічний період спостережень змінювалась у межах 600–700 мм. Основна маса опадів випадає протягом теплого періоду року (у квітні – жовтні до 425–475 мм) з чітко виявленим максимумом у липні (80–95 мм). Найменша кількість опадів спостерігається протягом березня (30 мм).

1.3. Зміна клімату та її можливий вплив на природно-ресурсний потенціал зони осушення Українського Полісся

Зміна клімату – це, насамперед, глобальна екологічна проблема. Сьогодні клімат на планеті змінюється і стає дедалі непередбачуванішим. Якщо в найближчі роки сучасні тенденції не зміняться, то до кінця століття глобальна температура сягне найвищої відзначки, після якої призупинити зміну клімату чи спрогнозувати масштаби наслідків буде неможливо.

За даними експертів ООН, впродовж останніх 50-ти років кількість погодних катаклізмів збільшується щороку.

За останні сто років концентрація вуглекислого газу збільшилася на 40%, досягнувши найвищого рівня за останні 650 тис. років. Концентрація метану (CH₄) в атмосфері збільшилася у 2,4 рази, глобальні концентрації закису азоту (N₂O) збільшилися на 20% порівняно з доіндустріальним періодом.

За останнім звітом Міжнародної групи вчених із зміни клімату IPCC:

- 11 з останніх 20 років були зафіксовані як найтепліші з початку ведення спостережень за температурним режимом з 1850 р.;

- рівень світового океану з 1961 р. у середньому зростає на 1,8 мм (1,3–2,3 мм) щорічно. Протягом XX ст. рівень світового океану сукупно підвищився на 0,17 м;

- супутникові дані свідчать, що арктичні льодовики тануть зі швидкістю 2,7% у десятиріччя з таненням улітку до 7,4%;

- зафіксовано посилення та тривалість посух у районах тропіків та субтропіків і це є бідою для населення, що там проживає;

- зафіксовано зростання кількості та інтенсивності повеней, що спричиняються більшим випаровуванням.

У лютому 2007 року 2500 вчених Міжурядової групи експертів зі зміни клімату впевнено заявили, що зміна клімату відбувається швидкими темпами й, імовірно, пов'язана також із негативним впливом від діяльності людини. Якщо не вживати заходів зі зниження парникових газів сьогодні, то ми можемо безповоротно втратити час, необхідний для того, щоб відвернути глобальну катастрофу.

За оцінками Чиказького університету, стихійні лиха останнього десятиріччя XX ст. завдали шкоди 2 млрд людей – це третина всього людства. У 90-ті роки було відзначено 84 великих природних катаклізми, що у 8 разів перевищує їхню кількість, зафіксовану впродовж 60-х років. Комісія ООН зі зміни клімату констатує, що середня арктична температура за минулі 100 років збільшилася вдвічі порівняно з загальною середньою нормою.

Геологічні спостереження показали, що протягом попередніх 2000 років темпи підвищення рівня моря були значно меншими. Середня температура світового океану підвищилася до глибини як мінімум 3000 м.

Зараз практично не порушено питання про те, що відбувається з глобальним кліматом протягом останніх 30 років – достовірно встановлено,

що середня температура повітря біля поверхні землі дійсно підвищується практично у всіх регіонах світу. Тому, в атмосфері відбувається перебудова глобальних процесів переносу тепла та вологи на всіх континентах, що характеризується різким збільшенням природних катаклізмів – посух та паводків, тайфунів та смерчів, градів, суховіїв.

Взагалі, на території України у XX ст. простежувалась загальна тенденція до підвищення температури повітря та збільшення кількості атмосферних опадів: так річна температура підвищилась на $0,3\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$, а опади – на $50\text{--}100\text{ мм}$. За даними Національного аграрного університету, істотно (у 1,5 раза) збільшилась і частота значних аномалій обох показників. Зроста також внутрішньосезонна їхня мінливість. Почали спостерігатись різкі перепади температури взимку та навесні від аномально високих до низьких. Інколи відбуваються різкі перепади температури повітря – до $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$ за добу. Невдовзі прогнозують аномально холодні зими з різкими перепадами температур та браком снігового покриву. За всіма сценаріями, буде збільшуватись і кількість опадів. В окремі сезони це збільшення може перевищувати наявний рівень на 20%.

При цьому зимовий сезон буде характеризуватись високим стоком води снігодошового походження з листопада по квітень з максимумом у березні, а в літній сезон (травень–жовтень) буде стійка межень з мінімумом у липні–серпні. Такий водний режим річок може виникнути лише за умови значного підвищення температури повітря. Внаслідок цього протягом холодного періоду року не буде стійкого снігового покриву, вологість ґрунтів буде близькою або перевищуватиме капілярну вологовміст, спостерігатимуться часті паводки снігодошового походження.

У теплий період року, внаслідок різкого зростання температури повітря, більша частина опадів буде витрачатись на випаровування, а живлення річок буде здійснюватися завдяки підземному стоку. Катастрофічним для України може бути спричинене глобальним потеплінням переміщення у помірні широти північної периферії поясу субтропічних циклонів, оскільки це може призвести до незворотного процесу опустелювання південних регіонів країни. Основною особливістю періоду потепління є постійна нерівномірність випадання опадів у середині року і в окремі роки. Нерівномірність опадів призвела до численних посушливих явищ. За період 1989–2020 рр. повторюваність посух збільшилася майже вдвічі. Окрім цього, останніми роками відзначалася дуже небезпечна особливість посух – їхнє поширення в райони, які завжди належали до зони достатнього зволоження – Полісся і північні райони Лісостепу.

Для того, щоб охарактеризувати можливі зміни клімату в Україні протягом століття, звернемось до результатів праці [161], у якій дуже важлива роль відведена вибору та відпрацюванню можливих сценаріїв змін клімату в Україні на основі його моделювання. У цьому дослідженні розглянуто шість різних моделей можливих сценаріїв змін клімату, чотири з яких («GISS» – модель

Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння CO_2 – $4,2^\circ \text{C}$, «GFDL» – модель Лабораторій геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO_2 – 4°C , «CCSM» – модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 – 4°C , «UKMO» – модель Метеорологічного бюро об'єднаного королівства, чутливість до подвоєння CO_2 – 6°C) характеризують так званий стан рівноваги, тобто зміни клімату, які відбуватимуться внаслідок раптового подвоєння концентрації CO_2 в атмосфері після завершення періоду термічної релаксації земної кліматичної системи, а дві інші («GFDL» – модель Лабораторій геофізичної гідродинаміки США і «MPI» – модель Інституту Макса Планка, Німеччина) – зміни клімату для умов перехідного (нестационарного) стану (під час поступового підвищення концентрації CO_2 – на 1% в рік). При цьому моделювання для умов перехідного стану, за оцінками фахівців, є більш реалістичним, оскільки воно дає можливість простежити інерцію кліматичної системи, тобто природне відставання і реакції від зміни парникових газів в атмосфері.

Згідно з результатами моделювання за умови подвоєння CO_2 в атмосфері, прогнозують підвищення температури повітря в усі сезони року. При цьому за сценаріями, побудованими на основі моделей «CCSM» та «GISS», температура повітря зросте найістотніше взимку, а за сценаріями «GFDL» та «UKMO» – навесні, але тільки за останнім сценарієм потепління в Україні чітко підсилюватиметься в напрямку з півдня на північ.

Отже, і на глобальному, і на регіональному рівнях зміни клімату стали незаперечним фактом, наявність якого порушила перед людством проблему розв'язання багатьох надзвичайно важливих і складних завдань, пов'язаних з розробленням і реалізацією стратегії свого практичного існування та пристосування до нових кліматичних умов.

Клімат відіграє визначальну роль у формуванні агроекологічних умов ведення сільськогосподарського виробництва. Одне з найважливіших завдань, яке покладається в його вивчення, є необхідність знань, які саме сільськогосподарські рослини вигідно вирощувати в тій чи іншій місцевості, як клімат впливає на ґрунти, на яких вирощуються ці рослини, які методи краще застосувати під час їхнього вирощування.

Клімату належала і належить роль як одному з провідних чинників ґрунтоутворення, вегетації і врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур. У Рівненській і Волинській областях на дерново-опідзолені та сірі лісові ґрунти припадає близько 45% (від загальної площі ґрунтового покриву); на дерново-піщані (супіщані) оглеєні і глеєві – 14% ; торфоболотні і торфовища – 15% ; на чорноземі і близькі до них ґрунти – близько 8% .

Сонячна енергія, увібрана ґрунтом, витрачається на такі процеси, як нагрівання, випаровування, транспірацію, фотосинтез, синтез гумусу тощо. Величина активних температур використовується для агрономічного і ґрунтового оцінювання територіального термічного режиму. Для трав'яної рослинності активними є температури вище $+4-5^\circ \text{C}$, для лісової – вище $+10^\circ \text{C}$.

Підвищення середньорічної температури, величини радіаційного балансу і суми активних температур за рік призводить до збільшення інтенсивності вивітрювання, синтезу органічної маси, активізації життєдіяльності тварин і мікроорганізмів, підвищення інтенсивності ґрунтоутворювальних процесів: руйнування мінералів, розкладання органічних решток, синтезу гумусних кислот тощо. За високих середньорічних температур утворюється більше глинистих часток як продукту інтенсивного вивітрювання.

Температура ґрунту впливає на швидкість хімічних реакцій. Згідно з правилом Вант-Гоффа, у разі підвищення температури на 10°C швидкість хімічних реакцій збільшується у 2–3 рази. Тому в районах з високою середньорічною температурою геохімічні процеси відбуваються значно швидше, ніж у широтах з холодним кліматом. Це зумовлює річну швидкість вивітрювання, формування різних кір вивітрювання і, як наслідок, різноманітний хімічний склад ґрунтів. Окрім цього, від температури залежить ступінь дисоціації хімічних сполук у водних розчинах. У разі підвищення температури від 0 до 50°C дисоціація збільшується у 8 разів.

Одним з елементарних процесів ґрунтоутворення є випаровування ґрунтової вологи, який залежить від температури. Випаровування зумовлює підвищення концентрації ґрунтового розчину і випадання солей в осад, що спричинює утворення вторинних мінералів і соленагромадження в ґрунтах.

Окрім цього, температура впливає на розчинення газів у ґрунтовому розчині, на швидкість коагуляції і пептизації та інші фізико-хімічні процеси.

Негативно вплине на родючість ґрунту збільшення кількості опадів через посилене вимивання поживних (мінеральних та органічних) речовин із ґрунту. Найбільше постраждають від цього регіони з достатнім і надлишковим зволоженням його, а саме: у північних районах України. Розрахунки показують, що збільшення опадів на 30% призведе до зниження родючості ґрунту на цій території на 20% і більше. Для відновлення його потрібно вносити значну кількість добрив.

Вагомих змін внаслідок потепління зазнає і лісове господарство України. За умови реалізації сценарію «СССМ», кліматичні умови, які визначають зональні типи лісової рослинності, змістяться до сухіших та тепліших типів. В Україні може з'явитися зона помірного теплого сухого лісу, характерна для центральних штатів США. У степовій зоні будуть формуватися умови, характерні для степу Іспанії, а у степовій частині Криму умови трансформуються до субтропічних і, відповідно, з'явиться субтропічне колюче рідколісся. Зона помірного теплого сухого лісу займе територію сьогоденної лісостепової зони і частково лісову зону.

Продуктивність лісу по всій території значно зменшиться – приблизно на $0,5\text{ м}^3/\text{га}$, зате почастишають інвазії шкідників і грибних епіфітотій.

Підвищений температурний режим збільшить імовірність лісових пожеж і скорочення площ лісу, що негативно вплине на довкілля, адже ліси є

поглиначами парникових газів. Громадська думка в Україні за останні роки трансформується в напрямі розуміння того, що сировинні функції лісу в Україні за суспільним значенням істотно поступаються середовиществорюючим. Разом з цим в Україні змінюється нормативна база в напрямі зміни пріоритетів ведення лісового господарства. Так, Лісовим кодексом України, прийнятим у 1994 р., визначається, що «ліси в Україні є головним засобом підтримки сприятливих для життя людей умов довкілля. Вони мають обмежене експлуатаційне значення та виконують не стільки сировинні, скільки середовиществорюючі та середовищезахисні функції: водоохоронні санітарно-гігієнічні, оздоровчі, рекреаційні, естетичні, виховальні та інші».

Найуразливішими, за сценарієм на основі «СССМ», є функції лісів щодо забезпечення рекреації, збереження біорізноманіття та соціального захисту населення, пов'язаного з лісопромисловим комплексом, які знизяться відповідно на 62, 60 та 56% порівняно з сучасним станом. Найменш вразливими у разі реалізації сценарію «СССМ» є можливість переводу сільськогосподарських земель в лісокористування у забруднених зонах, яка може покращитись порівняно з сучасним станом більш ніж на 40%, а також функції лісів із забезпечення лісопромислового комплексу та внеску в глобальний круговорот вуглецю, які знизяться відповідно на 11 та 15% порівняно з сучасним станом.

Розгляд можливих напрямів адаптації лісового сектору до глобальних змін клімату показує, що основними шляхами зниження шкоди від зміни кліматичних умов можуть бути зниження значимості для суспільства найуразливіших функцій лісового сектору (екзогенний підхід) та вживання заходів щодо зниження шкоди, яку може бути завдано безпосередньо лісам (ендогенний підхід). Для періоду адаптації лісових екосистем до зміни клімату, яка передбачається найбільш «сприятливим» сценарієм, ефективними будуть дві такі стратегії:

1. Зниження значимості функцій лісів з охорони атмосфери та забезпечення сприятливих умов для сільського господарства та інших галузей промисловості у сполученні з ендогенними заходами з компенсації змін запасу, площі, приросту, біомаси, вікової структури та різноманіття порідного складу лісів, доступності лісів для цілей рекреації населення, пожежної безпеки в лісах, забруднених радіонуклідами, збереження історично складених типів лісу, корінних видів лісоутворюючих порід, захисних насаджень та полезахисних смуг.

2. Зниження значимості функцій лісів із продукування деревини, охорони атмосфери та забезпечення сприятливих умов для сільського господарства, індустрії відпочинку та інших галузей промисловості у сполученні з ендогенними заходами щодо компенсації змін площі, вікової структури та різноманіття порідного складу лісів.

На сьогодні в Україні близько 1 млн га осушених внаслідок меліорації торфовищ, основна частина яких знаходиться у правобережному Поліссі в

межах Київської, Волинської, Рівненської та Житомирської областей. Торфові болота, як одні з найуразливіших водно-болотних угідь, сьогодні перебувають під загрозою деградації в глобальних масштабах. Упродовж кількох століть торфові ґрунти інтенсивно використовували як енергетичні паливні ресурси, а також як збагачувальні добрива у сільському господарстві. В особливо посушливі роки у весняно-літні місяці затяжні пожежі на торфовищах Полісся тривають упродовж кількох тижнів, а то й понад місяць. За останні десять років у квітні й травні тривалі пожежі зареєстровано щорічно, що призвело до локального екологічного лиха. Значна частина земель колишніх «Великих боліт», особливо в межах Чайковецького заказника, перетворилися у торф'яні пустелі та пустирі з надмірно високою рослинністю.

Торф'яні пожежі щороку завдають державі значних матеріальних збитків, порушують екологічну рівновагу довкілля, завдаючи незворотних наслідків, шкодячи здоров'ю людей, а іноді – призводять до їхньої загибелі. Особливістю торф'яних пожеж є захоплення великих площ, висока стійкість горіння і величезна кількість диму, що утворюється. На Волині цього літа горіло понад 150 га торф'яників. Для запобігання цих явищ надзвичайно важливим є підтримання необхідної глибини залягання ґрунтових вод, аби не допустити пересушування торфу.

Найвідчутнішим виявиться вплив потепління на ті галузі економіки, які істотно залежать від впливу кліматичних чинників, зокрема – сільське господарство, лісове господарство тощо. Відповідно до кліматичних сценаріїв, через 20–30 років теплозабезпечення сільгоспкультур у північній половині країни може досягти або перевищити сучасний рівень теплозабезпечення півдня країни. Сума температур дасть змогу без обмежень висівати кукурудзу на зерно середньостиглих і пізніх сортів у північних районах країни, вирощувати соняшник пізніх сортів.

Глобальне потепління в Україні в найближчі 10 років матиме як позитивний, так і негативний вплив на сільське господарство. При цьому баланс цих впливів буде різним у різних агрокліматичних зонах. Продовження вегетаційного періоду буде сприятливим для сільського господарства північної половини країни, для південної, навпаки, зумовить збільшення посух. За даними Інституту землеробства, якщо раніше оптимальним терміном початку сівби озимих вважалося 25 серпня, то за нинішніх кліматичних змін ця дата змістилася на 10 вересня.

Агрокліматичні ресурси можуть збільшитися й істотно підвищити ефективність сільського господарства, імовірно значне збільшення можливостей аграрного сектору економіки України, яка може стати врівень з найбільшими світовими виробниками зерна. Реалізація цього можлива у випадку підйому і кардинальної адаптації сільського господарства до кліматичних умов, синхронізованим з темпами зміни клімату, тобто необхідна оптимізація природно-меліоративних умов за допомогою спеціально розроблених меліоративних заходів. В іншому випадку,

потепління клімату може призвести до падіння середнього рівня врожаю і нестабільності сільськогосподарського виробництва.

За незмінних умов зволоження під час глобального потеплення найбільш можливе падіння врожайності ярих культур (яровий ячмінь, пшениця, кукурудза) через скорочення їхнього вегетаційного періоду внаслідок раннього дозрівання. Для запобігання цьому потрібне запровадження пізніших сортів. Тому, насамперед необхідно вжити заходів із мінімізації цих наслідків. Отже, оцінимо зміни погодно-кліматичних умов через глобальне потепління та їхній вплив на загальний природно-меліоративний режим на регіональному рівні, тобто виявимо загальні тенденції та характер зв'язку у системі:

погодно-кліматичні умови → природно-меліоративний режим

та можливі їхні зміни в умовах глобального потепління на прикладі зони Західного Полісся України.

У цьому регіоні рівнинний характер рельєфу і незначний ухил поверхні зумовлюють повільну течію у річках і недостатню дренацію поверхневих та підземних вод, що спричиняє надмірне зволоження і заболочення території.

Сучасний клімат регіону помірно континентальний з теплим вологим літом і порівняно м'якою зимою. Основними кліматоутворюючими чинниками є сонячна радіація, що особливо ефективна в теплий період року, атмосферна циркуляція, що переважає в холодний період, і характер земної поверхні. Великий вплив на клімат регіону мають континентальні повітряні маси, що формуються над рівнинами Євразії, а також океанічні повітряні маси з Атлантичного океану і арктичних морів.

Середня температура повітря становить 6,6–6,8° С. Найтеплішим місяцем є липень: +18,5° С, найхолоднішим січень: мінус 4,4–5,6° С. Середньорічна кількість опадів досягає 600–700 мм. Вегетаційний період починається з квітня і триває по листопад.

Сучасний стан (виступає як база порівняння) та можливі зміни кліматичних умов під час глобального потепління у регіоні здійснювалися на прикладі реалізації методики з їх прогнозованої оцінки на метеостанції Сарни. Для цього використано моделі прогнозованої оцінки на довготерміновій основі нормованого розподілу в багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізах основних метеорологічних характеристик за методами, інформаційним та програмним забезпеченням з їх реалізації на ПЕОМ, розробленими на кафедрі водної інженерії та водних технологій НУВГП [114], а також прогнозовано зміни основних метеорологічних чинників в умовах глобального потепління по природно-кліматичних зонах України, визначеними за моделями «СССМ» і «УКМО» [10; 161].

Прогноз здійснено для п'яти типових груп періодів вегетації (квітень – жовтень) 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, опади, відносна вологість, випаровуваність, фотосинтетичноактивна радіація (ФАР).

Можливі зміни основних характеристик погодно-кліматичних умов для Західного Полісся України визначено за розробленою схемою дослідження з температури, опадів, відносної вологості, випаровуваності, ФАР за середньобагаторічними нормами та у межах розрахункових років, наведено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Оцінка відносних змін (%) основних метеорологічних характеристик за розрахунковими роками (за двома моделями) порівняно з базовими

Показник, модель		Рік розрахункової забезпеченості				
		10 %	30 %	50 %	70 %	90 %
температура повітря, °С	«CCCM»	+22,7	+23,9	+25,2	+25,9	+27,6
	«UKMO»	+33,5	+34,7	+36,0	+36,6	+38,3
опади, мм	«CCCM»	+9,4	+5,4	+1,7	-1,9	-5,1
	«UKMO»	+17,0	+12,1	+7,5	+3,2	-0,8
відносна вологість, %	«CCCM»	+5,2	+1,5	-3,0	-9,1	-17,2
	«UKMO»	+6,3	+3,3	-0,3	-5,1	-11,5
випаровуваність, мм	«CCCM»	+1,23	+31,1	+38,8	+62,4	+97,7
	«UKMO»	+1,48	+23,46	+32,7	+64,4	+98,1
ФАР, кДж/см ²	«CCCM»	+4,3	+9,3	+14,5	+19,3	+25,2
	«UKMO»	+8,4	+14,4	+20,7	+26,5	+33,6

Отримані дані переконливо свідчать про значні зміни кліматичних умов досліджуваного регіону, які змінюються до рівня, за узагальненими характеристиками наближеними до умов субтропічної підзони південного узбережжя Криму (зокрема метеостанції Ялта). Такі різкі зміни в межах відносно короткого прогнозованого терміну (35–50 років), безсумнівно, не будуть позитивно впливати на екологічний стан довкілля у цьому регіоні.

Статистичний аналіз наявних метеоданих Рівненського обласного центру з гідрометеорології за період з 1945 по 2007 рр. на метеостанціях Рівне, Дубно, Сарни, які розташовані в межах Рівненської області, показав, що на території розміщення цих станцій зафіксовано поступове підвищення температури атмосферного повітря. Так, середнє за рік багаторічне значення цього метеопараметра за період з 1976 по 2007 рр. зросло на 0,35–0,45° С порівняно з базовим періодом (1945–1975 рр.), а за період з 1985 по 2007 рр. – на 0,65–0,75° С порівняно з тим же базовим періодом. Осереднене всередині року за певні періоди багаторічне значення температури атмосферного повітря зросло порізно. Найбільше зросла середня температура за холодний період (X–IV місяці). Наприклад, осереднене багаторічне значення цього метеопараметра за період з 1976 по 2007 рр. зросло на 0,70–0,75° С порівняно з базовим періодом, а за період з 1985 по 2007 рр. – до 1,0° С порівняно з тим же базовим періодом. Середня температура за теплий період (V–IX місяці) зросла менше. Середнє багаторічне значення температури атмосферного повітря за період з 1976 по 2007 рр. зросло до 0,30° С порівняно з базовим періодом (1945–1975 рр.).

За М. Ф. Реймерсом, в екології існує «правило десяти відсотків», згідно з яким можна розглянути й оцінити ступінь антропогенного навантаження на природні системи. Магічне число 10% – число наближене, воно виникає із співвідношення можливості споживання енергії і «потужностей», що необхідні для стабілізації середовища.

Емпірично визначений поріг споживання 5–10% від суми речовини або енергії, що призводить з переходом через нього до помітних незворотніх змін у природних системах, є досить визнаним. Він прийнятий, головним чином, на емпірико-інтуїтивному рівні без розрізнення форм та характеру управління в цих системах і розглядається зараз як апріорі. Отже, за розглянутим правилом, для врівноважених природних систем перевищення у середньому 10% порогу («норми») споживання потоку енергії або зміни її стану призводить до виходу цих систем із стаціонарного стану з можливими, надалі, незворотніми негативними наслідками.

Оскільки є всі об'єктивні підстави розглядати погодно-кліматичні умови разом із довкіллям та біотою як відповідні підсистеми у складі природно-екологічної системи як системи вищого рівня, то отримані результати щодо зміни основних кліматичних характеристик для зони Західного Полісся України, насамперед для температури як визначального чинника глобального потепління, а також ФАР як її похідної, які значно перевищують 10% критичний екологічний поріг («норму»), тому такі зміни погодно-кліматичних умов загалом призведуть до адекватних змін («порушень») в екологічному стані довкілля.

Таким чином, у разі зміни клімату через глобальне потепління слід очікувати погіршення екологічних умов загалом, які у комплексі негативно відіб'ються насамперед на функціонуванні водного, лісового, сільського господарства та еколого-меліоративному режимі регіону з усіма витікаючими наслідками і потребує розроблення відповідних адаптивних заходів.

На думку вчених [10; 161], якщо збережеться тенденція до глобального потепління, це призведе до змін у погоді, потепління порушить усталене функціонування екологічних систем, відіб'ється на природних ресурсах, санітарних й інших умовах життя людей, зачепить інші елементи життєдіяльності і може стати причиною соціальних і економічних потрясінь.

Таким чином, виконані дослідження та отримані за ними результати переконливо свідчать про те, що і на глобальному, і на регіональному рівнях:

- зміна клімату є незаперечним фактом в умовах глобального потепління;
- ці зміни впливають негативно на екологічний стан довкілля і населення;
- все це визначає необхідність подальшого розроблення адаптивних заходів через відповідні комплексні наукові дослідження зміни погодно-кліматичних умов та їхнього впливу на всі складові компоненти загального еколого-економічного ресурсу регіону за відповідними галузевими, державними та міждержавними програмами.

Як переконливо свідчать багаточисленні результати досліджень, сьогодні людство стикнулося із новою проблемою – проблемою глобальної зміни клімату [10; 161].

Україна також належить до числа регіонів планети, де глобальні зміни клімату є відчутними. В XX столітті на території України зафіксовано 43 посушливих роки, в тому числі 7 з них в останні 15 років минулого століття. На території України у XX ст. простежувалася загальна тенденція до підвищення температури повітря та збільшення кількості атмосферних опадів: Так, за період 1900–1995 рр. річна температура збільшилась на 0,3–0,7° С, а опади – на 50–100 мм. На думку авторів, істотно (в 1,5 рази) збільшилась і частота значних аномалій обох показників. Зросла також внутрішньосезонна їх мінливість.

Зміна клімату, яка спостерігається сьогодні та прогнозується в майбутньому, може мати значні природні, економічні і соціальні наслідки, особливо при посиленні частоти та інтенсивності небезпечних гідрометеорологічних явищ. Тому вже зараз виникає необхідність з визначення наслідків прогнозованих глобальних змін клімату та прийняття відповідних адаптаційних рішень щодо цих змін та пом'якшення цих наслідків [22; 35].

Зважаючи на ті зміни погодно-кліматичних умов, сьогодні дуже важлива роль відводиться прогнозуванню можливих змін клімату в майбутньому як на глобальному, так і регіональному рівні. За численними гідрометеорологічними ознаками і показниками вітчизняні фахівці-кліматологи приходять до висновку, що в Україні за останні 10–25 років також формується новий клімат [10].

Потепління порушить усталене функціонування екосистем, відіб'ється на природних ресурсах, санітарному та інших умовах життя людей, зачепить інші елементи життєдіяльності. Значно зросте ерозія ґрунту, почастишають зсуви земель, затоплення прибережних смуг, збільшиться кількість перезволожених земель.

У складних природно-технічних системах, до яких відносяться і гідромеліоративні системи (ГМС) на осушуваних землях, 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 внутрішньовеgetаційному перерізі [113; 114; 157].

Для осушуваних територій з близьким заляганням ґрунтових вод, на яких розміщені осушувальні системи України, погодно-кліматичні умови безпосередньо приймають участь у формуванні водного режиму ґрунтів і ґрунтових вод, визначаючи напрямок перебігу ґрунтових процесів як у природному стані, так і в окремі технологічні періоди вирощування сільськогосподарських культур.

У зв'язку з цим, прогнозування погодно-кліматичних умов є невід'ємною умовою реалізації оцінки загальної ефективності функціонування ГМС.

Крім того, у проектах їх будівництва, реконструкції і оптимізації в зоні осушувальних меліорацій вирішення завдання щодо підвищення загальної ефективності функціонування діючих ГМС, як складних природно-технічних еколого-економічних систем, та розробки стратегії їх подальшого розвитку на найближчу та віддалену перспективу потребує виконання відповідних прогностичних режимних розрахунків за такими визначеними часовими періодами: **ретроспективний** та **сучасний**, які відповідно відображають ефективність функціонування ГМС з моменту введення їх в експлуатацію і дотепер; **прогнозований** – характеризує найближчу (*прогнозований сучасний*) та віддалену (*прогнозований майбутній*) перспективу з урахуванням наявних та можливих змін клімату.

Для вирішення поставленого завдання був спланований та здійснений широкомасштабний машинний експеримент на ПЕОМ за багаторічними ретроспективними та сучасними даними спостережень у зоні Житомирського Полісся. При цьому використані моделі прогностичної оцінки на довготерміновій основі нормованого розподілу у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізі основних метеорологічних характеристик за методами, інформаційним та програмним забезпеченням з їх реалізації на ПЕОМ, розробленими на кафедрі водної інженерії та водних технологій НУВГП [113; 114; 190; 124].

Були сплановані та реалізовані такі варіанти дослідження:

- *варіант 1* – «*Base*»: характеристика основних метеофакторів за період вегетації (IV–X місяці), отриманих за багаторічними ретроспективними даними (1891–1964 рр.) [123];

- *варіант 2* – «*Transitional*»: нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподілу за період вегетації ;

- *варіант 3* – «*Recent*»: динаміка та нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації отримані в сучасних умовах за 1991–2021 рр.;

- *варіант 4а* – «*CCSM*» та *варіант 4б* – «*UKMO*»: нормовані середньобагаторічні значення величин основних метеофакторів та їх розподіл за період вегетації, отриманих з урахуванням наявних та можливих змін клімату, згідно рекомендацій [161], за моделями Канадського кліматологічного центру «*CCSM*» – як більш сприятливий прогноз, та Метеорологічного бюро Об'єднаного королівства «*UKMO*» – як менш сприятливий прогноз, що передбачають підвищення середньорічної температури повітря відповідно на 4°C та 6° С – при подвоєнні вмісту CO₂ в атмосфері.

Доцільність застосування моделей «*CCSM*» та «*UKMO*» 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 використаними моделями прогностичної оцінки нормованого розподілу основних метеорологічних характеристик у багаторічному та внутрішньовегетаційному перерізах.

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 та дефіцит вологості повітря, ФАР, коефіцієнт вологозабезпеченості (відношення суми опадів до сумарного випаровування) за схемою на рис. 1.4.

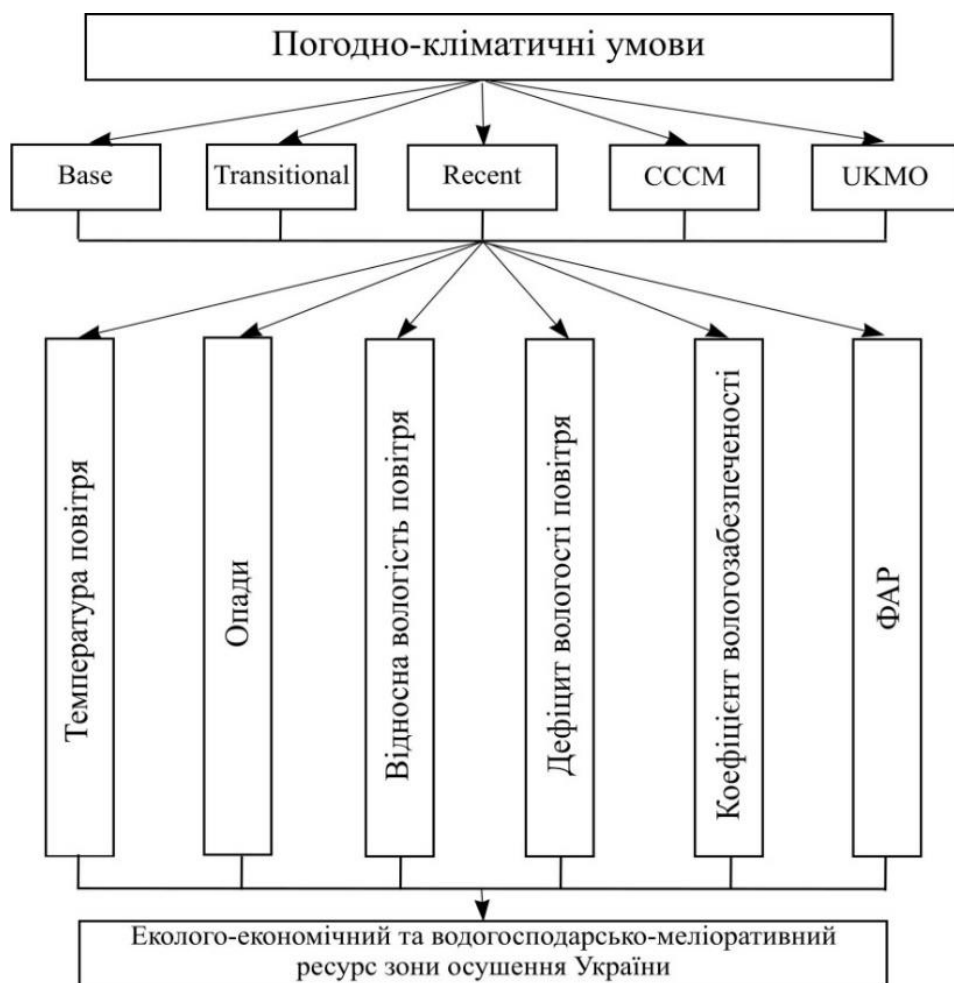


Рис. 1.4. Схема виконання оцінки погодно-кліматичних характеристик ретроспективних («Base»), перехідних («Transitional»), сучасних («Recent») та перспективних («CCCM», «UKMO») умовах

Розробка кліматичних сценаріїв прикладного характеру, зокрема типових схем метеорологічних режимів на довгостроковій основі, може бути реалізована 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 представлений в неявному вигляді як

$$\vec{X}_f = \vec{X}_f^{\circ} + \Delta\vec{X}_f, \quad f = \overline{1, n_f}, \quad (1.1)$$

де $\vec{X}_f^{\circ}$ – вектор середньобаторічних норм f -го метеофактора, який визначається за базовим сценарієм на основі ретроспективних статистичних метеоданих формування метеорологічних режимів у сучасних умовах;

$\Delta\vec{X}_f$ – відповідні зміни середньобаторічних норм f -го метеофактора при зміні клімату, за відповідними моделями прогнозу (табл. 1.12).

Таблиця 1.12

Прогнозні зміни середньомісячних та річних температури повітря і атмосферних опадів для зони Полісся України за моделями «СССМ» та «УКМО»

Показник \ Місяць		січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	за рік
температура (різниця)	«СССМ»	6,93	6,96	7,88	4,86	3,08	3,10	3,25	2,80	3,28	2,2	3,28	2,55	4,22
	«УКМО»	7,47	9,33	9,17	9,57	4,38	3,30	2,69	3,57	3,93	5,9	5,63	7,15	5,95
опад (відношення)	«СССМ»	1,20	1,23	1,21	1,11	0,99	0,99	1,03	0,94	0,95	1,7	1,18	1,25	1,08
	«УКМО»	1,10	1,55	1,08	1,17	1,08	1,07	1,24	0,91	1,00	1,3	1,33	1,29	1,14

Для визначення середньобаторічних норм f -тих метеофакторів можуть бути використані методи і моделі щодо довготермінового прогнозування метеорологічних характеристик при наявності та відсутності даних багаторічних спостережень по досліджуваному об'єкту.

Узагальнені результати розрахунку вегетаційних значень основних метеорологічних факторів (опад, температура, дефіцит та відносна вологість повітря) та похідних від них характеристик (ФАР, коефіцієнт вологозабезпеченості) по розрахункових роках за варіантами досліджень («Base», «Transitional», «Recent», «СССМ», «УКМО») для умов Житомирського Полісся наведені в табл. 1.13 і табл. 1.14 [113; 272; 239].

Таблиця 1.13

Вегетаційні значення основних метеорологічних характеристик за варіантами досліджень для умов Житомирського Полісся

Показник, модель		Рік розрахункової забезпеченості				
		10%	30%	50%	70%	90%
сума опадів (Р, мм)	«Base»	575,12	509,06	443,01	376,96	310,90
	«Transitional»	544,38	471,93	434,86	375,20	307,90
	«Recent»	559,00	510,75	443,28	417,98	347,80
	«CCCM»	582,54	516,36	450,18	384,01	317,83
	«UKMO»	615,64	545,71	475,77	405,83	335,89
середня температура повітря (Т, °С)	«Base»	12,68	13,06	13,47	13,67	14,19
	«Transitional»	12,92	13,33	13,75	13,80	14,44
	«Recent»	13,30	14,01	14,20	14,51	14,26
	«CCCM»	15,94	16,33	16,77	16,98	17,52
	«UKMO»	17,26	17,69	18,16	18,39	18,98
сума дефіциту вологості повітря (D, мм)	«Base»	698,0	785,0	849,0	943,0	1036,0
	«Transitional»	722,0	805,0	884,0	923,0	1044,0
	«Recent»	729,0	854,0	914,0	946,0	1098,0
	«CCCM»	866,0	973,4	1044,0	1150,0	1254,0
	«UKMO»	893,0	1005,0	1078,0	1207,0	1295,0
середня відносна вологість повітря (Н, %)	«Base»	80,56	77,73	75,26	72,07	69,42
	«Transitional»	81,76	78,66	73,94	73,02	70,73
	«Recent»	76,65	75,81	73,48	72,51	68,48
	«CCCM»	74,12	72,51	70,23	67,45	64,78
	«UKMO»	73,36	71,73	68,46	65,77	63,42
сума ФАР (МДж/м ²)	«Base»	1586,0	1616,0	1646,0	1665,0	1705,0
	«Transitional»	1594,0	1634,0	1673,0	1680,0	1727,0
	«Recent»	1631,0	1691,0	1708,0	1729,0	1706,0
	«CCCM»	1845,0	1876,0	1911,0	1928,0	1971,0
	«UKMO»	1948,0	1982,0	2020,0	2038,0	2084,0
коефіцієнт вологозабезпеченості (Kw)	«Base»	1,35	1,06	0,86	0,66	0,49
	«Transitional»	1,24	0,85	0,81	0,67	0,48
	«Recent»	1,26	0,98	0,80	0,72	0,52
	«CCCM»	1,10	0,87	0,71	0,55	0,42
	«UKMO»	1,13	0,89	0,72	0,55	0,43

Таблиця 1.14

Порівняльна оцінка зміни вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик за варіантами досліджень для зони Житомирського Полісся (%)

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

Продовження табл. 1.14

Показник, модель		Рік розрахункової забезпеченості					Середнє, %
		10%	30%	50%	70%	90%	
відносна вологість, (H)	«Transitional»	1,49	1,20	-1,75	1,32	1,89	+0,83
	«Recent»	-4,85	-2,47	-2,37	0,61	-1,35	-2,09
	«CCCM»	-7,99	-6,72	-6,68	-6,41	-6,68	-6,90
	«UKMO»	-8,94	-7,72	-9,04	-8,74	-8,64	-8,62
сума ФАР, (ФАР)	«Transitional»	0,50	1,11	1,64	0,90	1,29	+1,09
	«Recent»	2,84	4,64	3,77	3,84	0,06	+3,03
	«CCCM»	16,33	16,09	16,10	15,80	15,60	+15,98
	«UKMO»	22,82	22,65	22,72	22,40	22,23	+22,57
коефіцієнт вологозабезпеченості, (K _w)	«Transitional»	-8,49	-19,94	-5,73	1,69	-1,72	-6,84
	«Recent»	-6,94	-7,77	-7,05	10,53	5,55	-1,14
	«CCCM»	-18,36	-18,20	-17,36	-16,47	-15,54	-17,19
	«UKMO»	-16,33	-16,27	-15,42	-15,89	-13,57	-15,49

Згідно отриманих результатів щодо порівняльної оцінки змін сучасних та прогнозованих вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик по розрахункових роках та в середньому між ними у досліджуваних умовах можна зробити такі висновки [113; 272; 239]:

– *щодо опадів*: у перехідних умовах «Transitional» порівняно з базовим варіантом «Base» має місце зменшення кількості опадів по всіх розглянутих розрахункових роках (від 0,47% у сухий – 70% до 17,9% у вологий – 30%), що в середньому складає 5,30%. Щодо сучасних умов «Recent», то тут має в цілому деяке збільшення опадів (при їх зміні від – 2,80% у дуже вологий – 10% до 11,87% у дуже сухий – 90%), що в середньому складає 4,07%. Відповідно за прогнозними варіантами також можливе часткове збільшення опадів по всіх розрахункових роках, яке в середньому складає для «CCCM» – 1,69% та «UKMO» – 7,47%;

– *щодо температури повітря*: то у всіх розглянутих варіантах має місце підвищення температури повітря як по розрахункових роках, так і в середньому – менш виражене у перехідних умовах «Transitional» – 1,75%, більш виражене у сучасних умовах «Recent» – 4,84% і значно збільшується у прогнозованих і за «CCCM» – 24,59% та «UKMO» – 34,93%;

– *щодо дефіциту вологості повітря*: характер зміни показника аналогічний зміні температури повітря з деякими відхиленнями за розрахунковими роками та в середньому: для «Transitional» збільшення складає 0,83%; для «Recent» – 5,44%; для «CCCM» – 22,8%, а для «UKMO» – 27,19%;

– *щодо відносної вологості повітря*: відповідно у перехідних умовах («Transitional») дещо зростає 0,83% в середньому та зменшується в сучасних умовах «Recent» на 2,09%, а також за прогнозами «CCCM» – 2,09%, а для «UKMO» – 6,9%;

– *щодо ФАР*: характер зміни даного показника узгоджується зі зміною температури повітря з дещо меншою інтенсивністю зростання: для умов «Transitional» – 1,09%; «Recent» – 3,03%; «CCCM» – 15,98%, «UKMO» – 22,57%;

– *щодо коефіцієнта вологозабезпеченості*: характер і величина зміни кількості опадів та дефіциту вологості повітря як по розрахункових роках, так і в середньому зумовлюють його деяке зниження у перехідних умовах «Transitional» – 6,84%, та менш виражене зниження у сучасних умовах «Recent» – 1,14%; але дуже істотне зниження у прогнозованих умовах «CCSM» – 17,19% та «УКМО» – 15,49% умовах.

Порівняльна оцінка динаміки основних метеорологічних характеристик вегетаційного періоду за 1991–2023 рр. з їх ретроспективними та перспективними нормами для опадів, температури, дефіциту та відносної вологості повітря наведена на рис. 1.5.

За ними можуть бути виділені такі характерні моменти [113; 272; 239]:

– *щодо опадів*: простежується значна амплітуда їх коливань за розглянутий період від 200 до 600 мм при середньобаторічній нормі 428 мм з чітко вираженими максимумами у 1991, 1999, 2008 та 2020 рр. та мінімумами у 1994, 2002, 2004, 2011, 2013 та 2019 рр. У наступні після 2008 роки спостерігається стійке зменшення кількості опадів щодо всіх розглянутих варіантів досліджень. При цьому сучасні коливання сумарних вегетаційних значень після 2008 року вже рівні або менші прогнозованих норми;

– *щодо температури повітря*: має місце протилежна картина, починаючи з 1991 р. спостерігається підвищення температури повітря з максимально вираженим максимумом у 2018 рр., який складає 16,6° С. При цьому середньорічні температури повітря за розглянутий період часу не досягають прогнозованих значень;

– *щодо дефіциту вологості повітря*: динаміка зміни дефіцитів вологості повітря в цілому відображає характерні особливості зміни амплітуди коливань за температурою повітря: дефіцит вологості досягає першого та другого максимумів у 2002 та 2005 рр., які складають відповідно 1118 мм при їх середньовеgetаційному значенні 5,30 мм та 1112 мм і 5,20 мм. Після 2005 р. сумарні вегетаційні значення дефіциту вологості дещо знижуються та мають незначну амплітуду коливань, а за тим спостерігається різке їх підвищення до третього максимуму у 2012 р. – відповідно 1193 мм та 5,60 мм. При цьому величина дефіциту вологості повітря за моделлю «Base» менша середньорічної норми за моделлю «Recent», а його відповідні прогнозовані норми вже знаходяться у межах їх сучасних коливань;

– *щодо відносної вологості повітря*: спостерігається протилежна ситуація щодо динаміки зміни відносної вологості повітря, тут два перші максимуми (близько 78%) мають місце у 1991 та 1998 рр., після яких відбувається стрімке зниження її до першого та другого мінімумів (близько 68%) у 2005 та 2012 рр. При цьому середньобаторічна величина відносної вологості повітря за моделлю «Base» є вищою середньорічної норми за моделлю «Recent», а її відповідні прогнозовані норми знаходяться у межах сучасних коливань середньорічних значень.

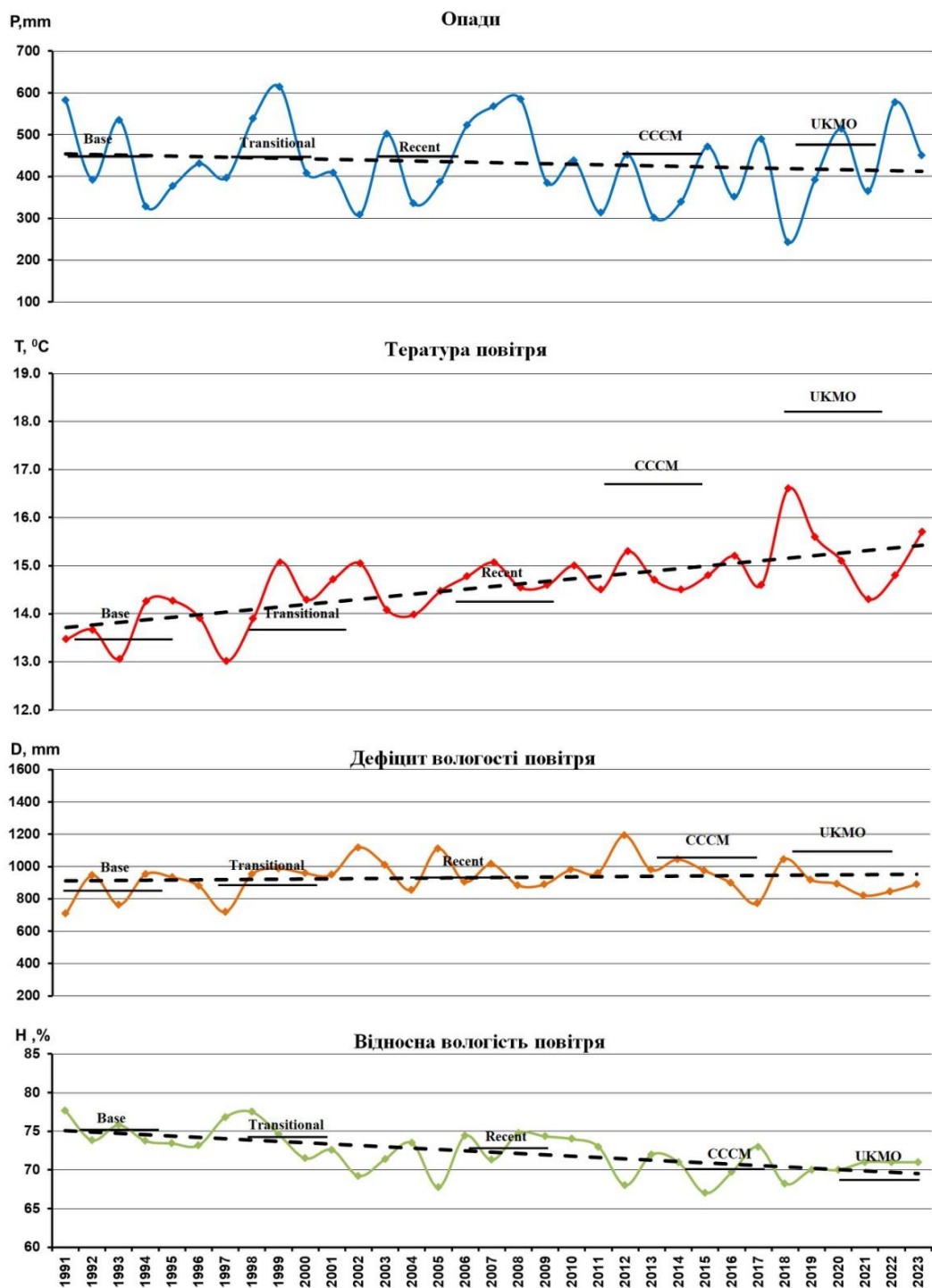


Рис. 1.5. Порівняльна оцінка нормованих вегетаційних значень основних метеорологічних характеристик за варіантами досліджень щодо динаміки їх реальних значень у сучасних умовах зони Полісся

У цілому прогнозовані значення розглянутих метеорологічних характеристик за моделями «СССМ» та «УКМО» в зоні Житомирського Полісся, за виключенням температури повітря, вже знаходяться в межах їх сучасних коливань і навіть перевищують їх за окремими позиціями, що свідчить про стійку тенденцію зміни кліматичних умов у даному регіоні.

Отримані результати порівняльної оцінки формування погодно-кліматичних умов у зоні Житомирського Полісся 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-відсотковий критичний екологічний поріг, що за Н. Ф. Реймерсом призведе до відповідних незворотних змін в екологічному стані довкілля зони рисосіяння.

Встановлено, що при наявних темпах та рівнях змін погодно-кліматичних умов слід очікувати погіршення природно-меліоративних умов взагалі як у зоні Житомирського Полісся, так і України в цілому. Це неминуче відобразиться на функціонуванні водогосподарських об'єктів у результаті відповідних змін еколого-економічного ресурсу, що потребує розробки адаптивних технічних та режимно-технологічних заходів з управління цими об'єктами через відповідні комплексні наукові галузеві, державні та міждержавні дослідження і програми.

Тому питання підвищення ефективності функціонування водогосподарських об'єктів 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.

1.4. Меліоративна ефективність рельєфу Українського Полісся

Розробка водогосподарсько-меліоративних проектів потребує урахування значної кількості різноманітних природних та технічних факторів, що суттєво впливають на рівень обґрунтування типу та конструкції гідромеліоративної системи у проектах їх будівництва та реконструкції. На осушуваних територіях погодно-кліматичні, ґрунтові, гідрогеологічні, агротехнічні, рельєфні та інші умови об'єкта безпосередньо приймають участь у формуванні водного режиму ґрунтів та врожаю вирощуваних культур. При цьому рельєф місцевості є одним із визначальних чинників, який впливає на прийняття технології водорегулювання та конструкції дренажної системи. У зв'язку з цим, при обґрунтуванні меліоративних заходів, як правило, виникає значна кількість різних за технологічними та технічними рішеннями варіантів, які визначально впливають як, перш за все, на економічну, так і екологічну ефективність їхньої реалізації [61, 113].

На основі узагальнених теорії і практики створення та функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів численними тривалими вітчизняними та закордонними дослідженнями було встановлено вплив рельєфу місцевості на формування поверхневого та ґрунтового стоку, водного режиму гідрологічних та гідрогеологічних умов в межах природних ландшафтів, водозборів, агроландшафтів, в тому числі меліорованих. Останнім часом з'явилися роботи, присвячені дослідженню впливу рельєфу на формування поверхневого і ґрунтового стоку та водного режиму меліорованого поля в межах дренажної системи меліорованих [189, 50, 117, 266].

Але питання впливу рельєфного фактору на формування водного режиму, продуктивність вирощуваних культур та ефективність різних технологій водорегулювання осушуваних земель у їх взаємозв'язку, на жаль, вивчено недостатньо.

Як показали практика та накопичений досвід, неврахування достатньою мірою нерівномірності рельєфу в існуючих методах проектування і розрахунку меліоративних систем є однією з причин недосягнення проектної ефективності меліорацій перезволожених земель.

За діючим нормативом ДБН В.2.4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» додаткове зволоження (попереджувальне і зволожувальне шлюзування) на осушуваних землях застосовується в ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації не менше 0,5 м/добу при ухилах поверхні до 0,005 та при близькому (до 2 м) заляганні рівня ґрунтових вод (РГВ) до поверхні землі [189].

На території з розвинутим рельєфом заданий рівень ґрунтових вод підтримується лише на незначній частині меліорованого масиву. В пониженнях місцевості може мати місце вихід ґрунтових вод на денну поверхню, а на підвищеннях залягання РГВ значно перевищує норму осушення.

У зоні (регіоні) надлишкового зволоження менше заболочені підвищені елементи рельєфу, з яких атмосферні опади стікають у вигляді поверхневого стоку, перезволожуючи таким чином розташовані нижче території.

Такі умови формування рельєфу вимагають виконувати планування території та проектування додаткових гідротехнічних споруд, які, в свою чергу, збільшують вартість меліоративної системи, але не завжди дають змогу досягти поставленої мети щодо її ефективності.

Аналіз існуючих об'єктів показав, що вже при похилах більших за 0,002 не досягається необхідний рівень вологозабезпеченості сільськогосподарських культур при застосуванні попереджувального та зволожувального шлюзування на значній частині осушуваних земель, що своєю чергою впливає на зниження врожаю та загальну ефективність меліорацій [60, 113].

Як відомо, геологічна будова виявляє значний вплив на водний режим території. Найбільш заболочені великі впадини і пониження земної поверхні, складені потужною товщею осадових порід, в які стікають поверхневі та підземні води з прилеглих височин. Ці води є додатковими до атмосферних опадів джерелами надлишкового зволоження. Геологічні умови визначають рельєф місцевості, ступінь його розчленованості та природної дренажності території, а також гідрогеологічні умови.

Рельєф місцевості також істотно впливає на заболоченість ґрунту. Його прояви особливо доступні візуальним спостереженням. У зоні надлишкового зволоження менше заболочені підвищені елементи рельєфу (водорозділи, круті схили), на яких у результаті випадіння атмосферних опадів виникає поверхневий стік, який перезволожує нижче розташовані території. Найбільш заболочені безстічні, слабопроточні пониження та безпохилі рівнини, на яких застоюються поверхневі води, особливо при недостатній природній дренажності території.

Північну частину України займає зона мішаних лісів з поліським підтипом ландшафтів, серед яких переважають ландшафти моренно-зандрових, алювіально-зандрових, рівнинно-денудаційних, алювіальних терасових рівнин. Помітну роль серед поліських ландшафтів відіграють недреновані перезволожені та заболочені природно-територіальні комплекси. У цій зоні розташована велика частина Волинської, Рівненської, Житомирської і Чернігівської областей, частково Хмельницької, Київської, і Сумської області. За природним ландшафтам – це Українське Полісся. Простягається зона з заходу на схід на 750 км, площа її становить понад 113 тис. км² (19 % території України).

Зона Полісся України за особливостями просторової ландшафтної диференціації розмежовується на такі фізико-географічні області: Волинське Полісся, Житомирське Полісся, Київське Полісся, Чернігівське Полісся, Новгород-Сіверське Полісся.

Волинське Полісся – найбільш зволожена, залісена й заболочена з фізико-географічних областей Українського Полісся. Завдяки поширенню тріщинуватих крейдових порід, перекритих малопотужним шаром антропогенових відкладів, тут розвиваються карстові процеси. Вплив карбонатних порід проявляється у фізико-хімічних властивостях наявних в області моренно-водно-льодовикових, долинно-терасових, піщано-горбистих поліських ландшафтів, лучно-болотних і болотних заплавних комплексів.

Житомирське Полісся відзначається переважанням зандрових ландшафтів на докембрійському фундаменті Українського щита, більшою, порівняно з Волинським і Київським Поліссям, піднесеністю поверхні та дренажністю, значно меншою заболоченістю.

Київське Полісся – низовинна акумулятивна рівнина з потужною товщею антропогенових відкладів, переважанням моренно-зандрових, борових і суборових терасових ландшафтів.

У Чернігівському Поліссі поряд із поліськими значні площі охоплюють опільські північно-лісостепові ландшафти.

Новгород-Сіверське Полісся характеризується розвитком ерозійних процесів на підвищених лесових рівнинах уздовж правого берега Десни, карстових явищ, обумовлених близьким до поверхні заляганням крейдових порід, поширенням ландшафтів мішано-лісового та лісостепового типів.

Для поліських ландшафтів характерна велика зволоженість і розвиток процесів заболочування (до 70% заболочених земель). Значна зволоженість зумовила розвиток підзолистого і болотного процесів ґрунтоутворень та формування лугової, болотної та лісової рослинності (середня лісистість зони – 30%). Негативні риси поліських ландшафтів – заболоченість земель, низька природна родючість ґрунтів, розвиток процесів інфільтрації і розвіювання незакріплених рослинністю піщаних ґрунтів тощо.

Основні заходи підвищення продуктивності земель полягають в корінному поліпшенні водно-фізичних властивостей ґрунтів, регулюванні їх водного режиму меліоративними і лісокультурними заходами і у вапнуванні кислих ґрунтів.

Природна дренажність характеризується густиною річної мережі, її глибиною, похилами поверхні землі, водопроникністю ґрунтів та порід, що її підстилають. Заболоченість території тим менша, чим більша густина річної мережі, чим глибші річки і ручаї, чим більш проникні ґрунти. Істотний вплив виявляє і похил поверхні землі: чим він менший, тим більша її частина зазнає перезволоження і заболочення.

Традиційно стік на дренажних територіях розглядається як такий, що складається з дренажного та поверхневого. В умовах рівнинного та слаборозвиненого рельєфу сумарний поверхневий стік на дренажних землях зазвичай незначний і складає в середньому 10–15% загального стоку [50]. На землях з горбистим рельєфом він значно більший.

Поверхневий стік спостерігається в період весняної повені і зимових відлиг, а також під час літніх паводків. Тому необхідно окремо розглядати поверхневий стік талих вод та поверхневий стік зливових опадів, оскільки умови утворення поверхневого стоку мають значні принципові відмінності.

Коефіцієнт поверхневого стоку талих вод зі схилів значно більший ніж з усього басейну. Стік зі схилів, як правило, перехоплюється нагірно-ловчими каналами або попадає на низинні форми рельєфу, які осушуються гончарним дренажем. Частина поверхневого стоку талих вод через щілини в мерзлом ґрунті проникає в дрени й утворює дренажний стік. В результаті значення коефіцієнта поверхневого стоку талих вод з усього басейну нижчі.

В більшості випадків критичним періодом для дренажних систем рахується весна. За цей час дренажні системи повинні не лише вчасно відвести поверхневі талі води, а й забезпечити до початку польових робіт певне пониження рівня ґрунтових вод.

Проте при виборі розрахункового року у змінних рельєфних умовах не можна не враховувати поверхневий стік, який формується після випадання сильних дощів як у літній, так і в осінній періоди.

Характерною особливістю формування водного режиму осушуваних земель з розвиненим рельєфом є утворення поверхневого стоку, нерівномірний розподіл вологи та глибини залягання рівня ґрунтових вод (РГВ) по території системи, що має бути враховано в проектах будівництва та реконструкції дренажних систем [50; 290].

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

Проведеними дослідженнями встановлено, що характер впливу рельєфу на формування водного режиму та врожаю вирощуваних культур при різних технологіях водорегулювання має виражений оптимум, який диференційовано формується залежно від множинних природних та агроеліоративних умов реального об'єкта. За результатами проведених досліджень була виконана схематизація і розроблена класифікація осушуваних земель на основі *показника меліоративної ефективності рельєфу*, яка залежить від ступеня розвиненості рельєфу за ухилами (i) та перепадами (ΔH_{gi}) поверхні землі (табл. 1.15) [61, 113].

Таблиця 1.15

Меліоративна ефективність рельєфу осушуваних земель

Ступінь розвиненості рельєфу	Кількісний показник рельєфу		Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	i	$\Delta H_{gi}, \text{м}$		
слаборозвинений	< 0,001	< 0,2	1,0–1,2	висока
середньорозвинений	0,001–0,004	0,2–0,6	0,8–1,0	середня
сильнорозвинений	> 0,004	> 0,6	0,4–0,8	низька

Уточнені значення меліоративної ефективності рельєфу та ефективність застосування відповідної технології водорегулювання при певних природних, агроеліоративних умовах, ухилах і перепадах поверхні землі, як для кожної характерної ділянки, так і системи в цілому реального об'єкту можуть бути визначені за відповідними прогностно-імітаційними розрахунками [114, 115, 122, 124, 168, 188, 189, 190].

Оцінювання меліоративної ефективності рельєфу дасть змогу підвищити обґрунтованість проєктних рішень з водорегулювання осушуваних земель.

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

Застосування географічних інформаційних систем (ГІС), як складової систем автоматизованого проєктування, є одним з пріоритетних напрямів. Географічні інформаційні системи використовують методи пов'язані з цифровим представленням земної поверхні та дають змогу виконувати збір, накопичення, аналіз, відображення і розповсюдження самих різноманітних даних, що мають просторову складову.

Особливо ефективне використання геоінформаційних технологій при управлінні водними і земельними ресурсами, що дають змогу: обробляти дані спостережень еколого-меліоративного та водогосподарського моніторингу; виконувати контроль та аналіз кількісних і якісних характеристик водних ресурсів (грунтових, поверхневих, дренажних вод), ґрунтів, врожайності сільськогосподарських культур, водогосподарських об'єктів в цілому; створювати карти висот поверхні землі, ухилів та експозиції схилів, їх еродованості; моделювати та прогнозувати розвиток гідрологічних процесів для прийняття управлінських рішень тощо.

Оцінювання рельєфу місцевості за ухилами та перепадами поверхні землі також можна реалізувати за допомогою ГІС, що дає змогу оцінити рельєф на макрорівні.

Таким чином, використовуючи програмний продукт ArcGIS, нами було побудовано цифрові моделі рельєфу Полісся України та Рівненської області на основі даних радарної топографічної супутникової зйомки SRTM (Shuttle radar topographic mission), виконано аналіз земної поверхні за ухилами (рис. 1.6, 1.7) і визначено їх площі (табл. 1.16).

За результатами аналізу висотних відміток рельєфу Полісся України встановлено, що абсолютно максимальні відмітки становлять 330 м, мінімальні – 88 м, перепади висот – 242 м. Для Рівненської області абсолютно максимальні відмітки становлять 370 м, мінімальні – 130 м, перепади висот – 240 м. Площа розповсюдження слабо- та середньорозвиненого рельєфу для зони Полісся України становить 18,12 %, а для Рівненської області – 16,38 %, середньозважений ухил поверхні землі відповідно 0,022 (1,26°) та 0,027 (1,55°).

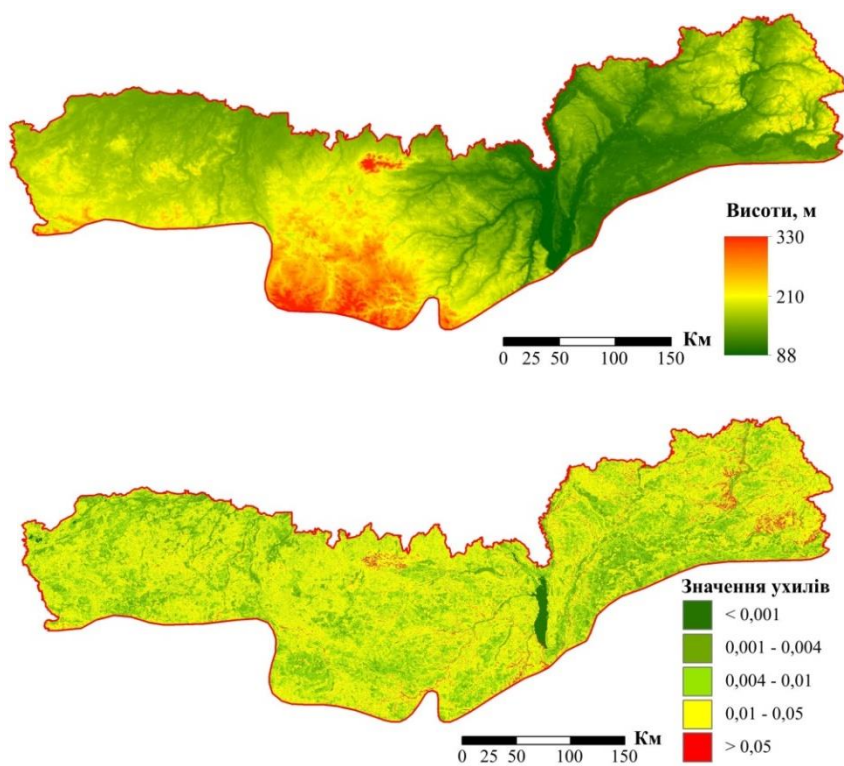


Рис. 1.6. Висотні відмітки та ухили земної поверхні Полісся України

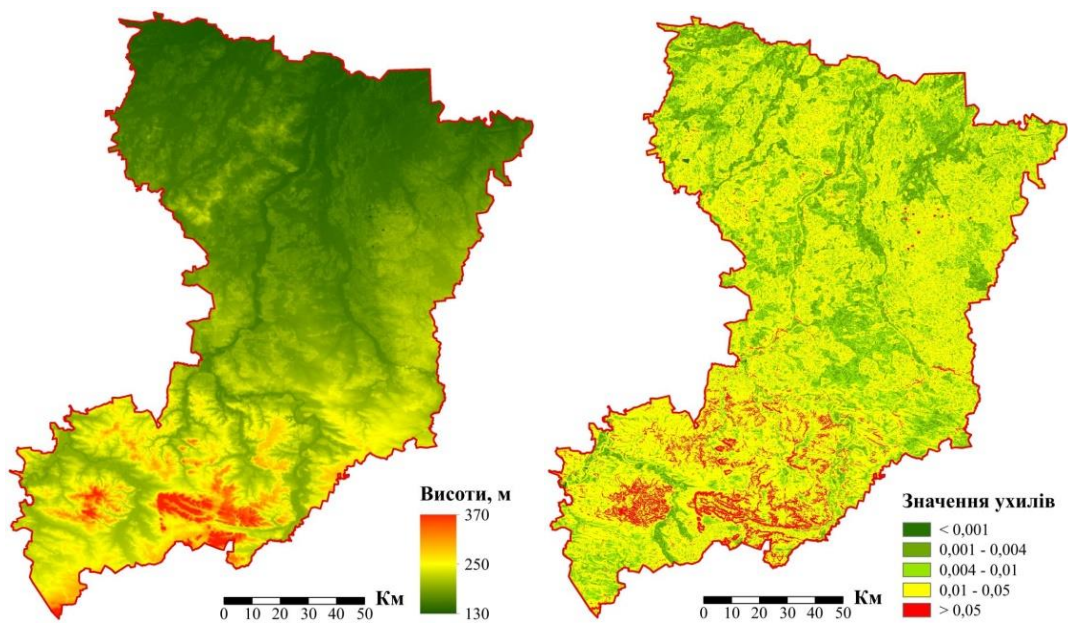


Рис. 1.7. Висотні відмітки та ухили земної поверхні Рівненської області

Таблиця 1.16

Аналіз земної поверхні за ухилами досліджуваних об'єктів

№ з/п	Ухил, i	Площа		Ступінь розвиненості рельєфу	Меліоративна ефективність рельєфу
		км ²	%		
за характерними ділянками рельєфу Полісся України					
1	< 0,001	2121	2,21	слаборозвинений	висока
2	0,001–0,004	15259	15,91	середньорозвинений	середня
3	0,004–0,01	29932	31,22	сильнорозвинений	низька
4	0,01–0,05	46558	48,56	сильнорозвинений	низька
5	> 0,05	2010	2,1	сильнорозвинений	низька
в цілому по Полісся України за середньозваженими значеннями					
	0,022	95880	100	сильнорозвинений	низька
за характерними ділянками рельєфу Рівненської області					
1	< 0,001	317	1,58	слаборозвинений	висока
2	0,001–0,004	2967	14,8	середньорозвинений	середня
3	0,004–0,01	5532	27,59	сильнорозвинений	низька
4	0,01–0,05	10348	51,62	сильнорозвинений	низька
5	> 0,05	883	4,41	сильнорозвинений	низька
в цілому по Рівненській області за середньозваженими значеннями					
	0,027	20047	100	сильнорозвинений	низька

Рельєф досліджуваних зональних умов Рівненської області та Полісся України в цілому за крутизною земної поверхні належить до рівнинно-горбистого рельєфу. Але з меліоративної точки зору, а саме щодо дренажних систем з підґрунтовим зволоженням, які в умовах змін клімату є найбільш актуальними в зоні Полісся України, рельєф з наявними ухилами вже є сильнорозвинений, а його меліоративна ефективність є низькою.

Наявність розвиненого рельєфу зумовлює неефективне використання опадів через виникнення поверхневого стоку та загрози ерозії ґрунтів, нерівномірне формування РГВ і водного режиму в цілому на осушуваних землях.

Слід зазначити, що точність висот загальнодоступної цифрової моделі рельєфу SRTM відповідає висотам, отриманих з топографічних карт масштабу 1:100000. При врахуванні систематичної помилки можливе підвищення точності даних високої і надвисокої роздільної здатності матриці SRTM, яка може бути використана при створенні карт масштабу 1:25000 та 1:10000 для районів з рівнинним і горбистим рельєфом [49; 142].

Мікрорельєф за рахунок своїх розмірів нівелюється при створенні крупномасштабних карт на основі цифрової моделі рельєфу SRTM. Тому врахування мікрорельєфу в процесі проєктування дренажних систем можливе на основі проведення топографічної зйомки місцевості об'єкта будівництва, яка згідно з [154] має відповідати таким вимогам: топографічний (інженерно-топографічний) план у масштабі 1:2000; перетин рельєфу 0,5 м для рівнинної місцевості, а для місцевості з мікрорельєфом – 0,25 м; нівелювання по квадратах 20×20 м.

Розробка водогосподарсько-меліоративних проєктів потребує урахування значної кількості різноманітних природних та технічних факторів, що суттєво впливають на рівень обґрунтування типу та конструкції гідромеліоративної системи у проєктах їх будівництва та реконструкції. Рельєф місцевості визначально впливає на прийняття відповідної технології водорегулювання та конструкції дренажної системи, що в подальшому впливає як на економічну, так і екологічну ефективність їхньої реалізації [1, 60, 157, 290].

За загальноприйнятою практикою на стадії розробки проєктних рішень щодо типів, конструкцій та параметрів гідромеліоративної системи виконується прокладання трас каналів і колекторів та побудова їх поздовжніх профілів, з яких можна отримати дані по ухилах та перепадах поверхні землі, в цілому по площі системи та її складових ієрархічних рівнях (на рівні меліорованого поля для культур проєктної сівозміни, на рівні ґрунтів у межах системи, на рівні структурних елементів системи за характерними рельєфними умовами тощо).

Враховуючи складність проєктування водогосподарсько-меліоративних об'єктів, для автоматизації та оптимізації проєктування слід застосовувати сучасні BIM-технології, що поєднують використання ГІС-технологій [1, 237, 268].

Потужним програмним комплексом технології інформаційного моделювання є Autodesk Civil 3D, який використовує ГІС-функціонал та дає змогу виконувати роботи в області геодезії, топографії, генплану, геології, вертикального планування і впорядкування території, нового будівництва і реконструкції лінійно протяжних об'єктів (автомобільні і залізничні дороги, канали, дамби, напірні та безнапірні трубопроводи), використовувати бази даних ГІС, виконувати аналіз поверхні землі за ухилами та висотними відмітками, моделювати складні водозбори та визначати напрями стоку, містить інструменти для планування поверхні землі.

Тому на початковій стадії науково-технічної роботи ми виконали попередній аналіз поверхні землі та визначати меліоративну ефективність осушуваних земель за допомогою програмного комплексу Autodesk Civil 3D, який дає змогу дослідити характер поверхні, визначити необхідні показники поверхні та їх значення: висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок, відобразити поверхню за заданими чи автоматично визначеними діапазонами подібних значень відміток та ухилів.

Середньозважене розрахункове значення ухилу поверхні землі в цілому по системі пропонується визначати за формулою

$$\bar{i}^{(cuc)} = \sum_{n=1}^{n_i} (i_n \cdot f_n) / \sum_{n=1}^{n_i} f_n, \quad (1.2)$$

де f – площа характерної ділянки поверхні землі, га,
 i – ухил характерної ділянки поверхні землі.

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

$$\overline{\Delta H_{gi}}^{(cuc)} = \sum_{n=1}^{n_i} (\Delta H_{gi_n} \cdot f_n) / \sum_{n=1}^{n_i} f_n, \quad (1.3)$$

де ΔH_{gi} – загальний перепад характерної ділянки поверхні землі, м.

Для визначення меліоративної ефективності рельєфу ділянки площею 330 га ДС «Іква» Дубенського району Рівненської області, використовуючи програмний комплекс Autodesk Civil 3D, було побудовано модель рельєфу за даними топографічної зйомки, досліджено характер поверхні, визначено необхідні показники та їх значення: висоти, перепади, ухили, площі характерних ділянок (рис. 1.8, табл. 1.17).

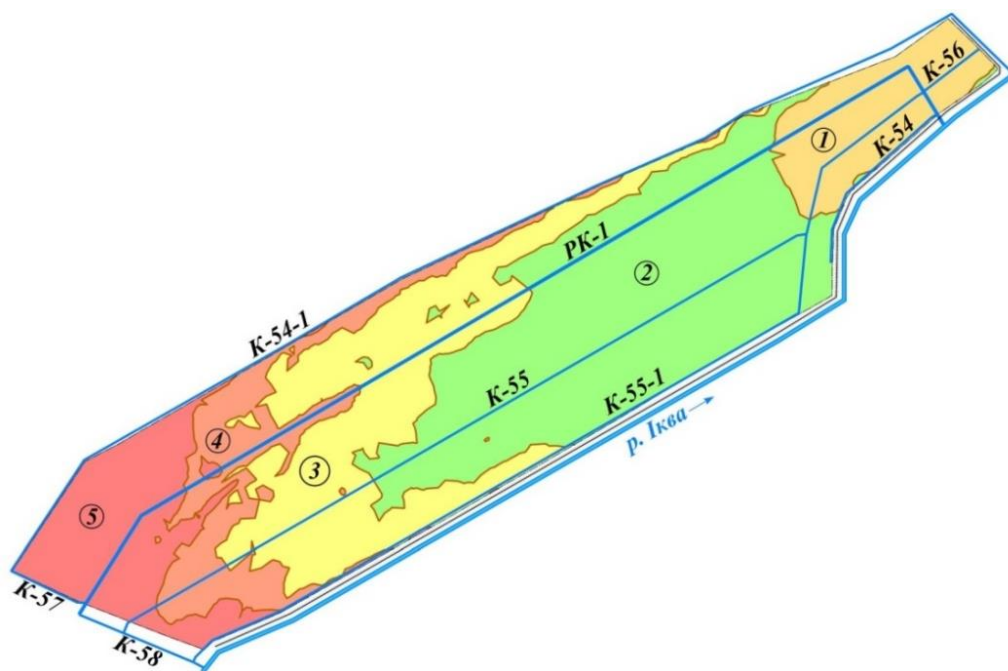


Рис. 1.8. Визначення ділянок із характерними рельєфними умовами дренажної системи «Іква» Дубенського району Рівненської області

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

Таблиця 1.17

**Узагальнені результати оцінювання меліоративної ефективності рельєфу
дренажної системи «Іква» Дубенського району Рівненської області**

№ ділянки	Кількісний показник рельєфу		Площа		Ступінь розвиненості рельєфу	Показник меліоративної ефективності	Меліоративна ефективність рельєфу
	ухил, i	$\Delta H_{gi}, \text{м}$	га	%			
по характерних ділянках рельєфу							
1	0,004	0,5	31,8	9,6	середньорозвинений	0,96	середня
2	0,001	0,2	143,2	43,4	слаборозвинений	1,02	висока
3	0,002	0,3	78,4	23,8	середньорозвинений	0,92	середня
4	0,003	0,4	35,7	10,8	середньорозвинений	0,87	середня
5	0,018	0,9	40,9	12,4	сильнорозвинений	0,64	низька
в цілому по системі							
	0,004	0,34	330	100	середньорозвинений	0,93	середня

Визначені середньозважені значення ухилу та перепаду поверхні землі є вихідними даними для виконання розрахунків за моделлю довготермінового прогнозування водного режиму і технологій водорегулювання осушуваних земель з урахуванням рельєфу місцевості, яка ґрунтується на реалізації рівняння водного балансу активного кореневого шару ґрунту з урахуванням утворення поверхневого стоку та рівняння балансу рівня ґрунтових вод з урахуванням перепадів поверхні землі (ΔH_{gi}) [114; 115; 122; 124; 168; 188; 189; 190].

Застосування ВІМ-технологій дає змогу виконати аналіз поверхні землі, визначати ступінь розвиненості рельєфу та оцінити вплив рельєфу місцевості на формування водного режиму та ефективність технологій водорегулювання на осушуваних землях на основі запропонованого показника меліоративної ефективності, який характеризує їх потенційну продуктивність залежно від ступеня його розвиненості за ухилами та перепадами поверхні землі.

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

1.5. Ґрунти Полісся та їх основні агрофізичні властивості

У минулому 85% території сучасного Полісся займали змішані хвойно-широколистяні ліси. На безлісних ділянках була природна трав'яниста та болотна рослинність. Діяльність людини призвела до зміни рослинних формацій, що в свою чергу вплинуло на процеси ґрунтоутворення. У теперішній час площа, покрита лісом, зменшилася до 30%, зокрема до 50% цієї території є заболоченими землями [38].

Внаслідок широкомасштабного осушення великих площ Полісся спостерігаються значні зміни в ландшафті: понизився рівень підґрунтових вод, інтенсифікувались елювіальні процеси, та відбулися зміни у вологовмісті

ґрунтів, які вплинули на умови ґрунтоутворення. На території Полісся переважають такі типи ґрунтів: дерново-підзолисті, опідзолені, лучні, болотні і дернові (рис. 1.9).

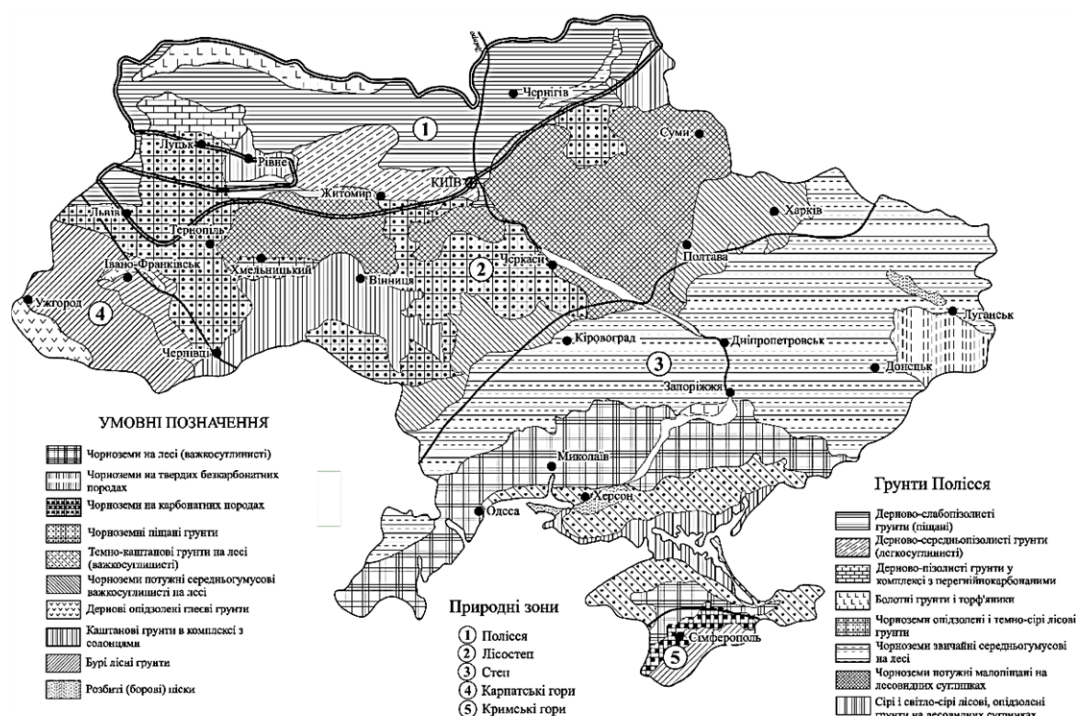


Рис. 1.9. Карта ґрунтів України

Основними ґрунтоутворюючими породами на Поліссі є водно-льодовикові, льодовикові та алювіальні відклади. У деяких місцях є невеликі острівці лесових відкладів. Як правило, вони мають легкий гранулометричний склад. Велика різноманітність материнських порід, хвилястий рельєф і коливання рівня ґрунтових вод створюють строкатість ґрунтового покриву.

Процес створення ґрунтового покриву в Поліссі включає три типи ґрунтоутворення: підзолистий, дерновий і болотний. Розвиток цих типів визначається впливом відповідних рослинних формацій, таких як дерев'янисті, трав'янисті, лучні і болотні.

На території Західного Полісся України переважають такі основні типи ґрунтів: дерново-підзолисті, опідзолені, лучні, болотні, дернові (рис. 1.10).

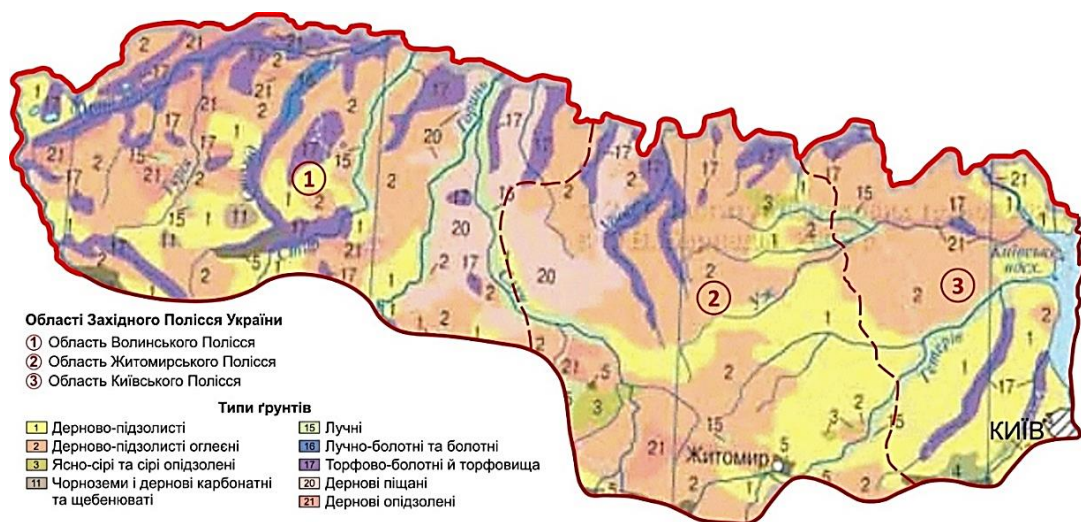


Рис. 1.10. Ґрунти Західного Полісся України

Дерново-підзолисті ґрунти. Дерново-підзолисті ґрунти є зональними ґрунтами Полісся (близько 66% загальної площі, див. рис. 1.10). Ці ґрунти виникли в умовах впливу лісової рослинності та формувалися на різноманітних відкладах, таких як водно-льодовикові, моренні, лесоподібні та алювіальні. Залежно від ступеня підзолистості, дерново-підзолисті ґрунти можуть бути визначені як слабопідзолисті, середньопідзолисті та дерново-прихованопідзолисті. Також, з урахуванням ступеня оглеєності, ці ґрунти поділяються на глеюваті, глейові та сильноглейові [38; 39].

Підзолоутворення є процесом, що характеризується руйнуванням, розчиненням і переміщенням органічних речовин із верхніх шарів ґрунту, а також їхнім відкладенням у нижчих шарах. Типовими рисами опідзолених ґрунтів є перерозподіл колоїдів вздовж ґрунтового профілю та чітке розмежування генетичних горизонтів, таких як елювіальний (вимивання) та ілювіальний (намивання).

В ілювіальному горизонті різко збільшується кількість мулу, що залежить від ступеня опідзоленості. Морфологічні ознаки цих ґрунтів включають світло-сірий безструктурний гумусовий елювіальний горизонт товщиною до 20 см у верхній частині. У цьому шарі зосереджений основний запас гумусу. На глибині 20–40 см розташований елювіальний безгумусовий горизонт, відзначений яскравим забарвленням внаслідок великої кількості крем'янки. Цей горизонт є місцем, де підзолистий процес проявляється найвиразніше, вказуючи на його добре промитий і втрачений на поживні речовини стан. Основною характеристикою є відсутність структури в цьому горизонті.

Нижче розташований ілювіальний горизонт (40–120 см), характеризований вираженими кластерами колоїдних речовин, таких як гідрати, оксиди заліза та алюмінію, гумусові речовини та інші сполуки.

Зазначені компоненти надають горизонту мозаїчності: на загальному червонувато-бурому тлі присутні прошарки грубозернистого світло-забарвленого (відмитого від плівок заліза) піску. Горизонт ущільнений, іноді не пропускає воду. Далі залягає ґрунтотворна порода різного походження та потужності (120–200 см). При постійному або тимчасовому надмірному зволоженні є ознаки повного або часткового оглеєння у вигляді сизих та іржавих плям і розводів.

Найкраще виражені генетичні горизонти в супіщаних дерново-підзолистих ґрунтах. Помітна також диференціація ґрунтового профілю в дерново-слабо- і середньо-підзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтах. У дерново-прихованих підзолистих ґрунтах дерновий горизонт слабо забарвлений гумусом і має слабо виявлені ознаки підзолистості. Фізико-хімічні властивості та гранулометричний склад основних відмін дерново-підзолистих ґрунтів [143] наведені в табл. 1.18 та 1.19.

Таблиця 1.18

Фізико-хімічні властивості дерново-підзолистих ґрунтів

Ґрунт	Глибина зразка, см	рН	Гідролітична кислотність	Сума ввібраних основ	Ступінь насичення основами	Гумус, %
			мг-екв на 100 г ґрунту			
дерново-приховано-підзолистий піщаний	0–20	5,0	2,6	1,0	30,0	0,60
	30–40	5,1	1,6	0,5	24,0	0,23
дерново-слабо-підзолистий глейовий глинисто-піщаний	0–20	4,6	2,6	1,3	52,4	1,30
	30–40	4,8	1,6	0,9	–	0,34
дерново-середньо-підзолистий супіщаний	0–20	5,6	2,3	2,7	–	1,20
	30–40	5,9	0,8	1,5	–	0,20
дерново-середньо-підзолистий глеюватий супіщаний	0–20	5,2	2,4	2,9	54,9	1,50
	25–40	5,0	1,6	2,8	31,0	0,42

Таблиця 1.19

Гранулометричний склад дерново-підзолистих ґрунтів, %

Ґрунтова відміна	Глибина зразка, см	Розмір частинок, мм						
		пісок		пил			мул	фізична глина
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	0,01
дерново-приховано-підзолисті піщані	0–20	50,0	39,38	4,07	0,54	2,31	1,60	4,45
	30–40	51,25	38,58	3,54	1,54	2,46	2,00	6,00
	50–60	49,50	37,00	6,66	0,41	3,75	1,84	6,00
дерново-слабопідзолисті глинисто-піщані глеюваті	0–20	35,6	45,78	10,66	0,94	2,66	4,36	7,96
	50–60	53,26	43,02	0,84	0,18	0,84	1,86	2,88
	150–160	45,77	50,31	1,20	0,24	0,56	1,92	2,72
дерново-середньо-підзолисті глинисто-піщані	0–20	4,65	65,81	20,76	2,12	1,32	4,74	8,18
	30–40	3,87	65,98	22,96	1,64	2,50	2,68	6,82
	150–160	4,63	62,35	22,50	1,36	2,36	6,52	10,24
дерново-середньо-підзолисті супіщані	0–20	12,21	48,63	17,86	2,18	1,94	15,62	19,74
	40–50	30,41	34,25	12,00	2,36	3,43	16,15	21,94

Дерново-підзолисті ґрунти Полісся в основному характеризуються легким гранулометричним складом, включаючи піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти, в яких вміст мулуватих часток становить відповідно 2%, 2–5%, 5–15%. Фізичні властивості цих ґрунтів залежать від їхнього гранулометричного складу. Щільність орного шару дерново-підзолистих ґрунтів перевищує оптимальне значення і коливається від 1,40 до 1,55 г/см³. Ці ґрунти відрізняються низькою вологоємністю, підвищеною водопроникністю та дуже низькою гігроскопічністю.

Слід зауважити, що дерново-підзолисті ґрунти мають невисокий рівень родючості та несприятливі властивості для вирощування сільськогосподарських культур. Характерною особливістю цих ґрунтів в Поліссі є низька ємність катіонного обміну (1,5–8,5 мг-екв/100 г), а також бідність кальцієм, магнієм та поживними речовинами. Реакція ґрунтового розчину є кислою, рН сольової витяжки коливається від 4,2 до 5,6, а гідролітична кислотність становить 1,5–3,5 мг-екв на 100 г ґрунту.

Дерново-підзолисті ґрунти характеризуються низьким вмістом гумусу 0,4–2,5%, який локалізований переважно в гумусово-елювіальному горизонті. В елювіальному горизонті його кількість різко зменшується до 0,2–0,4%.

Аналіз складу гумусу вказує на перевагу вмісту фульвокислот над гуміновими кислотами. Запаси поживних речовин у дерново-підзолистих ґрунтах є дуже обмеженими: вміст азоту становить 0,05–0,08, фосфору – 0,04–0,09, а калію – 1,0–1,5% від маси сухого ґрунту. Крім того, ці ґрунти характеризуються низьким вмістом мікроелементів: кобальту – 2 мг, мангану – 98 мг, цинку – 29 мг і бору – 4 мг у 1 кг сухого ґрунту [38; 39].

Із метою підвищення родючості дерново-підзолистих ґрунтів пропонується впровадження комплексу заходів, що передбачає, у першу чергу, вапнування та внесення органічних добрив. На зазначених типах ґрунтів виявлено, що серед мінеральних добрив найбільш ефективними є азотні та фосфорні, тоді як калійні проявляють менший ефект. Важливим аспектом є внесення мікроелементів, таких як мідь, бор, манган та інші, які сприяють значному підвищенню врожайності зернових та просапних культур.

Дерново-підзолисті оглеєні (глеюваті та глейові) ґрунти на делювіальних і водно-льодовикових відкладах, розташовані на зниженнях вододільних просторів, терасах та інших ландшафтних елементах, де близько до поверхні розташовані ґрунтові води. Ці ґрунти можуть також зустрічатися на підвищених ділянках у випадку наявності ущільненого прошарку на певній глибині, на поверхні якого затримується атмосферна волога.

Оглеєння є біохімічним процесом, при якому відбувається перетворення окисних сполук заліза та алюмінію в закисні форми. Цей процес проходить в анаеробних умовах при тривалому перезволоженні ґрунту. Слід відзначити, що ступінь оглеєності прямо залежить від глибини розташування ґрунтових вод.

Оглеєні горизонти мають сизувате, брудно-зеленувате або голубувате забарвлення. Розрізняють дві основні категорії залежно від ступеня оглеєності:

а) глеюваті ґрунти, на яких ознаки оглеєності спостерігаються лише в материнській породі та нижній частині ілювіального горизонту;

б) глейові ґрунти, де оглеєння охоплює весь ілювіальний горизонт.

Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти зберігають ознаки дерново-підзолистих ґрунтів. Під гумусовим горизонтом залягає вимитий білястий елювіальний пісок. Глибина цього горизонту коливається в межах 10–40 см. Під елювієм чітко виділяється ілювіальний горизонт, який має вигляд брудно-бурого ущільненого глинисто-піщаного прошарку.

Оглеєні ґрунти відзначаються низьким вмістом органічної речовини та збільшеною кислотністю, спричиненою активним рухом алюмінієвих іонів, яка є особливо несприятливою для рослинного росту. Негативний вплив на рослини також здійснюють закисненими сполуками у ґрунтовому розчині. Близькість до ґрунтових вод та періодична перезволоженість цих ґрунтів визначають необхідність виконання агро меліоративних заходів, насамперед осушення ґрунту.

Для одержання високих урожаїв на оглеєних ґрунтах необхідно проводити їхнє вапнування та вносити мінеральні й органічні добрива. На дерново-підзолистих оглеєних ґрунтах вирощують овочеві, технічні та кормові культури, включаючи трави.

Опідзолені ґрунти. Опідзолені ґрунти утворились на лесових породах. Серед них можна виділити світло-сірі, сірі та темно-сірі опідзолені ґрунти, а також чорноземи опідзолені. Материнською породою для цих ґрунтів є лес та лесовидні суглинки.

Структура профілю *світло-сірих опідзолених ґрунтів* подібна до дерново-підзолистих. Гумусовий горизонт у них не перевищує 20–25 см, під ним чітко виділяється елювіальний. Під елювіальним, на глибині 28–30 см розташований бурий, ущільнений, горіхуватої структури ілювіальний горизонт, який поступово переходить у вилугований лес. Середні показники фізико-хімічних властивостей та гранулометричного складу опідзолених ґрунтів наведено в табл. 1.20 і 1.21 [143].

Таблиця 1.20

Фізико-хімічні властивості сірих опідзолених ґрунтів

Ґрунт	Глибина зразка, см	рН	Гідролітична кислотність	Сума ввібраних основ	Ступінь насичення основами	Гумус, %
			мг-екв на 100 г ґрунту			
світло-сірий опідзолений легкосуглинковий	0–20	5,7	2,67	9,30	71,6	1,43
	20–30	4,8	2,39	–	–	0,50
сірий опідзолений легкосуглинковий	0–20	5,7	2,49	10,67	76,5	1,76
	30–40	–	2,23	–	83,7	0,93
темно-сірий опідзолений крупнопилувато-легкосуглинковий	0–20	5,9	2,31	12,20	81,5	2,88
	30–40	5,8	2,34	11,23	82,8	1,31

Таблиця 1.21

Гранулометричний склад опідзолених ґрунтів, %

Ґрунтова відміна	Глибина зразка, см	Розмір частинок, мм						
		пісок		пил			мул	фізична глина
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	0,01
світло-сірі опідзолені легкосуглинкові	0–20	0,39	35,25	38,10	2,14	6,06	11,90	20,10
	50–60	3,21	12,74	50,96	5,76	1,70	23,92	30,38
	70–80	0,05	12,47	54,46	6,10	5,30	21,29	31,60
сірі опідзолені крупнопилувато-легкосуглинкові	0–20	0,02	10,33	62,72	5,12	4,82	15,54	25,48
	30–40	0,11	10,05	52,22	5,18	4,48	19,48	29,14
	60–70	0,12	10,33	60,02	4,52	4,32	19,32	28,16
темно-сірі крупнопилувато-легкосуглинкові	0–20	0,38	14,86	62,82	4,56	5,30	10,74	20,60
	30–40	0,06	31,81	36,50	5,52	5,84	18,72	30,18
	60–70	–	11,22	55,04	5,24	5,06	21,58	31,88

Вміст гумусу в орному шарі світло-сірих опідзолених ґрунтів варіюється у межах 0,8–2,5%, рН сольової витяжки знаходиться в інтервалі 4,8–6,6, а ступінь насичення основами коливається від 50% до 80%.

Сірі опідзолені ґрунти відрізняються від світло-сірих більш розвиненим гумусовим (30–35 см) і слабкішим елювіальним горизонтом. Ілювіальний горизонт у них також менш помітний і більше гумусований (1,7–2,5% гумусу).

Його характеристиками є понижена кислотність (рН 5,2–7,0), вищий рівень насичення основами (76–95%) і підвищений зміст поживних речовин. Однак природна родючість цих ґрунтів недостатня для одержання на них високих урожаїв.

Темно-сірі опідзолені ґрунти відзначаються вищою природною родючістю порівняно з іншими ґрунтовими типами. У цих ґрунтах спостерігається загальна глибина гумусового горизонту, яка досягає 50–60 см, при одночасному вмісті гумусу в орному шарі на рівні 2,5–3,7%. Реакція ґрунтового розчину у межах цього типу ґрунтів коливається від слабокислої до лужної (рН 5,9–7,0). Орний шар добре насичений основами (81–97%), валовий вміст фосфору – 0,1–0,4%, калію – 1,4–2,6% [38; 39].

Оглеєні відміни опідзолених ґрунтів характеризуються, порівняно з неоглеєними, більш щільним і в'язким ілювіальним горизонтом, меншим вмістом гумусу, дещо більшою кислотністю і меншою насиченістю основами. Ці ґрунти краще забезпечені вологою, а в дощові періоди навіть схильні до перезволоження.

З метою підвищення родючості оглеєних опідзолених ґрунтів рекомендується впровадження агрономічних заходів, спрямованих на покращення фізико-хімічних властивостей ґрунтового профілю. Важливим елементом цього процесу є здійснення заходів, спрямованих на поглиблення орного шару та забезпечення його оптимального стану, зокрема, підтримання

пухкості. Для одержання високих урожаїв потрібно також збільшувати вміст поживних речовин і знижувати кислотність цих ґрунтів

Серед опідзолених ґрунтів особливу увагу привертають *опідзолені чорноземи*, які вирізняються високою природною родючістю, обумовленою помітним впливом підзолистого процесу. Ця особливість проявляється у їхній морфологічній структурі та фізико-хімічних характеристиках, таких як пластична структура підорного шару та присипка з кремнезему. Додатково, відзначається невеликим підвищенням кислотності верхніх горизонтів порівняно з нижніми шарами ґрунту.

За вмістом гумусу, опідзолені чорноземи можна класифікувати на дві основні категорії: слабогумусні, де вміст гумусу не перевищує 3%, та малогумусні, де цей показник перевищує 3%. Відповідно до товщини гумусованої частини ґрунтового профілю, опідзолені чорноземи поділяються на глибокі (до 120–130 см) і неглибокі (до 80–110 см).

Додатково, можна виділити категорії чорноземів залежно від присутності карбонатів. Чорноземи класифікуються як карбонатні, якщо карбонати присутні на глибині до 30 см від поверхні. Типові чорноземи характеризуються наявністю солей вуглекислого кальцію і магнію на глибині 40–60 см. У випадку вилугованих чорноземів ці солі вимиті в нижню частину профілю.

Верхній горизонт характеризується слабокислою або нейтральною реакцією ґрунтового розчину (табл. 1.22). Гранулометричний склад чорноземних легкосуглинкових ґрунтів наведений в табл. 1.23. Структура орного шару зернисто-грудкувата.

Таблиця 1.22

Фізико-хімічні властивості опідзолених чорноземних ґрунтів

Ґрунт	Глибина зразка, см	рН	Гідролітична кислотність	Сума ввібраних основ	Ступінь насичення основами	Гумус, %
			мг-екв на 100 г ґрунту			
чорнозем неглибокий малогумусовий легкосуглинковий	0–20	6,5	–	19,90	95,00	3,20
чорнозем глибокий слабогумусований легкосуглинковий	0–20	6,7	–	19,80	92,50	2,70

Мікробіологічна активність цих ґрунтів висока. Однак, у зв'язку з невеликою кількістю гумусу у цих ґрунтах, азотні добрива спричиняють значний позитивний ефект. Фосфорною кислотою, у доступній для рослин формі, ці ґрунти забезпечені краще, тому ефективність фосфорних добрив дещо нижча, ніж азотних. Калійні добрива також малоефективні, але сумісне їхнє внесення з азотними і фосфорними дає добрі результати.

Таблиця 1.23

Гранулометричний склад опідзолених чорноземних ґрунтів, %

Ґрунтова відміна	Глибина зразка, см	Розмір частинок, мм						
		пісок		пил			мул	фізична глина
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	0,01
чорноземи неглибокі малогумусні крупнопилувато- легкосуглинкові	0–20	0,17	11,32	61,30	4,26	4,98	16,32	25,76
	25–35	0,14	7,45	62,44	5,72	4,00	18,70	28,52
	45–50	0,04	9,52	56,72	3,64	4,12	15,20	22,96
чорноземи глибокі малогумусні вилугувані крупно-пилувато- легкосуглинкові	0–20	0,15	10,25	58,80	4,54	3,96	20,34	28,84

Лучні ґрунти. Лучні ґрунти утворилися на понижених елементах рельєфу і в заплавах річок. У порівнянні з дерновими ґрунтами, вони відрізняються більш глибоким гумусованим профілем, глибини до 70 см, і вищим вмістом гумусу, що досягає 5%. Гумусовий дернинний горизонт, як правило, характеризується добре структурованою будовою.

Ґрунтоутворними породами є алювіальні, делювіальні та льодовикові відклади. При формуванні лучного ґрунту на карбонатних делювіальних відкладах профіль може бути окарбоначений.

Залежно від глибини залягання ґрунтових вод і ступеня оглеєння виділяють лучні глейові та лучно-болотні ґрунти. У лучних глейових ґрунтах ґрунтові води розміщені на глибині 56–100 см, при цьому ознаки оглеєння простежуються у всьому профілі. У лучно-болотних ґрунтах ґрунтові води залягають близько до поверхні, а часто і виходять на неї.

На зниженнях вододілів, на терасах і підвищених ділянках заплавл зустрічаються лучно-чорноземні ґрунти, які сформувались під трав'яною рослинністю в умовах близького залягання ґрунтових вод. Таким ґрунтам притаманні ознаки як чорноземів, так і лучних ґрунтів. У нижній частині їхнього профілю спостерігаються прояви оглеєння. У порівнянні з чорноземами вони більш гумусовані і зволожені. За їх родючістю вони відносяться до класу чорноземів, що робить їх придатними для вирощування всіх видів сільськогосподарських культур, насамперед овочевих, а також для створення культурних сінокосів і пасовищ.

Фізико-хімічні властивості та гранулометричний склад лучних і лучно-чорноземних ґрунтів наведені в табл. 1.24 та 1.25 [143].

Лучні, лучно-болотні, а особливо лучно-чорноземні ґрунти відзначаються високою потенційною природною родючістю, що робить їх ефективними для успішного вирощування овочевих та кормових культур.

Болотні ґрунти. Болотні ґрунти формуються в умовах надмірного зволоження, під впливом болотного процесу ґрунтоутворення, характерною ознакою якого є оглеєння і торфоутворення. У заболочених територіях, в

умовах достатньої кількості вологи, внаслідок інтенсивного росту різноманітних трав спостерігається активне нагромадження значних мас органічних речовин.

Таблиця 1.24

Фізико-хімічні властивості лучних і лучно-чорноземних ґрунтів

Ґрунт	Глибина зразка, см	рН	Гідролітична кислотність	Сума ввібраних основ	Ступінь насичення основами	Гумус, %
			мг-екв на 100 г ґрунту			
лучні глейові супіщані	0–20	4,0	3,04	14,10	89,10	2,50
лучні глейові легкосуглинкові	0–20	5,5	1,80	20,00	89,50	4,70
лучно-чорноземні легкосуглинкові	0–20	6,6	0,91	23,51	97,12	3,96

Таблиця 1.25

Гранулометричний склад лучних і лучно-чорноземних ґрунтів

Ґрунтова відміна	Глибина зразка, см	Розміри частинок, мм						
		пісок		пил			мул	фізична глина
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001		
лучні середньоглейові легкосуглинкові	0–20	3,66	41,07	26,84	1,2	5,84	18,64	25,68
	25–35	7,01	34,34	26,36	5,52	4,48	20,24	30,24
	140–150	40,99	33,28	11,84	0,92	0,16	12,68	13,76
лучні чорноземні супіщані	0–20	25,00	42,98	18,94	2,56	0,86	9,00	12,42
	70–80	33,10	31,19	20,53	1,32	1,44	11,46	14,22
	150–160	30,88	48,98	10,40	1,36	1,18	6,68	9,22

Надмірне насичення вологою поверхні ґрунту викликає обмеження вільного доступу повітря до ґрунту, що сприяє виникненню анаеробних процесів під час розкладання органічної маси. У результаті цього процесу органічна речовина не встигає повністю розкладатися мікроорганізмами, і її кількість постійно збільшується, формуючи бурий торф. Такий тип ґрунтоутворення визначається різним ступенем розвитку болотного процесу. Кожна фаза характеризується власними рослинними формаціями, які чергуються залежно від зміни умов існування рослин та наявності анаеробних мікроорганізмів (див. рис. 1.10).

Болотні ґрунти, згідно з їхнім походженням, ботанічним складом, з якого сформувався торф, рельєфом місцевості та характером водного живлення, підлягають класифікації на три основних типи: низинні, перехідні та верхові.

Торф'яники перехідного і верхового типу становлять вкрай рідкісне явище, займаючи всього 5% від загальної площі болотних ґрунтів. Вони розташовані на вододілах в областях невеликих височин із атмосферним водним живленням. Їм характерна менша ступінь розкладу торфу порівняно з низинними аналогами, низька зольність та кисла реакція ґрунтового розчину. Внаслідок цих особливостей вони виявляються менш придатними для

сільськогосподарського використання, замість цього їх доцільніше використовувати на паливо, підстилку тощо.

Переважаючим типом водного живлення низинних торф'яників є ґрунтово-напірне, води якого більш мінералізовані, ніж поверхневі. Ця особливість сприяє формуванню багатшого та різноманітного рослинного покриву порівняно з торф'яниками, розташованими на верхових і перехідних болотах.

За потужністю торф'яного шару торф'яники поділяють на неглибокі (50–100 см), середньоглибокі (100–200 см), глибокі (200–400 см) і дуже глибокі (понад 400 см).

Особливістю добре розкладених торфів є їхній характерний рівень зольності, який визначається специфікою водно-мінерального живлення. Залежно від кількості золи, торф'яники класифікуються як мало- і середньозольні (до 20%), багатозольні (20–50%), мулувато-торф'яні (50–80%) і мінерально-болотні (понад 80%).

Ґрунти низинних боліт можуть мати слабкокислу, нейтральну і лужну реакцію ґрунтового розчину (рН=5,0–8,0). Вони мають високу ємність поглинання, відносно високу насиченість кальцієм і магнієм. Містять значні запаси азоту (2,6–4,0%), інколи фосфору, але вкрай невелику кількість калію (0,01–0,1%). Низинні торф'яники також виявляють дефіцит мікроелементів, а, отже, без внесення мікродобрих не забезпечують задовільних урожаїв.

Фізико-хімічні та водно-фізичні властивості торф'яного ґрунту болота Чемерне (Рівненська область), яке є типовим для зони Полісся, наведені в табл. 1.26 та 1.27 [143].

Таблиця 1.26

Фізико-хімічні властивості торф'яного ґрунту болота Чемерне (Рівненська обл.)

Глибина зразка, см	Органічна речовина, %	Зольність, %	рН	Валовий запас, %				
				Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	N ₂ O
15–20	85,4	14,6	4,3	3,85	0,05	0,31	3,01	5,47
40–45	90,9	9,1	5,6	3,71	0,02	0,10	2,41	8,21

Таблиця 1.27

Водно-фізичні властивості торф'яного ґрунту болота Чемерне (Рівненська обл.)

Глибина зразка, см	Питома вага, г/см ³	Щільність ґрунту, г/см ³	Загальна пористість, %	Гігроскопічна вологість, %	Повна вологоємність, %
10–20	1,57	0,265	83,2	32,0	338,2
40–50	1,54	0,190	91,0	28,9	526,0

Торф'яні ґрунти, у порівнянні з мінеральними, проявляють виражені відмінності за основними властивостями. Їхня щільність складення у 2,5–10 разів менша, ніж мінеральних, у них значно більше продуктивної вологи, незважаючи на велику кількість недоступної вологи.

За ступенем розвитку торф'яного (органогенного) горизонту виділяються різні типи торф'яних ґрунтів, а саме: мулуватоглейові, торф'янистоглейові, торф'яноглейові і торф'яники. Також розрізняються болотні ґрунти, що виникають на різних типах мінеральних порід, таких як пісок та супісок, суглини та глини, а також на лучних мергелях і вапняках.

Мулуватоглейові ґрунти характеризуються відсутністю суцільного торфового шару. На їхній поверхні виявляється лише гумусовий оторфований горизонт, у якому спостерігаються напіврозкладені і нерозкладені рештки болотної рослинності на тлі мінеральної маси. Потужність цього горизонту коливається від 15 до 45 см. Відзначається темно-сірим, майже чорним кольором, вологим, в'язким, та плавним переходом у сизо-сіру текстуру з вохристо-іржавими плямами породи.

Торф'янисто і торф'яноглейові ґрунти мають такий самий профіль, як і мулуватоглейові. Однак вони відрізняються наявністю торф'яного шару, що розташований на їхній поверхні. Товщина цього шару становить 20–30 см у випадку торф'янистоглейових ґрунтів та 30–50 см у торф'яноглейових. Під торф'яним шаром розташований глейовий горизонт, який може виявляти слабкі ознаки гумусу у своїй верхній частині.

Заболочування може розвиватись під впливом як прісних і слабкомінералізованих вод, так і вод, що містять значну кількість солей: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , NaCl , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , NaHCO_3 та ін. У результаті цього процесу формуються солончаки та солончакові болотні ґрунти, які збагачені легкорозчинними солями натрію.

Осушення та розорювання торф'яників суттєво впливають на ґрунтоутворення, їхній склад та властивості. Замість накопичення торфу відбувається його розкладання, при цьому окислювальні процеси переважають над відновлювальними. Внаслідок цього верхній горизонт торф'яних ґрунтів розкладається та поступово перетворюється на перегнійно-торф'яний. Крім того, відбуваються зміни у агрохімічних та біологічних властивостях ґрунтів.

Дернові ґрунти. Дернові ґрунти поширені серед дерново-підзолистих ґрунтів. Від загальної площі орних земель Полісся вони становлять 7%. Ці ґрунти характеризуються особливістю поширення на територіях, де присутні карбонатні ґрунтоутвірні породи, такі як вапняки, крейдиані відклади, мергелі та окарбоначені суглинки. Вони мають добре виражений гумусовий горизонт (10–30 см), високу насиченість кальцієм і магнієм, нейтральну або слабкокислу реакцію гумусового горизонту, значний вміст перегною (3–5% і більше), досить міцну грудкувату структуру, високу природну родючість.

У випадку, коли дернові ґрунти формуються в місцях близького залягання підґрунтових вод, то перехідний горизонт та ґрунтоутвірна порода можуть бути оглеєними.

Піщані і глинисто-піщані відміни відзначаються низькою природною родючістю. Вони слабо насичені основами, містять мало гумусу і поживних речовин [143] (табл. 1.28, 1.29).

Таблиця 1.28

Фізико-хімічні властивості дернових ґрунтів

Ґрунт	Глибина зразка, см	pH	Гідролітична кислотність	Сума ввібраних основ	Ступінь насичення основами	Гумус, %
			мг-екв на 100 г ґрунту			
дернові глейові глинисто-піщані	0–20	5,3	2,9	2,6	42,1	1,70
дернові глейові супіщані	0–20	5,5	1,7	4,2	31,7	2,70
дерново глейові карбонатні суглинкові	0–20	6,9	0,8	–	–	5,12

Таблиця 1.29

Гранулометричний склад дернових ґрунтів, %

Ґрунтова відміна	Глибина зразка, см	Розмір частинок, мм						
		пісок		пил			мул	фізична глина
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001		
дернові глейові супіщані	0–20	49,93	33,96	9,40	2,28	3,32	6,20	11,80
	40–50	40,11	39,68	8,58	1,82	2,32	7,04	11,18
	70–80	26,63	37,14	24,46	2,34	4,24	4,52	11,10
лучно-чорноземні супіщані	0–20	40,09	9,02	18,75	11,84	7,69	11,14	30,67
	30–40	39,15	10,15	18,14	14,15	3,73	12,53	30,41
	100–110	31,18	11,79	25,17	25,17	3,85	12,75	31,09

Дернові ґрунти, які утворились на карбонатних суглинках, мергелях і на елювії щільних карбонатних порід, мають високий ступінь насиченості кальцієм, більше гумусу і поживних речовин для рослин, але бідні на калій. Ці ґрунти можуть забезпечувати високі врожаї сільськогосподарських культур, однак для цього необхідно вносити значні дози калійних добрив.

Дернові ґрунти, які утворились на карбонатних суглинках, мергелях і на елювії щільних карбонатних порід, мають високий ступінь насиченості кальцієм, більше гумусу і поживних речовин для рослин, але бідні на калій. Ці ґрунти можуть забезпечувати високі врожаї сільськогосподарських культур, однак для цього необхідно вносити значні дози калійних добрив.

Значні території Полісся характеризуються наявністю еродованих ґрунтів. Вітрова ерозія, або дефляція, особливо поширена на піщаних та торфових ґрунтах, наносить значні збитки прилеглим земельним угіддям. Важливим заходом закріплення пісків є їхнє заліснення. У районах із хвилястим рельєфом, під впливом поверхневого стоку талої та зливової води, розвиваються яри та круті береги балок.

Ефективними методами протидії водній ерозії є залісення та задернування ярів, спорудження підпірних стінок, лотків, перепадів та інших гідротехнічних споруд, проведення агро меліоративних заходів тощо.

Отже, для Полісся характерний строкатий ґрунтовий покрив. Істотним недоліком ґрунтів є кисла реакція ґрунтового розчину (площа, зайнята кислими ґрунтами з рН менше 5, становить 34%) і недостатній вміст поживних речовин, що зумовлено низьким запасом гумусу в орному шарі ґрунту (менше 100–200 т/га). Зазначений дефіцит гумусу призводить до нестачі загального азоту. Враховуючи легкий гранулометричний склад та періодичний промивний характер водного режиму, ґрунти Полісся втрачають рухомі форми азоту.

У дослідженнях ґрунтового складу Полісся встановлено, що вміст рухомих сполук фосфору в них є низьким. Лише 13% обсягу орних земель припадають на ґрунти з підвищеною та високою концентрацією фосфору. Вміст фосфору залежить від гранулометричного складу ґрунтів.

Аналіз також показав, що забезпеченість калієм у ґрунтах Полісся корелює з наявністю в них мулу. На 10% площі орних земель виявлено підвищений та високий вміст рухомого калію, в середньому – на 28%, тоді як на 62% площі спостерігається низький рівень калію. Вміст мікроелементів у ґрунтах даної зони виявився низьким.

Орні землі на Поліссі займають 45% усієї земельної площі. Значна частина зони зайнята лісами, чагарниками та болотами. Ліси займають 30% території, а площа заболочених земель становить половину площі лісових угідь в Україні. У західних районах Полісся понад 70% земель характеризуються вираженою кислотністю, в той час як в інших частинах даної зони цей показник перевищує половину.

У результаті вапнування кислих ґрунтів відбувається часткова нейтралізація кислотної реакції ґрунту, що призводить до поліпшення умов живлення рослин. Окрім того, збільшується ефективність використання органічних та мінеральних добрив. При проведенні комплексних меліорацій ґрунтів відзначається трансформація структури земель у сторону збільшення площі слабкокислих ґрунтів за рахунок зменшення площі середньокислих та сильнокислих ґрунтів.

Одним із заходів підвищення родючості ґрунтів на Поліссі є періодичне поглиблення орного шару, що часто співпадає з потужністю гумусово-елювіального горизонту. При цьому вносять органічні добрива або застосовують сидеральні культури.

Внесення органічних і мінеральних добрив на бідних ґрунтах Полісся має велике значення для підвищення їхньої родючості. Цей процес відіграє вирішальну роль у покращенні агрохімічних властивостей ґрунтів та сприяє оптимальному забезпеченню рослин необхідними поживними речовинами.

Болотні ґрунти Полісся використовуються лише після їхнього осушення, причому їхня продуктивність зростає при двосторонньому

регулюванні водно-повітряного режиму. Такий підхід дозволяє оптимізувати умови для розвитку рослин та забезпечує підвищення ефективності використання болотних ґрунтів у сільському господарстві.

1.6. Аналіз можливості застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агро меліоративного заходу щодо змінюваних умов та вимог

На сьогоднішній день питанню дослідження стану використання осушених земель присвячено роботи багатьох вчених та практиків. Різними аспектами осушення перезволожених ґрунтів займалися багато вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема Ф.Р. Зайдельман, П.І. Закржевський, А.М. Янголь, С.Т. Вознюк, В.Є. Алексєєвський, О.Я. Олійник, В.Л. Поляков, А.В. Яцик, Л.Ф. Кожушко, О.В. Скрипник, М.О. Клименко, М.О. Лазарчук, Engelsmann K., Ernst, Hooghoudt, Kirkham, Kunze G., Ramanauskas, Schilfgoarde, Ylover R. та ін. Меліоративному стану осушуваних земель на заході України присвячені дослідження Б.І. Козловського [56]. В.С. Мошинського [118] тощо. Ними встановлено, що осушення та сільськогосподарське використання змінюють напрямок і темпи розвитку ґрунтових процесів, водно-фізичні властивості ґрунтів, у цілому підвищують їх продуктивність. Але, разом з тим, остаточно не усуваються і негативні, по відношенню до вирощуваних культур, властивості цих ґрунтів.

За результатами існуючих досліджень осушуваних мінеральних ґрунтів Західного Полісся України [31; 113] у мінеральних ґрунтах легкого гранулометричного складу осушення викликає значні зміни у їх вологозабезпеченості у вологі та посушливі періоди вегетації, що відбивається на водно-фізичних властивостях. І хоча в орному шарі, за допомогою регулярного обробітку, підтримується в цілому сприятлива для вирощуваних сільськогосподарських культур структура ґрунту, у більш глибоких його горизонтах, оглеєних і ущільнених, з низькою шпаруватістю та аерацією, після осушення негативні властивості зберігаються і посилюються. Так, ілювіальний піщано-суглинистий горизонт дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів при висиханні ущільнюється, а загальне зниження вологості після осушення, крім позитивного впливу, має також відчутний негативний ефект через значне ущільнення підорних горизонтів [31].

Залежно від генезису та гранулометричного складу перезволожених мінеральних ґрунтів Західного Полісся осушення впливає на їх щільність неоднаково. Найбільш різкі зміни спостерігаються в ілювіальному горизонті дерново-підзолистих глейових супіщаних ґрунтів на глибині 0,37–0,70 м. Щільність тут збільшується на $0,18 \text{ т/м}^3$, що значно перевищує $\text{НСР}_{05}=0,11 \text{ т/м}^3$. У цьому горизонті щільність складає $1,81 \text{ т/м}^3$ – найбільша (табл. 1.30).

Таблиця 1.30

Вплив осушення на щільність перезволожених мінеральних ґрунтів Західного Полісся [126]

Генетичний горизонт	Глибина відбору зразків, м	Щільність, т/м ³			Загальна шпаруватість, %			Твердість, т/м ²		
		осушений	не осушений	НСР ₀₅ , т/м ³	осушений	не осушений	НСР ₀₅ , %	осушений	не осушений	НСР ₀₅ , т/м ²
дерново-підзолистий глейовий глинисто-піщаний										
HE	0–0,2	1,53	1,49	–	41,5	40,8	–	80	70	–
Pegl	0,2–0,3	1,67	1,60	0,07	39,3	41,1	2,0	250	90	30
Pigl	0,3–0,6	1,77	1,62	0,10	36,7	39,0	1,5	290	120	70
Igl	0,6–0,9	1,72	1,71	–	39,6	39,5	–	140	130	–
Pgl	0,9–1,2	1,68	1,66	–	41,5	40,8	–	80	70	–
дерново-підзолистий глейовий супіщаний										
HE	0–0,22	1,41	1,47	–	41,9	39,4	–	140	100	–
Egl	0,22–0,37	1,72	1,61	0,09	40,1	38,2	1,8	300	190	50
Igl	0,37–0,7	1,81	1,63	0,11	33,0	37,0	2,4	420	250	40
Pgl	0,9–1,2	1,69	1,67	–	37,8	38,4	–	160	130	–
дерновий глейовий глинисто-піщаний										
HE	0–0,35	1,29	1,20	0,08	41,0	40,5	–	110	80	–
Hpgl	0,35–0,5	1,65	1,63	0,12	38,2	39,1	–	360	180	90
Phgl	0,5–0,65	1,76	1,62	–	36,3	38,5	1,9	370	220	60
Pgl	0,65–1,0	1,72	1,69	–	39,5	39,2	–	150	140	–

У дерново-підзолистому глинисто-піщаному ґрунті також спостерігається значне збільшення щільності в ілювіальних горизонтах (на 0,15 т/м³), а на глибині 0,2–0,3 м різниця не перевищує НСР₀₅. В шарах ґрунту 0,6–0,9 м і 0,9–1,2 м щільність не змінюється, а в орному шарі проявляється слабка тенденція до його ущільнення [31].

При довготривалому сільськогосподарському використанні земель, внаслідок оранки на постійну глибину і багаторазової дії ходових частин сільськогосподарських та транспортних машин, відбувається осідання вимитих з верхнього орного шару мулуватих частинок, ґрунт ущільнюється в 1,2–1,4 рази на глибину до 0,4–0,6 м (у деяких випадках до 1,25 м). У колії колісних тракторів щільність ґрунту на глибину 0,2–0,3 м може зростати на 0,18 т/м³, порівняно з не ущільненим ґрунтом, і сягати 1,3–1,4 т/м³. При цьому різко погіршується водно-повітряний режим, у 3–4 рази зростає твердість, у 3–5 разів зменшується водопроникність ґрунту.

Особливо несприятливі умови для розвитку сільськогосподарських рослин створюються в результаті довготривалого обробітку на одну і ту ж глибину плоскими лемешами плугів та плоскорізів, що призводить до формування підорної підшви високої щільності з малою кількістю мікрошпарин. Зі збільшенням щільності ґрунтів при осушенні відповідно зменшується їх шпаруватість (див. табл. 1.30).

Зменшення шпаруватості до 33% в ілювіальному горизонті дерново-підзолистого супіщаного ґрунту, осушеного дренажем, характеризує дуже несприятливе, надмірно ущільнене складення ґрунту. Піщано-середньосуглинистий гранулометричний склад цього горизонту зумовлює несприятливу диференціальну шпаруватість і, зокрема, незначний об'єм активних повітряно-провідних шпар, що призводить до порушення нормального газообміну [31].

Якщо щільність орного шару ґрунту постійно регулюється прийомами обробітку, то в підорних горизонтах з перших років осушення вона залишається підвищеною.

Зменшення вологості й ущільнення ґрунтів сприяють збільшенню їх твердості (питомого опору втисканню) (див. табл. 1.30).

В підорних горизонтах усіх осушених ґрунтів спостерігається різке підвищення твердості (коливання пояснюється різницею у вологості). На глибині 0,7–1,0 м, де вологість і щільність осушеного і не осушеного ґрунту мало відрізняються, твердість практично однакова.

Збільшення твердості ґрунту при осушенні негативно впливає на розвиток сільськогосподарських культур. Тверді глейові горизонти після висихання стають перепоною для розвитку і функціонування кореневої системи культурних рослин. У сухий твердий ґрунт коріння проникає погано або взагалі не проникає.

Відомо, що більшість сільськогосподарських рослин найкраще розвиваються при твердості ґрунту 150–250 т/м². Якщо ж твердість збільшується до 350 т/м², польові культури розвиваються гірше, а при більшій твердості вони взагалі не ростуть.

Таким чином, для підтримання й тим паче підвищення родючості осушуваних ґрунтів, обов'язково необхідно застосовувати заходи щодо зменшення твердості кореневмісного шару ґрунту

В результаті осушення змінюються також фільтраційні властивості ґрунтів. експериментальні дані констатують тенденцію до зменшення водопроникності після осушення більш ніж на 30%. Так для дерново-підзолистих глейових глинисто-піщаних ґрунтів коефіцієнт фільтрації з поверхні після осушення зменшився з 0,21 до 0,15 м/добу, а для дерново-підзолистих глейових супіщаних з 0,007 до 0,011 м/добу [126]. При ущільненні ґрунту фільтрація його може зменшитися у 2–5 разів. Також на ефективність використання ґрунтових вод впливає глибина залягання ґрунтового шару та тип ґрунту (табл. 1.31).

Як видно з табл. 1.31 при зменшенні активного шару волого обміну ефективність використання вологи рослинами зменшується приблизно на третину, що відображається на врожайності. Кореневий шар більшості основних рослин лежить в межах 0,6–1,0 м, що є значно глибше ніж обробляється при звичайній оранці (табл. 1.32).

Таблиця 1.31

Коефіцієнт використання ґрунтових вод [113]

Глибина залигання ґрунтових вод	Шар активного вологообміну, м							
	легкий ґрунт				важкий ґрунт			
	<0,4	<0,6	<1,0	>1,0	<0,4	<0,6	<1,0	>1,0
1,0	0,25	0,40	0,55	0,90	0,30	0,35	0,50	0,90
1,5	–	0,10	0,25	0,80	0,10	0,25	0,35	0,70
2,0	–	0,05	0,15	0,50	–	0,10	0,25	0,40
3,0	–	–	–	0,05	–	–	0,05	0,15

Таблиця 1.32

Потужність кореневого шару [113]

Посівна культура	Нижня границя вологості ґрунту, % НВ (найменшої вологоємності)			Розрахункова потужність кореневого шару, м
	важкий	середній	легкий	
озима і яра пшениця	75	70	65	1,0
цукровий буряк	80	75	70	0,7–0,8
кукурудза	75	70	65	1,0
багаторічні трави	75	70	60	1,0
картопля	75	70	65	0,7–0,8
овочі	80	75	70	0,6–0,7
зернобобові	75	70	65	0,7–0,8

Отже, при осушенні мінеральних супіщаних і глинисто-піщаних ґрунтів збільшується їх щільність і твердість, зменшується шпаруватість і водопроникність. У результаті осушення підвищується твердість саме підорних горизонтів ґрунту. Їх висока щільність є дуже негативною властивістю, оскільки зменшує водопроникність ґрунтів і при малій потужності орних шарів затримує в них на тривалий час надлишкову вологу. Крім того, висока твердість цих шарів заважає проникненню кореневої системи рослин у нижчі шари ґрунту [31].

Таким чином, водно-фізичні властивості дерново-підзолистих ґрунтів і після дренажу залишаються в цілому несприятливими, а тому потребують обов'язкового застосування супутніх з дренажем агро меліоративних заходів (глибокого розпушення, кротування, щілювання). При цьому, також має місце неефективна робота дренажу, зумовлена слабкою водопроникністю підорних горизонтів і дренажної засипки, а також недостатньою окультуреністю орного шару.

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

Для зменшення та усунення негативних наслідків осушення багато дослідників наголошує на необхідності суміщати влаштування дренажу з низкою агро меліоративних заходів, спрямованих на покращення його макроструктури та водно-фізичних властивостей, збільшення акумуляційної

здатності активного шару ґрунту тощо (С.Т. Вознюк, М.О. Клименко, В.Р. Гімбаржевський та ін.).

Свого часу, різними аспектами водорегулювання на осушуваних землях, розробкою, займалися наступні вчені: Авер'янов С.Ф., Балзарявичус П.Ю., Гейтман В.Г., Єнно Ю.П., Івицький А.І., Кравченко В.П., Кожушко Л.Ф., Костяков О.М., Лабренцис В.І., Лазарчук М.О., Мурашко А.І., Олійник О.Я., Пивовар М.Г., Поляков В.Л., Ридигер В.Р., Рокочинський А.М., Скрипник О.В., Старіков Х.М., Сташук В.А., Хлапук М.М., Шкінкіс Ц.Н., Якушев А.І., Янголь А.М., Яцик А.В. та ін. [113; 44; 51].

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

Для ефективного протистояння сучасним викликам енергетичної, продовольчої та водної криз, які посилюються внаслідок наявних змін клімату [122; 113], виникає об'єктивна необхідність у розробці та реалізації адаптивних заходів для аграрного виробництва на землях із регульованим водним режимом, у тому числі і на осушуваних [113; 144].

Згідно з Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату, *адаптація* означає пристосування природних, соціальних чи економічних систем у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні зміни, а також їх наслідки [216; 227; 228].

На підставі аналізу та узагальнення змісту програмних міжнародних і національних документів щодо необхідності та загальних рекомендацій з розробки адаптивних заходів, пов'язаних зі змінами клімату, результатів досліджень і загальної оцінки вітчизняних і зарубіжних вчених і фахівців, а також результатів наших відповідних досліджень щодо оцінювання сучасного стану змін погодно-кліматичних умов, в тому числі і в зоні Полісся, та їх впливу на ефективність ведення сільського господарства, вологозабезпеченість і родючість ґрунтів П.П. Волком було розроблено принципові основи комплексу організаційно-господарських, агротехнічних, агро-меліоративних та гідротехнічних адаптивних заходів, спрямованих на адаптацію аграрного виробництва на осушуваних землях, який дозволить ефективно протистояти сучасним викликам, пов'язаними з наявними та прогнозованими змінами клімату [122; 270; 277; 273; 229; 278].

У числі інших найбільш важливіших досліджень з адаптації аграрного виробництва до змін клімату в цілому, дослідження для зони осушувальних меліорацій, перш за все, повинні бути спрямовані на розробку інноваційних енерго-, водо- та ресурсозберігаючих технологій і новітніх технічних засобів водорегулювання тощо [122].

З поміж іншого, за рекомендаціями П.П. Волка, це можливо здійснити на підставі розробки комплексу адаптивних агро-меліоративних заходів, зокрема, удосконалення технологій і засобів глибокого розпушення ґрунтів,

спрямованих на поліпшення їх водно-фізичних властивостей і акумулюючої здатності, ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі і в межах системи, перехід від традиційного періодичного на реалізацію і забезпечення регулярного зволоження осушуваних земель, удосконалення технологій їх водорегулювання, відповідно, типів меліоративних систем тощо [122; 270].

1.7. Обґрунтування необхідності та шляхів удосконалення глибокого меліоративного розпушення щодо змінюваних умов та вимог

Згідно статті 7 Закону України «Про меліорацію земель» [182] *глибоке меліоративне розпушення* – це один із заходів агротехнічної меліорації земель, яка спрямована на збільшення потужності та поліпшення агрофізичних властивостей кореневмісного шару ґрунтів.

Крім глибокого меліоративного розпушення до агромеліоративних заходів відносять також поглиблення підорного шару, глибоку оранку, кротування, вапнування ґрунту тощо [182; 87].

Глибоке меліоративне розпушення – захід який застосовується головним чином для кришення і розпушення ґрунту з метою поліпшення його фізичних і біологічних властивостей, підвищення водопроникних і повітропроникних характеристик для сприяння розвитку коріння рослин [232], підвищення вбираючої здатності ґрунтів для прискорення відводу води з поля [87; 263; 222; 275; 288; 291].

Можливість застосування глибокого меліоративного розпушення як ефективного агромеліоративного заходу на дерново-підзолистих оглеєних ґрунтах у Західному регіоні України доведено дослідженнями проведеними С.М. Перехрестом, І.Ф. Підпалім, В.С. Олійником, Д.А. Тютюнником, В.П. Кубишкіном та ін. [122; 113]. Розпушення осушуваних ґрунтів на глибину 0,6–0,7 м на фоні закритого дренажу поліпшує їх водно-фізичних властивості та підвищує врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур.

Традиційне глибоке меліоративне розпушення, як допоміжний захід до закритого дренажу, відіграло важливу роль при регулюванні водно-повітряного режиму осушуваних ґрунтів оскільки водно-фізичні властивості ґрунтів і після дренажу часто залишалися в цілому несприятливими. У періоди перезволоження традиційне глибоке розпушення сприяло прискореному звільненню орного шару від надлишку вологи, прискорювало її переміщення у нижче розташовані шари, визначало умови роботи закритого систематичного дренажу шляхом збільшення навантаження на нього. Покращення умов руху гравітаційної вологи під впливом глибокого розпушення у перші роки підсилює дренажний стік у 2–2,5 рази, що прискорює зниження РГВ. Глибоке розпушення значно поліпшує мікробіологічний режим кореневмісного шару ґрунту в цілому. Виявлена позитивна роль глибокого розпушення на накопичення в ґрунті різних

форм вуглецю, азоту, фосфору, калію, а також секвестрації парникових газів, що є дуже актуальним в умовах змін клімату [295; 284; 231; 226; 233; 265; 242; 224].

Передумовою для застосування традиційного глибокого розпушення є тривалі застої води на полях, що утворюються після танення снігу навесні чи після значних та інтенсивних атмосферних опадів. Така картина може бути актуальною як для зони осушення так і для зони зрошення [89; 246].

Глибоке розпушення, яке виконують при закладанні дренажу, називають *капітальним*. Це розпушення виконують у відносно погано водопроникних ґрунтах, коефіцієнт фільтрації підорних горизонтів яких на глибині 0,3–0,4 м менше ніж 0,3 м/добу. Періодично через певні проміжки часу, з метою підтримання сприятливих водно-фізичних властивостей осушених ґрунтів, глибоке розпушення повторюють. Таке розпушення називають *експлуатаційним*. Експлуатаційне розпушення також проводять для руйнування підорної підшови, що утворюється в результаті ущільнення ґрунтів сільськогосподарською та транспортною технікою.

Залежно від гідрологічних, ґрунтових та інших умов традиційно розглядають і застосовують *суцільне, смугове або щілинне розпушення (щілювання)* [122].

Суцільне розпушення – основний вид, направлений на розпушування всієї товщі ґрунту в оброблюваному шарі. Якщо з організаційних причин його неможливо виконати то здійснюють смугове розпушення.

Смугове розпушування здійснюють вузькими роздільними смугами через 4–8 м. Не розпушені ділянки служать своєрідною опорою для рушіїв тракторів під час наступних проходів, що підвищує тривалість ефективності розпушених смуг. В міру окультурення ґрунтів його доцільно застосовувати з подальшим переходом на суцільне глибоке меліоративне розпушування. На ділянках з великою кількістю «блюдець» на важких мінеральних ґрунтах смугове розпушення може доповнюватися кротуванням на глибині 0,7–0,75 м. Відстань між смугами тоді приймають рівною 2–2,5 м для глинистих і 3–4 м для суглинистих ґрунтів.

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

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

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

Для раціонального використання розпушувача при виконанні глибокого розпушення слід правильно визначати напрямок виконання розпушення, довжину і ширину загонів. Напрямок розпушення повинен бути вибраний перпендикулярно до напрямку укладання дренажних ліній на осушуваній ділянці. На меліорованих полях з похилими поверхнями рекомендується проводити розпушення так, щоб воно пересікалось з напрямком дрен.

Залежно від конкретних умов та типу розпушувача глибоке розпушення проводять за такими відомими трьома основними схемами руху агрегату: човниковою, загінною і перехресною (рис. 1.11).

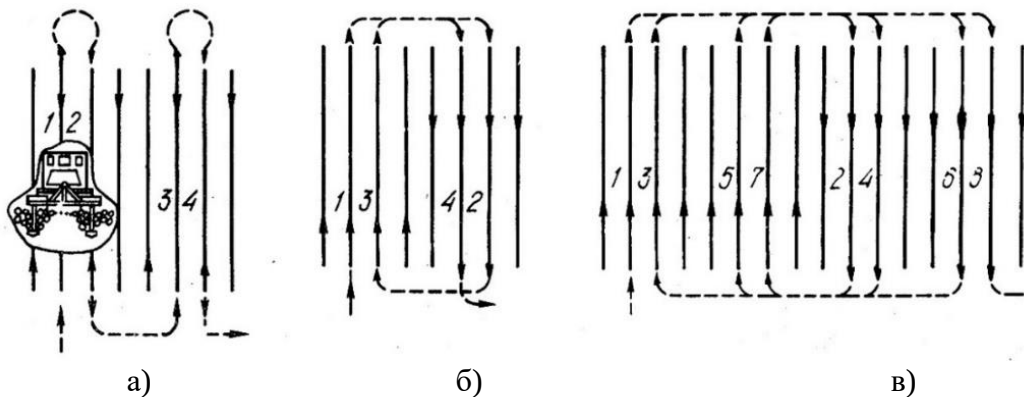


Рис. 1.11. Технологічні схеми руху розпушувача: а) човникова; б) загінна; в) перехресна; 1–8 – номери проходів

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

До основних параметрів глибокого розпушення відносяться: *глибина розпушення; інтервали розпушення; якість розпушення.*

Глибина розпушення залежить від глибини залягання і потужності слабководопроникних ґрунтових горизонтів. Вона повинна бути на 0,2–0,3 м менша за мінімальну глибину закладання дрен, тобто на 0,6–0,7 м. При такій глибині проводять хімічні аналізи ґрунту в зоні розпушення і при виявленні шкідливих сполук глибину розпушення рекомендовано зменшувати.

На ґрунтах з водотривкими прошарками та помірною перезволоженістю, розміщених на слабо дренажованих рівнинах і вирівняних водорозділах, глибина розпушення може становити 0,5–0,6 м.

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 і зменшенні поверхневого стоку. Розпушення осушуваних ґрунтів на глибину 0,6–0,7 м на фоні закритого дренажу поліпшує їх водно-фізичних властивості та підвищує врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур. Найбільший вплив глибина розпушення має у перший рік після його проведення, у подальшому вплив розпушення зменшується.

Інтервали розпушення залежать від водно-фізичних властивостей ґрунту і конструкції робочих органів розпушувача. На ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації меншим за 0,1 м/добу інтервали розпушення повинні бути 0,6–0,8 м. Їх можна збільшити до 1–1,2 м при зменшенні щільності підорного горизонту і наявності водопроникних прошарків.

Якість розпушення ґрунту – комплексне поняття, яке характеризує міру наближення дійсних кількісних показників фізичного стану розпушеного ґрунту до відповідних нормативних (або рекомендованих) кількісних показників, визначених галузевими вимогами. Характеризується *коефіцієнтами розпушення, повноти, структурності, різнозернистості розпушення, додатковою вологемністю ґрунту та енергетичною ефективністю*.

За галузевою ознакою розпушення ґрунтів буває будівельним, меліоративним і сільськогосподарським.

Розпушуваність ґрунтів характеризується *коефіцієнтом розпушення* k_p , який визначається відношенням об'єму розпушеного ґрунту V_p до об'єму того ж ґрунту, який він займав у природному заляганні V [8; 18]

$$k_p = \frac{V_p}{V}. \quad (1.4)$$

Середні значення k_p лежать в межах 1,08–1,35. Менші значення відповідають піщаним ґрунтам, більші – глинистим. З часом розпушений ґрунт «злежується», ущільнюється і зберігає тільки залишкову розпушеність у межах 1,01–1,09 [18].

Повнота розпушення характеризується *коефіцієнтом повноти розпушення* k_n , який є відношенням площі розпушеного ґрунту у поперечному перерізі смуги захвату робочих органів розпушувача F_p до суми площ розпушеного і нерозпушеного ґрунту у цьому ж перерізі $F_p + F_n$ [56]

$$k_n = \frac{F_p}{F_p + F_n}. \quad (1.5)$$

Коефіцієнти k_p та k_n не відображають величини утворюваних структурних ґрунтових агрегатів і це є суттєвим недоліком.

Тому для кількісної оцінки структури ґрунту користуються характеристикою структурного складу ґрунту [107], якою є *коефіцієнт структурності* k_c – відношення за масою ґрунтових агрегатів «цінних» розмірів C до сумарної маси агрегатів інших розмірів B

$$k_c = \frac{C}{B}. \quad (1.6)$$

У цьому випадку, чим більше k_c , тим кращою вважається структура ґрунту. Але оцінка ґрунту буде неадекватною при наявності значної кількості великих ґрунтових скиб, так як коефіцієнт структурності не враховує співвідношення кількості і розмірів ґрунтових агрегатів.

У найбільшій мірі вимоги до розпушення ґрунтів деталізовані в області меліорації і сільського господарства. Це пояснюється тим, що фізичні властивості розпушеного ґрунту опосередковано через водно-повітряний, тепловий та інші режими визначають врожайність сільськогосподарських культур. До цих властивостей відносяться, в першу чергу: щільність, твердість, шпаруватість і структура ґрунту.

Сукупність структурних агрегатів утворюють зерновий склад ґрунту. Зерновим складом ґрунту називають відносний вміст за масою частинок сухого ґрунту різної величини, яка виражена у відсотках до загальної маси сухого ґрунту [212].

Нова методика оцінки структурності ґрунту була запропонована кафедрою сільськогосподарських машин Дніпропетровського державного аграрного університету [132]. Пропонується оцінювати якість обробітку ґрунту за *ступенем подрібнення ґрунту і та коефіцієнтом різнозернистості* $k_{\text{зер}}$.

Показники структурності i та $k_{\text{зер}}$ визначаються методом електронного сканування зображення чи поверхні ґрунтового зрізу з наступною їхньою комп'ютерною обробкою. Позитивним є те, що при цьому структура профілю не порушується, і показники структури ґрунту після розпушення об'єктивно відбиваються у результатах вимірювання.

Ступінь подрібнення ґрунту i характеризує розміри агрегатів, які утворюються після проходження розпушувача. Він являє собою відношення середньостатистичних розмірів структурних агрегатів до D_n і після обробітку D_k . При цьому D_n являє собою умовний теоретичний показник, який залежить від глибини обробітку ґрунту h , ширини захоплення b , приведенного коефіцієнта довжини шару k_L , що залежить від довжини лінії відколу шару. Для відомих знарядь для основного обробітку ґрунту і глибин $0,2 < h < 0,4$ можна прийняти $k_L = 1$ м.

$$i = \frac{\sqrt[3]{hbk_L}}{D_\kappa}. \quad (1.7)$$

Ступінь подрібнення i для отримання агрономічноцінних структурних агрегатів 2–10 мм [2] повинен становити 200–2000 [132].

Коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів $k_{зep}$ характеризує розкид розмірів агрегатів і визначається він як відношення середніх діаметрів агрегатів, що складають 60% (D_{60}) та 10% (D_{10}) маси ґрунтового об'єму

$$k_{зep} = \frac{D_{60}}{D_{10}}. \quad (1.8)$$

Теоретично оптимальне значення $k_{зep} \rightarrow 1$ при $2 < D_{60} < 10$ мм. У реальних умовах бажаним значенням буде $k_{зep} = 9\text{--}16$, хоча прийнятним значенням варто вважати значення $k_{зep} = 10\text{--}70$ [132; 26]. Збільшення значення $k_{зep}$ свідчить про одночасний ріст у розпушеному шарі загальної кількості структурних агрегатів малого і великого діаметрів, тобто агрегатний склад стає більш неоднорідним.

При структурному розпушенні ґрунту (сільськогосподарському, меліоративному) потрібно скорегувати лише його макроструктуру без руйнування структурних ґрунтоагрегатів.

Вагомим показником якості та енергоємності роботи таких робочих органів є *коефіцієнт подрібнення* розробленого ґрунту [132]. Показники якості та енергоємності прямо залежать від співвідношення розмірів і кількості утворених структурних ґрунтоагрегатів.

Коефіцієнт подрібнення всього об'єму буде пропорційний кратності подрібнення поперечного перерізу ґрунтової скиби, що розпушується робочим елементом, яка може бути визначена як відношення початкової площі поперечного перерізу ґрунтової скиби S до площі поперечного перерізу утвореного усередненого ґрунтоагрегату S_κ

$$K_n = \frac{S}{S_\kappa}. \quad (1.9)$$

Для визначення кратності подрібнення через технологічні параметри прийемо припущення, що утворені усереднені ґрунтоагрегати є правильною квадратної форми як найбільш стійкої до подальшого руйнування подрібненням. Можна також припустити, що в подальшому вершини таких ґрунтоагрегатів будуть все таки зруйновані за рахунок взаємодії ґрунтоагрегатів між собою і вони стануть наближено схожі на реальні.

Якщо це припущення вірне то тоді можна записати

$$K_n = \frac{h \cdot L}{l_{к.сер}^2}, \quad (1.10)$$

де h , L – відповідно, висота і ширина поперечного перерізу ґрунтової скиби;

$l_{к.сер}$ – лінійний розмір усередненого ґрунтоагрегату.

Додаткова вологоємність характеризує збільшення акумуляційної здатності активного кореневмісного шару ґрунту h (0,5–0,6 м) за рахунок зменшення його щільності та відповідного збільшення пористості при глибокому розпушенні і визначається як [31]

$$\Delta Wh_p^0 = Wh_p^0 - Wh_n^0, \quad (1.11)$$

де ΔWh_p^0 – показник додаткової вологоємності шару ґрунту h як різниця зміни максимального запасу продуктивної вологи ґрунту після його розпушення.

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

Показник енергетичної ефективності аграрного природокористування на осушених землях E_e визначається як відношення енергетичного потенціалу до енергетичних витрат, а саме

$$E_e = \frac{E_n}{E_e}, \quad (1.12)$$

де E_n – енергетичний потенціал вирощеної продукції, Дж;

E_e – енергетичні витрати на розпушення: витрати на амортизацію тягача та обладнання, витрати паливно-мастильних матеріалів, витрати праці людини.

Показник залежить від ґрунтово-кліматичних умов, ступеня техногенної завантаженості структури посівних площ і наявності науково-обґрунтованих сівозмін.

Енергетичний підхід є альтернативою кількісних показників ефективності. Вперше енергетичний підхід до оцінки ефективності виробництва був застосований українським вченим С.А. Подолинським (1880 р.) і в подальшому йому приділяли багато уваги В.І. Вернадський, О.О. Созінов, О.К. Медведковський [110]. Питаннями енергетичної оцінки ефективності аграрного природокористування на осушених землях займалась О.А. Стахів [184]. На величину цього показника не впливають інші чинники

як внутрішнього, так і зовнішнього впливу, і, таким чином, можна здійснювати достовірний аналіз ефективності використання сільськогосподарських земель та передбачити заходи щодо підвищення ефективності аграрного природокористування, враховуючи витрати енергії і одержаний енергетичний потенціал [31].

Для здійснення глибокого розпушення ґрунту в залежності від умов та типу ґрунту використовуються глибокорозпушувачі різного типу згідно наступної класифікації:

- за призначенням: будівельні, меліоративні, сільськогосподарські;
- за принципом дії: активні: ударні, фрезерні, шнекові;
- пасивні: стоякові, периметрові;
- інтенсифіковані: з використанням фізичних, хімічних, електрохімічних ефектів;
- комбіновані;
- за агрегуванням: навісні, напівнавісні, причіпні;
- за компонуванням: рядні, ярусні, комбіновані;
- за кількістю робочих елементів: 1-, 2- та багатоелементні;
- за формою робочого елемента: полицеві, долотовидні, дискові, ножові.

Активні та пасивно-активні глибокорозпушувачі значно складніші від пасивних за конструкцією робочих органів і в експлуатації через наявність додаткових джерел енергії і рухомих частин та мають обмежену сферу застосування. Вони ефективні тільки при розпушенні на невелику глибину на твердих (скальних) і щільних ґрунтах, а на відносно м'яких, не мерзлих важких ґрунтах, які є характерними для зони осушення, переваг перед пасивними не мають. Застосування активних та пасивно-активних розпушувачів призводить до обмеження швидкості руху через ускладнену динаміку робочого процесу розпушення ґрунту. Зі зростанням швидкості руху та збільшенні глибини розпушення ефект від активних і вібраційних робочих органів значно зменшується, а енерговитрати значно підвищуються в порівнянні з пасивними робочими органами [79].

Для розпушення ґрунту на значну глибину, найбільшого розповсюдження набули пасивні глибокорозпушувачі, які прості за конструкцією і надійні в експлуатації, але потребують потужніших тягачів внаслідок часткової роботи на закритичних глибинах з в'язко-пружно-пластичними деформаціями ґрунту, що є дуже енергозатратним процесом і призводить до значного збільшення опору переміщенню і погіршення якості розпушення. Робочий орган пасивного глибокорозпушувача здійснює розробку ґрунту і поздовжнє його переміщення за рахунок тільки тягового зусилля базового тягача.

Для глибокого розпушування застосовують знаряддя, що включають раму на опорних колесах або навісну з встановленими на ній декількома розпушувальними робочими органами (рис. 1.12) [109; 79].



Рис. 1.12. Конструкції пасивних глибокорозпушувачів: стоякові: а) з долотом; б) з дренажами; в) з поширювачами; г) ярусні відвальні; д) з вигнутими стояками; периметрові: е) клинові; є) дугові.

Вітчизняні та закордонні аграрні й меліоративні глибокорозпушувачі традиційної (рис. 1.12, а, б) та більш сучасних (рис. 1.12, в–є) конструкцій, являють собою стоякові або периметрові робочі елементи, які розпушують ґрунт на максимальну глибину в основному до 0,30–0,35 м – аграрні, і до 0,45–0,65 м – меліоративні (табл. 1.33–1.36) [138].

Таблиця 1.33

**Технічна характеристика агро меліоративних глибокорозпушувачів
вітчизняних виробників**

Параметр	Марка агрегату						
	ГР-1,8	ГР-2,5	ГР-3,4	ГР-4,3	ГР-6,0	АГР-2,3	АГР-3,2
тип обладнання	навісне						
ширина захвату, м	1,8	2,5	3,4	4,3	6,0	2,3	3,2
продуктивність, га/год	1,3–2,0	2,0–2,7	2,7–3,5	3,5–4,5	5,0–6,0	1,5–2,5	2,5–3,6
глибина обробітку, см	25–45	25–50	25–50	25–50	25–50	до 50	до 50
маса, кг	480	720	950	1290	5500	1180	2650
потужність тягача, к.с.	90–120	130–180	160–220	260–340	380–450	150–200	250–300

Таблиця 1.34

**Технічна характеристика меліоративних глибокорозпушувачів традиційної
конструкції**

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

Таблиця 1.35

**Технічна характеристика агро меліоративних глибокорозпушувачів
закордонних виробників**

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

Грунторозробні органи стоякових глибокорозпушувачів складаються з прямої або криволінійної стійки, на якій закріплено плоске, фігурне або комбіноване долото. Для прокладання дренажу (кротування) позаду стійки встановлюють дрeнер (див. рис. 1.12, б). Для збільшення зони розпушування на стійках додатково кріплять поширювачі (див. рис. 1.12, в). Грунторозробні органи розташовуються на рамі в плані – рядно, V – або Δ – подібно, в шаховому порядку (див. рис. 1.12, а–д), розушільнюють масив ґрунту місцевим тріщиноутворенням з розрізанням.

Грунторозробні органи периметрових глибокорозпушувачів виконуються у вигляді рамки яка має V-подібний, U-подібний, П-подібний

та ін. профілі (див. рис. 1.12, е, є), що розуцілюють масив ґрунту об'ємним тріщиноутворенням з вирізанням.

Конструкція стоякових глибокорозпушувачів з розміщенням робочих органів в один ряд (див. рис. 1.12, б) вимагає великих затрат енергії для розпушування ґрунту, оскільки кожен ґрунторозробний орган працює при блокованому різанні ґрунту. Перевагою такого типу глибокорозпушувачів є відносно невеликі розміри. До глибокорозпушувачів даної конструкції слід віднести глибокорозпушувачі австрійської фірми Lemken, французької фірми Quivogne та італійської фірми Badalini [79].

Розміщення стояків глибокорозпушувача під кутом (див. рис. 1.12, а, д) призводить до збільшення його габаритів, однак, вимагає менших енерговитрат на процес розпушування, оскільки, при блокованому руйнуванні ґрунту працює лише передній ґрунторозробний орган. Наступні ґрунторозробні органи, що розміщуються під певним кутом до переднього ґрунторозробного органу працюють при напівблокованому різанні ґрунту. Глибокорозпушувачі даної конструкції виготовляються австрійською фірмою Hatzebicher, іспанською фірмою Jymra, українською фірмою «KET Україна», і французькою Quivogne [79].

При шаховому розташуванні стояків глибокорозпушувача (див. рис. 1.12, д) відбувається зменшення енергоємності процесу розпушування ґрунту за рахунок того, що передні ґрунторозробні органи працюють при блокованому різанні ґрунту, а два наступні ґрунторозробні органи які розміщуються позаду при напівблокованому або майже вільному різанні ґрунту (залежно від кроку розташування). Глибокорозпушувачі даного типу випускаються фірмою США John Deer, французькими фірмами Vogel Noot, та Gregorie Besson, іспанською фірмою Jymra, та італійськими фірмами Machio Gaspardo, та Badalini [79].

Розпушування ґрунту периметровими глибокорозпушувачами здійснюється за рахунок різання в горизонтальній площині лемешем, у вертикальній площині боковими ножами та за рахунок стиснення боковими стінками, після чого розпушений ґрунт під дією власної ваги осипається на дно нарізаної щілини. Конструкції глибокорозпушувачів такого типу дозволяють підвищити якість процесу розпушування, однак разом із цим зростає енергоємність розпушування за рахунок стиснення ґрунту між боковими ножами [132; 194].

Глибокорозпушувачі даного типу мають невелику ширину захвату та через додаткове стискання ґрунту боковими ножами збільшується сумарний опір різання ґрунту, що негативно впливає на енергоємність розпушування ґрунту. При розпушенні ґрунту периметровим робочим органом вертикальні щілини після його проходження закриваються, тому просипання ґрунту з гумусового шару в щілини не відбувається. При цьому, об'єм ґрунту, защемлений між боковими ножами, деформується, а фронт деформації направлений від нижнього леміша і бокових ножів вгору до «денної»

поверхні. Після проходу робочого органу піднятий ґрунт осідає під дією власної ваги і при цьому розпушується. Через особливості конструкції глибокорозпушувач складно налаштувати для різних ґрунтових умов [79].

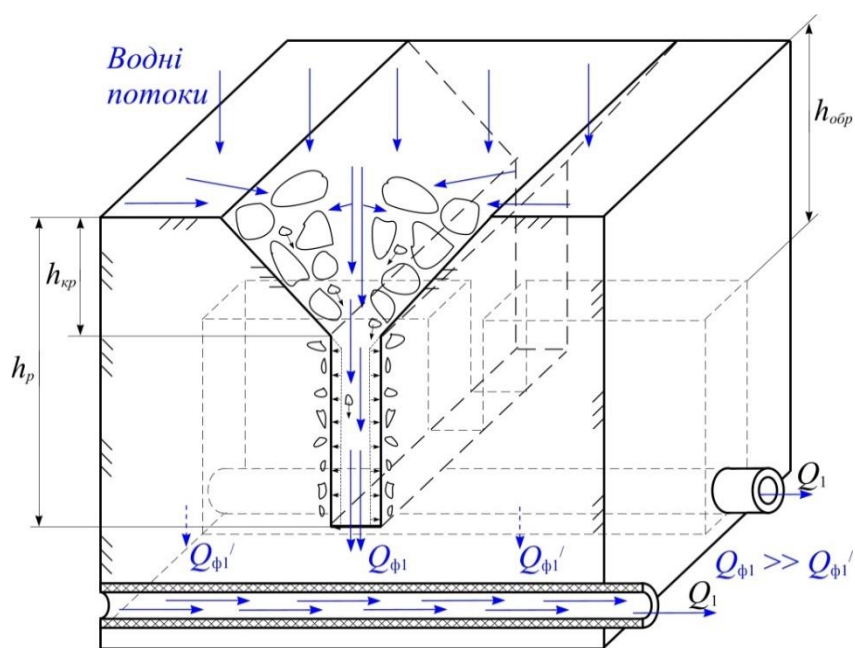
Стоякові глибокорозпушувачі є простішими але вимагають значних затрат енергії при розпушуванні, оскільки, при розпушуванні ґрунту на глибину 0,45–0,65 м ширина робочих елементів долота складає від 30 до 120 мм, з відповідною їм критичною глибиною різання – 0,1–0,5 м. Отже дані глибокорозпушувачі частково працюють на закритичних глибинах, що суттєво збільшує їх енергоємність. Стійки глибокорозпушувачів, які мають бокові крила, збільшують ширину зони розпушування ґрунту внаслідок чого дещо збільшується критична глибина і ефективність. Наявні недоліки призводять до значного підвищення енергоємності та погіршення якості розпушування ґрунту [79].

Як показує практика, при використанні традиційного глибокого розпушення ґрунту як додаткового заходу для підвищення ефективності роботи дренажу за щільною чи смуговою технологіями фактично здійснюється тільки локальний вплив на продуктивну частину ґрунтового масиву (активний кореневмісний шар і зону аерації осушуваного ґрунту) з утворенням вертикальних фільтраційних каналів для інтенсифікації водовідведення поверхневого та ґрунтового стоку (рис. 1.13).

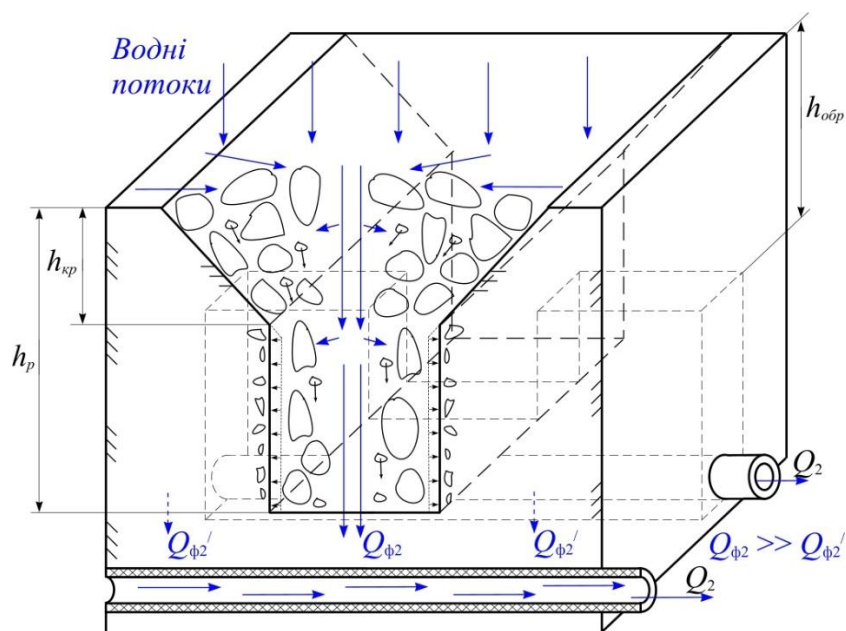
Це дійсно сприяє посиленню технологічного ефекту щодо дренажу але одночасно з цим посилює і промивний водний режим у ґрунті, що з часом призводить до збіднення родючого шару і спричиняє негативний екологічний ефект. Після проходу пасивного глибокорозпушувача стоякового або периметрового типу розпушений ґрунт у різних зонах має різну ступінь розпушення. Глибокорозпушувачі стоякового типу (одно- і багатостоякові) під час проходу випучують поверхню ґрунту на 10–15 см доверху у зонах 15–20 см по обидві сторони від слідів руху стояків, а у проміжках між ними – на 3–4 см. Ступінь розпушення ґрунту в зоні біля стояків – 8–12%, у зоні між стояками – 40–60%. Розрізаючий стояк або периметр, за щільною чи смуговою технологіями, під час розпушення тисне на нього знизу вгору і в сторони, чим запресовує і затирає його у бокові стінки.

За аналізом профілів традиційного розпушення (див. рис. 1.13) можна виділити такі характерні ознаки:

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



а)



б)

Рис. 1.13. Принципові схеми ґрунтового профілю при традиційному глибокому розпушенні: а) щілинне; б) смугове; $Q_{1,2}$ – об'єм дренажного стоку дрени; $Q_{\phi 1, \phi 2}$ – фактичний об'єм ґрунтового стоку; h_p – глибина розпушення; $h_{обр}$ – глибина культурного обробітку; $h_{кр}$ – критична глибина сколу ґрунту

Робота на закритичних глибинах є дуже енергозатратною, призводить до погіршення якості розпушення і значного збільшення опору переміщенню глибокорозпушувача.

Критична глибина – глибина при якій відбувається різка зміна фізичних, просторових та питомих енергетичних характеристик робочого процесу розробки ґрунту, зокрема, зміна виду руйнування цілісності ґрунтового масиву і мінімізація питомої енергоємності робочого процесу [66; 8; 63; 192].

Питання щодо визначення критичної глибини розглядалися в роботах В.І. Баловнєва, Ю.О. Вєтрова, Р. Годвіна, Е. Дінглінгера, А.Б. Єрмілова, А.М. Зєленіна, В.С. Казакова, В.К. Руднєва, Г. Спура, Є.Д. Томіна, Р.Л. Турецького, В.І. Уродова, Л.А. Хмари, А.Н. Шаламова, С.В. Шатова та ін.

Для докритичних глибин характерним є переважання пружно-пластично-крихкої розробки ґрунту з почерговим сколом і виносом його розпушеного об'єму на денну поверхню з поступовим зменшенням питомої енергоємності робочого процесу при збільшенні глибини розробки, інтенсивність зростання опору різанню менша ніж зростання об'єму ґрунту, що розробляється [63; 192].

Для закритичних глибин характерним є переважання в'язко-пружно-пластичної розробки ґрунту з переущільненням і запресовкою його в бічні стінки щілини, що розробляється, зі значним зростанням енергоємності робочого процесу при збільшенні глибини розробки, інтенсивність зростання опору різанню є значно більшою ніж зростання об'єму ґрунту, що розробляється [63; 192].

Отже, застосування глибокого розпушення як ефективного адаптивного заходу стримується недосконалістю існуючих технологій і засобів, які не забезпечують необхідну якість та ефективність розпушення, а тому потребують зміни підходів і подальшого удосконалення відповідно до таких вимог [113; 2; 90]:

- поліпшувати водно-фізичні властивості та макроструктуру ґрунту з дотриманням агротехнічних рекомендацій агровиробництва [132];

- забезпечувати високу акумулюючу та сорбційну здатності ґрунту, підвищувати ефективність його водорегулювання;

- забезпечувати тривалу післядію;

- забезпечувати ресурсозбереження, високу економічну та енергетичну ефективність;

- відповідати сучасним принципам адаптивного природокористування.

Зважаючи на переваги пасивних глибокорозпушувачів та недоліки активних і пасивно-активних, глибокорозпушувачі пасивного типу є найбільш перспективними і можуть бути основою для удосконалення технічних засобів глибокого меліоративного розпушення при умові ліквідації їх існуючих недоліків.

Таким чином для усунення наявних недоліків глибокого розпушення та ефективної реалізації змінюваних підходів необхідно удосконалити існуючі технології та технічні засоби за енергоефективними та вологорегулюючими принципами з врахуванням вже існуючих досягнень в цих питаннях.

1.8. Висновки до розділу

1. У водному господарстві України, при глобальних масштабах продовольчої, водної та енергетичної криз, існує прогресуюча проблема незадовільного еколого-меліоративного стану частини ґрунтів осушуваних земель і дефіциту їх природного вологозабезпечення, що є основним чинником, який обмежує потенціал аграрного виробництва та продуктивність сільськогосподарських угідь на землях з регульованим водним режимом.

2. Отримані результати переконливо свідчать про те, що і на глобальному, і на регіональному рівнях зміна клімату є незаперечним фактом в умовах глобального потепління; ці зміни впливають негативно на екологічний стан довкілля і населення; все це визначає необхідність подальшого розроблення адаптивних заходів через відповідні комплексні наукові дослідження зміни погодно-кліматичних умов та їхнього впливу на всі складові компоненти загального еколого-економічного ресурсу регіону за відповідними галузевими, державними та міждержавними програмами.

3. Встановлено, що при наявних темпах та рівнях змін погодно-кліматичних умов слід очікувати погіршення природно-меліоративних умов взагалі як у зоні Житомирського Полісся, так і України в цілому. Це неминуче відобразиться на функціонуванні водогосподарських об'єктів у результаті відповідних змін еколого-економічного ресурсу, що потребує розробки адаптивних технічних та режимно-технологічних заходів з управління цими об'єктами через відповідні комплексні наукові галузеві, державні та міждержавні дослідження і програми.

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

5. Зміна природних умов, при глобальних масштабах продовольчої, водної та енергетичної криз, визначає необхідність зміни вимог для раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель, своєчасної реконструкції, модернізації та застосування адаптивних заходів.

6. Встановлено, що розробка і застосування адаптивних агротехнічних заходів в комплексі з відповідними організаційно-господарськими та іншими адаптивними заходами дасть змогу мінімізувати негативний вплив змін клімату на ґрунтові процеси та режими, умови вирощування та

продуктивність вирощуваних сільськогосподарських культур.

7. Глибоке меліоративне розпушення є найбільш перспективним адаптивним агротехнічним заходом для осушувальних мінеральних ґрунтів спрямованим на ефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляції вологи в ґрунтовому профілі в межах меліоративної системи для підвищення вологозабезпеченості ґрунтів.

8. Існуючі технології і технічні засоби глибокого меліоративного розпушення у традиційному варіанті вже не забезпечують необхідну ефективність розпушення та відповідні водно-фізичні властивості осушуваних мінеральних ґрунтів, а тому потребують внесення технологічних змін та конструктивного вдосконалення для ефективної реалізації змінюваних підходів до адаптивного водорегулювання.

9. Загалом, наявні енергетична, продовольча та водна кризи, що загострюються в умовах змін клімату як на планетарному, так і регіональному рівнях, а також зростання вартості енергетичних ресурсів, незадовільний еколого-меліоративний стан осушуваних ґрунтів і низький рівень впливу на їх водно-фізичні властивості, зумовлюють необхідність зміни підходів до вологорегулювання і застосування ефективних адаптивних агротехнічних заходів для підвищення вологозабезпеченості меліорованих ґрунтів, зокрема, шляхом удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами з урахуванням сучасних змінюваних умов і вимог.

2. НАУКОВІ СИСТЕМНІ ПІДХОДИ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ

2.1. Вихідні передумови

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

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

Питання зниження питомої енергоємності глибокої розробки ґрунту в різних умовах розглядалися в роботах В.І.Баловнєва, Ю.О.Ветрова, Р.Годвіна, Е.Дінглінгера, В.К.Руднєва, Р.Л.Турецького, В.І.Уродова, Л.А.Хмари, С.В.Шатова, С.В.Кравця, В.В.Кованька та ін. З них випливає, що при глибокій розробці ґрунту в більшості випадків є доцільність переходу від суцільної вертикальної розробки ґрунтового масиву на його пошарову розробку [68].

Деякі функціональні переваги глибокорозпушувача нового типу з пошаровим відвальним принципом дії були відмічені і в подальшому використані Кожушком Л.Ф. [53] при застосуванні глибокого пошарового розпушення за смуговою технологією як допоміжного засобу при укладанні та роботі безпорожнинних водоакумулюючих дренажів без розгляду акумулюючого потенціалу самого ґрунту.

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

За такими системними принципами та науково-методичними підходами В.О. Турченко (2018) та Герасимовим Є.Г. (2020) було успішно виконано обґрунтування параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водорегулювання на зрошувальних системах різного типу, а Волком П.П. (2020) було удосконалено методи та моделі оптимізації технічних і технологічних рішень з водорегулювання осушуваних земель з акцентом на роботу їх дренажних систем [29; 203; 33]. Системність підходу до обґрунтування параметрів робочого органа глибокорозпушувача традиційної конструкції в звичайних умовах для неосушуваних ґрунтів відображено в роботах В.І. Ветохіна (2010) [13; 14; 16].

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

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

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

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

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

2.2. Аналіз структурно-ієрархічного взаємозв'язку різномірних складових осушувальної природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи із застосуванням глибокого меліоративного розпушення

Визначення поняття меліоративної системи, у свій час було представлено різними дослідниками як: *метеоролого-економічна система* (Жуковський Є.Є., 1981); *складна природно-технічна система* (Рекс Л.М., 1995; Рокочинський А.М., 2002, 2010 та ін.); *організована еколого-економічна*

система (Фроленкова Н.А., 2006 та ін.); *соціо-природно-технічна система* (Ковальчук В.П., 2016); *складна природно-технічна еколого-економічна система* (Рокочинський А.М., 2016; Турченко В.О., 2018; Волк П.П., 2021). За науково-методичними принципами та підходами системної оптимізації до створення та функціонування таких систем ними було успішно виконано обґрунтування оптимальних параметрів режимних, технологічних та конструктивних рішень щодо водокористування на зрошувальних та дренажних системах на основі розгляду взаємозв'язку їх різнорідних параметрів за схемою виду: *ефект ↔ режим ↔ технологія ↔ конструкція*, що адекватно було відображено при побудові структурної, ієрархічної, аналітичної та інших моделей таких систем [29; 203; 33; 188]. Тут розглянуто така сукупність різнорідних елементів: стосовно ефекту – інтегральний економічний (врожай вирощуваних культур) та екологічний (еколого-меліоративний стан тощо) ефект на меліорованому полі, для режиму – природно-меліоративний режим, для технології – способи водорегулювання, для конструкції – параметри технічних елементів меліоративної системи.

При вирішенні проблеми системних та фізико-механічних основ проектування розпушувачів ґрунту, використавши положення загальної теорії систем, В.І. Ветохін [13; 14; 16] описав узагальнюючу картину процесів на основі розгляду взаємозв'язку їх різнорідних елементів виду:

джерело енергії ↔ розпушувач ↔ ґрунт

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

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

На підставі та в розвиток існуючих положень, згідно з загальними принципами системної методології оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах [188], в сукупності з вже згаданими системними підходами для меліоративних систем різного типу [29; 203; 33] та технічних засобів глибокого розпушення [13; 16], системна методологія

стосовно осушувальної меліоративної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення має розглядатися у структурно-ієрархічному взаємозв'язку технічних засобів і технологій глибокого розпушення з природно-меліоративним режимом та еколого-економічним ефектом, у вигляді структурно-ієрархічної схеми (рис. 2.1):

конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект.

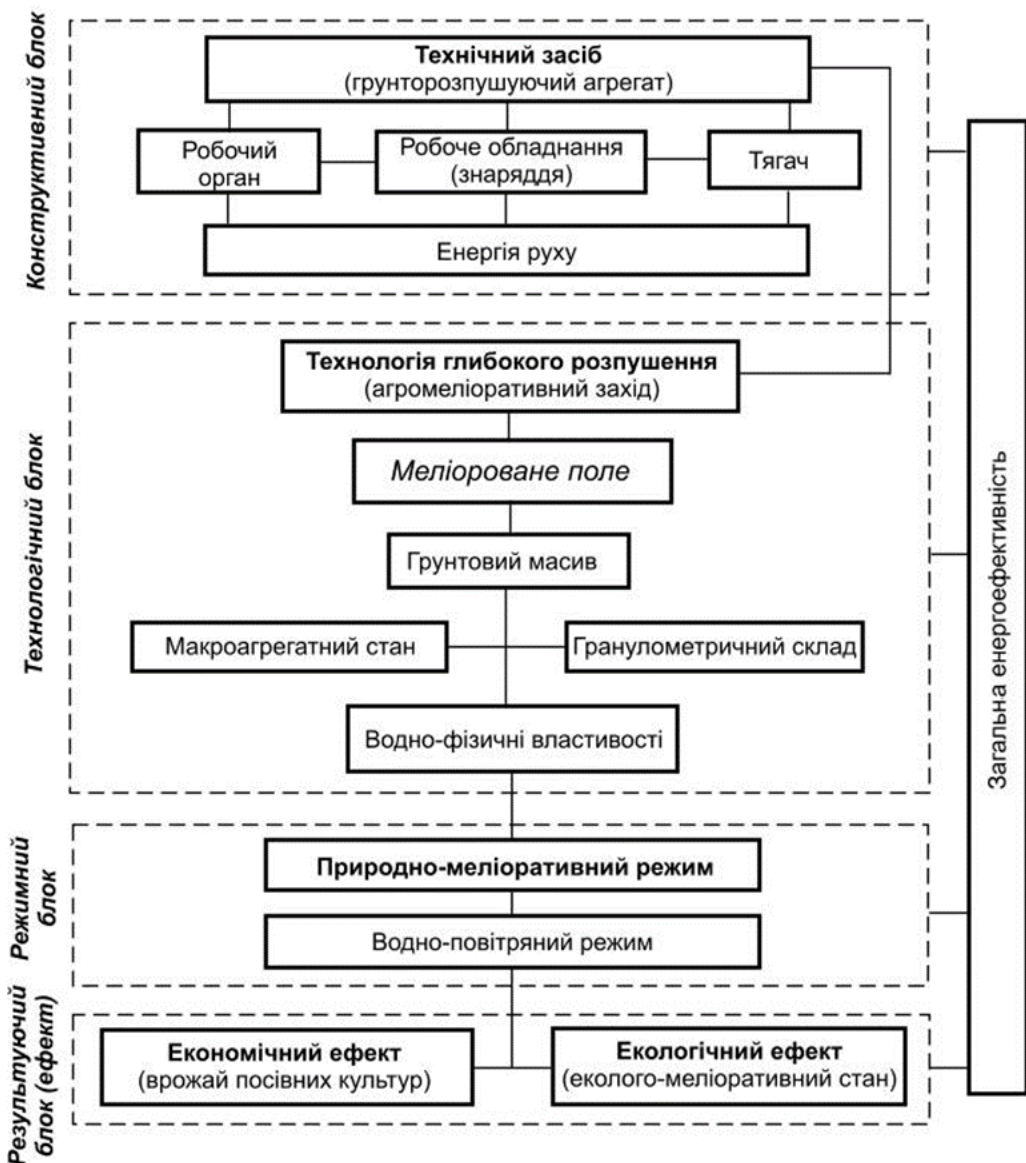


Рис. 2.1 – Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку різномірних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля

Сукупність різnorіdних елементів, в такому випадку, буде наступною: стосовно блоку конструкції – параметри технічних засобів глибокого розпушення, для технології – способи зміни стану ґрунту та його водно-фізичні властивості, для режиму – природно-меліоративний режим, для ефекту – інтегральний економічний (врожай вирощуваних культур) та екологічний (еколого-меліоративний стан тощо) ефект на меліорованому полі.

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

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

Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємо-пов'язані між собою як різnorіdні складові елементи, що взаємодіють між собою та з оточуючим середовищем.

Меліороване поле є визначальною складовою, яка за наявними характерними ознаками в складі меліоративної системи може бути віднесена до складних природно-технічних еколого-економічних підсистем, а технічні засоби можна виділити як технічну підсистему, яка складається із сукупності ієрархічно та енергетично зв'язаних елементів: ґрунторозпушуючий агрегат, робоче обладнання (знаряддя), тягач, робочі органи.

2.3. Теоретичне обґрунтування принципів удосконалення глибокого меліоративного розпушення на основі технічних складових меліоративної системи

Функціональним призначенням технічних засобів глибокого розпушення є механічне переформатування макроагрегатного та гранулометричного складу ґрунтового масиву з перерозподілом згідно технологій по шарах та по площі меліорованого поля, що через регульовальний вплив на водно-фізичні властивості ґрунту є визначальним для створення технологічних і фізичних передумов встановлення сприятливих водно-повітряного та природно-меліоративного режимів, а отже отримання позитивних економічного та екологічного ефектів.

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

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

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

В розвиток структурно-ієрархічної схеми взаємозв'язку різномірних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля (див. рис. 2.1) на основі деталізації технічного та технічних блоків впливають необхідні принципи удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різномірних елементів системи (рис. 2.2).

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

Параметри енергоємності та параметри водно-фізичних властивостей ґрунту пов'язані через параметри структури ґрунту. Ступінь подрібнення масиву визначає його вологорегулюючі можливості. Чим більш дрібніша структура ґрунту тим більше зростає його вплив на ґрунтову фільтрацію та зростають вологоакумулюючі властивості але одночасно і значно зростають енергозатрати на їх досягнення. Отже існує об'єктивна доцільність зменшення енергетичних затрат на отримання необхідної структури ґрунту для реалізації його вологорегулюючих можливостей.

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

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

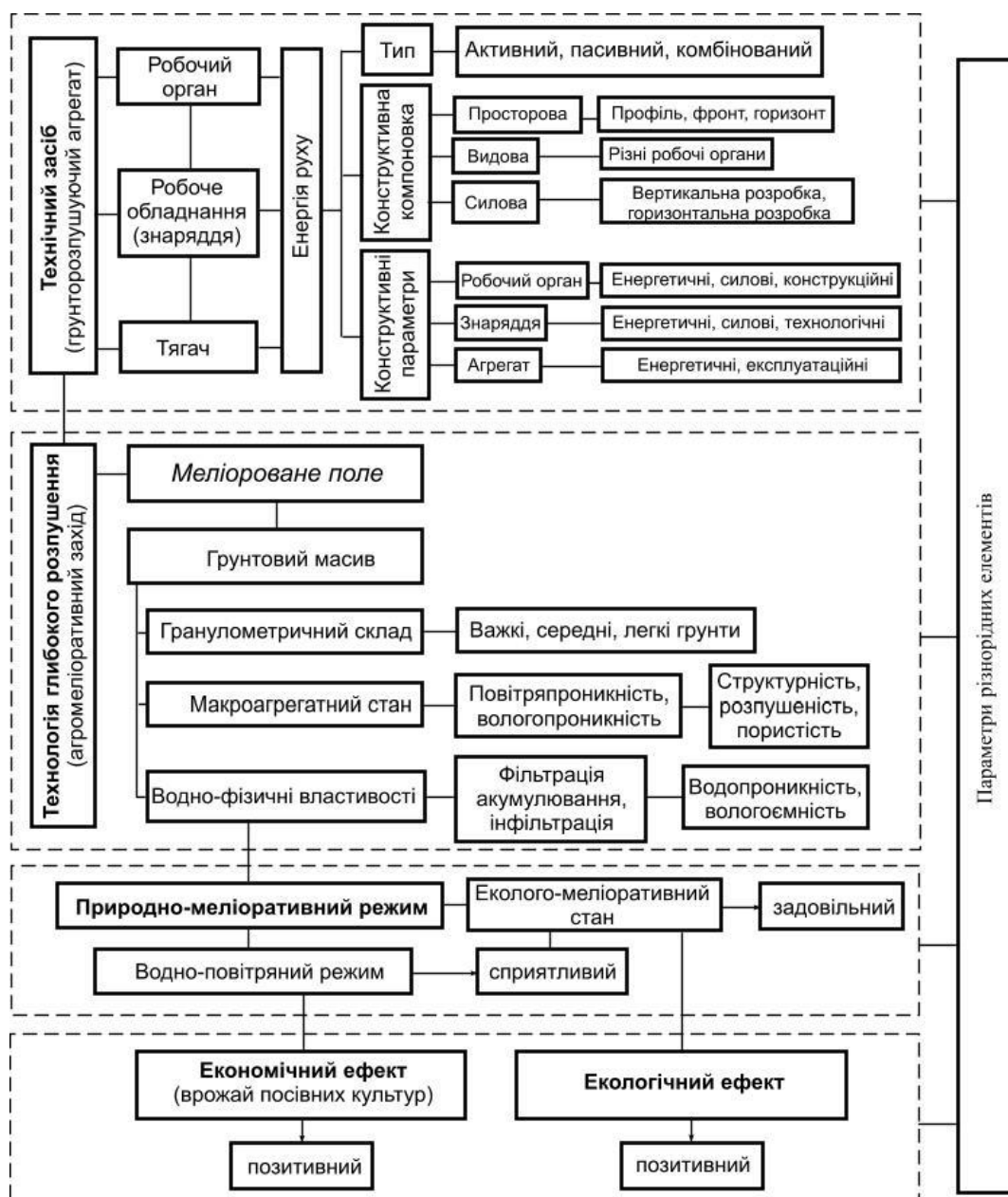


Рис. 2.2. Структурно-ієрархічна схема щодо необхідних принципів удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різних елементів

Такі дії дозволять підвищити енергетичну ефективність технічних засобів, а так, як параметри технічних засобів структурно пов'язані з

технологічними параметрами, ресурсами меліорованого поля і далі з режимними і параметрами ефекту, то підвищення ресурсної ефективності та загальної ефективності меліоративної осушувальної системи для отримання позитивних економічних та екологічних ефектів згідно схеми на рис. 2.2 може бути реалізовано через відповідне підвищення ефективності її технічної та технологічної підсистем.

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

Таким чином, метою є удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за інноваційними енергоефективними та вологорегулюючими принципами на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різнорідних елементів меліоративних систем як природно-технічних еколого-економічних систем для підвищення вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів щодо змінюваних сучасних умов та вимог.

2.4. Обґрунтування енергетичного взаємозв'язку принципів енергоефективності та вологорегулювання у складі природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи

Система обробітку ґрунту визначає умови росту і розвитку сільськогосподарських культур. В теперішній час велику увагу приділяють удосконаленню способів і систем механічного обробітку ґрунту та впровадженню системи технічних засобів, які якісно реалізують технологічні процеси та операції обробітку ґрунту.

Освоєння енергозберігаючих технологій виробництва продукції рослинництва є одним з пріоритетних напрямів розвитку АПК. При цьому першочерговими за актуальністю задачами є енергетична оцінка технологій та зниження енерговитрат машинно-тракторних агрегатів. Енергетична оцінка дозволяє визначити прямі та непрямі витрати енергії при виконанні робіт виробництва продукції рослинництва [4; 55].

Підвищення енергетичної ефективності сільськогосподарської техніки та агрегатів являється складною задачею через багатоступінчастість її структури та великої кількості керованих й некерованих показників, що впливають на процес функціонування [4].

Вивчаючи взаємозв'язок кількості витрат енергії палива з параметрами, режимами роботи машинно-тракторних агрегатів, умовами експлуатації,

потрібно акцентувати увагу на зв'язках, факторах, що визначають зміну витрат енергії палива в одиницю часу роботи агрегату на одиницю його продуктивності [4].

Багаторічними дослідженнями встановлено, що вплив агротехнічних заходів по обробітку ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур складає до 20% від загального впливу всіх технологічних процесів [163].

Енергетичним оцінюванням технологічних процесів в рослинництві займаються досить давно. Енергетична оцінка дозволяє порівнювати різні технології виробництва сільськогосподарської продукції з погляду витрат енергетичних ресурсів, визначити структуру потоків енергії в агроєкосистемах і виявити головні резерви економії технічної енергії в землеробстві. Визначення енергії, як затраченої, так і одержаної, дає можливість кількісно оцінити енергетичну ефективність вирощування агрокультур [57].

Незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку скорочення витрат енергії на обробіток ґрунту, питання залишається актуальним, а з врахуванням необхідності впровадження ресурсозберігаючих та ґрунтозахисних технологій, доцільною є оцінка енерговитрат у вигляді розгляду енергетичних критеріїв.

При аналізі досліджень вчених щодо оцінки енергетичної ефективності технологій вирощування агрокультур встановлено, що перш за все в них робиться акцент на висвітлення сутності категорій і показників енергетичної оцінки [186], особливостей енергозбереження [37], енергетичний аналіз складових інтенсивних механізованих технологій [111]. У проведених дослідженнях поняття енергетичної ефективності різняться між собою, так як і їх точки зору на показники, що характеризують енергетичну ефективність виробництва агропродукції.

Важливим питанням є підвищення окупності витрат енергії за рахунок використання ресурсоощадних технологій та наукового обґрунтування кожного з елементів технологій [187].

Оцінювання технологій за сучасними методиками передбачає використання енергетичних еквівалентів техніки, речовин, добрив, матеріалів [133].

Енергетичний критерій може бути також і найбільш універсальним критерієм здійснення вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення мінеральних ґрунтів у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи за інноваційними енергоефективними та вологорегулюючими принципами [83; 84; 93].

Для практичної реалізації такої задачі необхідно формалізувати енергетичні взаємозв'язки її різнорідних складових. При чому найбільш детальній формалізації підлягають параметри технічної (конструкція) і

технологічної підсистем: конструкція робочих органів, переміщення агрегату з необхідним тяговим зусиллям, фізична дія на ґрунт, фізико-механічні та водно-фізичні властивості ґрунту, сприйняття природних опадів, поливу тощо.

Подібну задачу вирішував В.І. Ветохін [13, 16] на основі розгляду узагальнюючої картини енергетичних процесів у системі виду: «джерело енергії ↔ розпушувач (знаряддя) ↔ ґрунт», з виходом на врожайність вирощуваних культур і оцінку загальної енергоефективності системи в цілому використавши альтернативну систему *LT*-розмірностей фізичних величин Р.Л. Бартіні.

За його твердженнями у загальному вигляді обмін енергією і речовиною здійснюються одночасно і супроводжуються зміною структури й складу ґрунту, що змінює плин обмінних процесів між ґрунтом і навколишнім середовищем й усередині ґрунту. Певний обсяг обмінних процесів формує врожай (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Узагальнена схема технологічного процесу обробки ґрунту для отримання врожаю за В.І. Ветохіним [13]

Механічний обробіток ґрунту змінює кількісне значення параметрів стану ґрунту і, таким чином, є одним із засобів керування станом ґрунту.

Оцінку якості роботи і енерговитрат ґрунтообробних знарядь необхідно проводити не тільки на основі показників властивостей ґрунту (ступінь подрібнення, зміна щільності, твердості, вологості), а також на основі параметрів, які безпосередньо визначають врожайність, тобто показників енерго- і масообміну.

Зниження витрат матеріальних та енергетичних ресурсів можливо досягти за рахунок використання особливостей міцнісних та деформаційних властивостей ґрунтового середовища, а також зменшення долі техногенної енергії за рахунок природної енергії і речовини.

За аналогією та на відміну від підходу В.І. Ветохіна розгляд причинно-наслідкових зв'язків різномірних параметрів глибокого розпушення у складі меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи відбувається на енергетичній основі за структурно-ієрархічною схемою виду: *конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект* [93; 95].

В такому разі *сукупність різних видів техногенної і природної енергій через системні енергетичні перетворення визначає кінцевий енергетичний ефект у вигляді приросту врожайності аграрних культур.*

Керуючись положеннями загальної теорії систем про взаємозв'язок її складових, враховуючи вид та структуру нашої системи, покажемо ланцюг перетворення (переходу) енергії і речовини від робочого органу глибокорозпушувача до приросту врожаю. Для цього запишемо параметри ланцюга перетворення енергії (роботи $A [M^2 \cdot KZ / c^2]$), використовуючи класичну систему LMT розмірностей фізичних величин (табл. 2.1).

Робота ґрунторозпушувального агрегату представляє з себе перетворення внутрішньої енергії палива у механічну енергію руху по полю із необхідним тяговим зусиллям для забезпечення фізичного впливу на ґрунтовий шар.

$$A_{agr}[L^2 M^1 T^{-2}] = P_m[L^1 M^1 T^{-2}] \cdot v[L^1 T^{-1}] \cdot t[T^1], \quad (2.1)$$

де $P_m[L^1 M^1 T^{-2}]$ – тягове зусилля для подолання загального опору руху;
 $v[L^1 T^{-1}]$ – швидкість руху ґрунторозпушувального агрегату;
 $t[T^1]$ – тривалість руху ґрунторозпушувального агрегату.

Таблиця 2.1

Формалізація перетворення енергії в меліоративній системі при застосуванні глибокого розпушення

Конструкція	Технологія	Режим	Ефект
техногенна енергія	→ природні енергії ґрунту та води	→ регулювання потоків енергії	→ енергія агрокультур
Робота ґрунторозпушувального агрегату	Робота по формозміні шару і структури ґрунту для акумуляції вологи (опаді, полив)	Робота техногенних і природних факторів	Приріст врожайності
$A_{agr}[L^2 M^1 T^{-2}]$	$A_p[L^2 M^1 T^{-2}] + E_6[L^2 M^1 T^{-2}]$	$A_m[L^2 M^1 T^{-2}] + A_n[L^2 M^1 T^{-2}]$	$\Delta W[L^2 M^1 T^{-2}]$

Фізичний вплив на ґрунтовий шар визначає роботу A_p по формозміні шару і макроструктури ґрунту включає в себе затрати енергії на формозміну шару ґрунту – процес *розпушення* та утворення нових поверхонь структурних макроагрегатів у шарі ґрунту – процес *подрібнення*. Ці дії створюють умови для сприйняття природних опадів з акумулюванням їх енергії E_6 в продуктивному шарі ґрунту.

$$A_p[L^2 M^1 T^{-2}] = \sigma_p[L^{-1} M^1 T^{-2}] \cdot \Delta V_{zp}[L^3], \quad (2.2)$$

де $\sigma_p[L^{-1} M^1 T^{-2}]$ – межа міцності ґрунту;
 $\Delta V_{zp}[L^3] = F_{zp}[L^2] \cdot L[L^1]$ – зміна об'єму шару ґрунту при зростанні площі вільної поверхні часток ґрунту;

$F_{zp}[L^2]$ – зміна площі поперечного перерізу шару ґрунту;
 $L[L^1]$ – довжина шляху руху.

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

$$P_m[L^1 M^1 T^{-2}] \cdot v[L^1 T^{-1}] \cdot t[T^1] \rightarrow \sigma_p[L^{-1} M^1 T^{-2}] \cdot \Delta V_{zp}[L^3] + E_e[L^2 M^1 T^{-2}] \rightarrow \rightarrow A_m[L^2 M^1 T^{-2}] + A_n[L^2 M^1 T^{-2}] \rightarrow \Delta W[L^2 M^1 T^{-2}], \quad (2.3)$$

де $E_e[L^2 M^1 T^{-2}]$ – хімічна енергія води акумульованої в розпушеному ґрунті;
 $A_m[L^2 M^1 T^{-2}]$ – робота техногенних режимних факторів;
 $A_n[L^2 M^1 T^{-2}]$ – робота природних режимних факторів;
 $\Delta W[L^2 M^1 T^{-2}]$ – приріст енергії врожаю агрокультур.

У записану залежність (2.3) входять параметри, що у загальному вигляді визначають параметри ґрунторозпушувального агрегату та процесу розпушення ґрунту. Виходячи з аналізу цієї залежності, шляхи підвищення загальної енергоефективності та зниження витрат ресурсів складаються з наступних компонентів: зменшення кожної складових, що відносяться до конструкції та форми робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому (геометрія форм, силові компоненти, кінематика), використання особливостей міцнісних властивостей ґрунту (види деформаційного впливу), підвищення ККД робочого процесу, заміщення частки техногенної енергії природною енергією (акумулювання природних опадів).

Параметри енергоемності та параметри водно-фізичних властивостей ґрунту пов'язані через параметри макроструктури ґрунту. Чим більш дрібніша структура ґрунту тим більше зростає його вплив на ґрунтову фільтрацію та зростають вологоакумулюючі властивості але одночасно і значно зростають енергозатрати на їх досягнення.

Отже існує об'єктивна доцільність дослідження закономірностей взаємозв'язку зміни параметрів водно-фізичних властивостей ґрунтового середовища зі зміною параметрів його макроструктури.

Фізико-механічні та водно-фізичні властивості ґрунту проявляються у процесі його взаємодії з ґрунторозпушувальним агрегатом як сукупності робочих органів та окремо з кожним робочим органом зокрема. Звідси виникає необхідність аналізу явищ і процесів у ґрунті під дією робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому.

ККД робочого та технологічного процесів залежить від адаптованості форм робочих органів та ґрунторозпушувального агрегату в цілому до властивостей робочого середовища їх взаємодії (ґрунту). Для більш детального розгляду умовно можна виділити дві фізично подібних підсистеми: *ґрунтове середовище – робочий орган* та *ґрунтове середовище –*

грунторозпушувальний агрегат. Через їх повну фізичну подібність розглянемо їх у сукупності.

В загальній теорії систем критерій адаптації процесу визначається зміною енергії процесу в одиницю часу. Зміна енергії dA/dt процесу в підсистемі *грунтове середовище – робочий орган (агрегат)* визначається наступним чином

$$\frac{dA}{dt} = \eta \left(\frac{dE}{dt} \right) + E \left(\frac{d\eta}{dt} \right), \quad (2.4)$$

де $\eta = A/E$ – ККД використання енергії, що потрапляє в підсистему;

A – енергія, що здійснює корисну роботу в підсистемі;

E – енергія, яка потрапляє в підсистему;

dE/dt – зміна надходження енергії в підсистему;

$d\eta/dt$ – зміна ККД використання енергії, що потрапляє в підсистему.

Підсистема вважається прогресивною, якщо $dA/dt > 0$. Це можливо, якщо зростає потік енергії в підсистему, тобто $dE/dt > 0$, а ККД не змінюється $d\eta/dt = 0$ – випадок «екстенсивного» розвитку системи. У нашому випадку потік енергії від джерела енергії (тягача) постійний, тобто $dE/dt = 0$, тому адаптація підсистеми можлива за рахунок вдосконалення механізмів використання енергії, тобто при зростанні ККД – $d\eta/dt > 0$.

Таким чином, адаптація підсистем робочого та технологічного процесів має відбуватися в напрямку підвищення їх ККД завдяки врахуванню особливостей фізико-механічних та водно-фізичних властивостей ґрунту, а саме: енергоємності зміни стану ґрунту у різних фізичних, меліоративних та екологічних станах.

Зміна ККД відбувається за рахунок зміни способів і послідовності впливу на шари ґрунту та зміни механізму перерозподілу напружень їх деформації від пластичного до крихкого руйнування. При підвищенні ККД непродуктивні втрати енергії в підсистемі *грунтове середовище – робочий орган (агрегат)* зменшуються, а енергія, що надходить, витрачається на подальшу зміну параметрів основної системи – подрібнення і переформатування макроструктури ґрунту із формозміною його продуктивних шарів при здійсненні глибокого розпушення в складі меліоративної системи.

Функцію регулятора ККД в підсистемі *грунтове середовище – робочий орган (агрегат)* насамперед виконують форма і параметри робочого органа та ґрунторозпушувального агрегату в цілому як сукупності робочих органів, що визначає необхідність і доцільність подальшого підвищення їх енергоефективності при реалізації вологорегулювання в розпушеному ґрунті.

Механічне переформатування макроагрегатного та гранулометричного складу ґрунтового масиву робочими органами ґрунторозпушувального

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

2.5. Зміна підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів осушуваних меліоративних систем

За аналогією та в розвиток сучасних наявних підходів до розробки меліоративних розпушувачів, удосконалення технологій і технічних засобів суцільного глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом за енергоефективними й вологорегулюючими принципами повинно здійснюватися з урахуванням їх споживчих властивостей та різнонаправлених факторів впливу на них (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Фактори впливу на споживчі властивості технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

Принципові зміни підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель полягають в наступному:

– збільшення акумулюючої здатності активного шару дренажного ґрунту одночасно із застосуванням дренажу для подальшого використання збереженої надлишкової вологи в посушливі періоди замість прискореного безсистемного відведення надлишкових вод;

– диференціація ступеня дренажності всього масиву ґрунту для покращення регуляції поверхневого і ґрунтового стоку в періоди з перевищенням норм опадів замість локальної інтенсифікації фільтраційних процесів для прискореного відведення надлишкових вод.

Практична реалізація змінених підходів із дотриманням вологорегулюючих та енергоефективних принципів з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків глибокого меліоративного розпушення з вирощуванням агрокультур на осушуваних землях (рис. 2.5) полягає в наступному:

- у безпосередньому включенні всього ґрунтового масиву в схему інтенсифікації вертикального переведення поверхневого стоку в дренажний з вертикально-горизонтальною переорієнтацією низхідних водних потоків для першочергової акумуляції їх в ґрунті та відведенням через дренаж лише залишків (рис. 2.6, а);
- зміні напрямку потоків енергії від робочих органів з вертикально-висхідних до всього масиву відразу на горизонтально-диференційовані по шарах ґрунту (рис. 2.6, б).

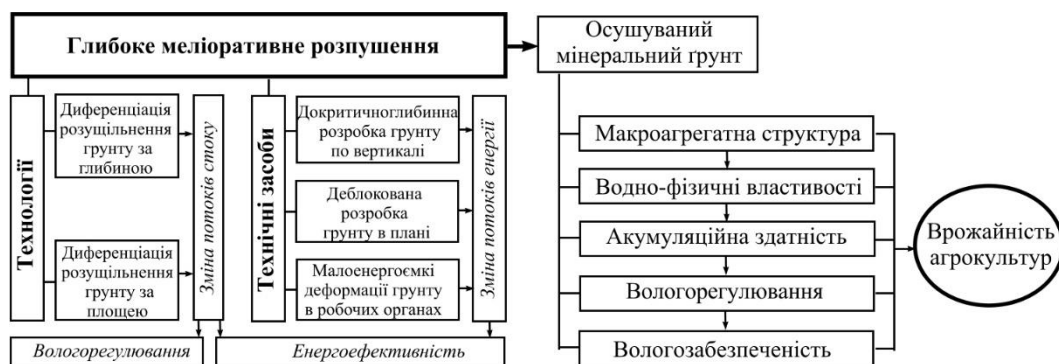


Рис. 2.5. Причинно-наслідкові зв'язки удосконаленого глибокого меліоративного розпушення з вирощуванням агрокультур на осушуваних землях

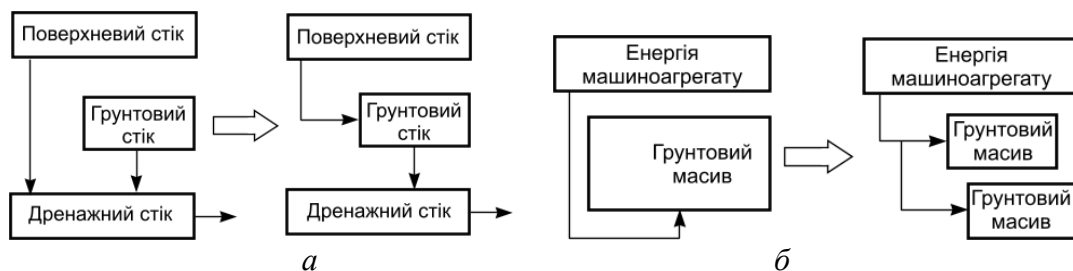


Рис. 2.6. Принципи зміни підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель: а – вологорегулювання; б – енергоефективності.

Реалізація таких змінених підходів дасть змогу виконувати ефективне глибоке розпушення з наступними характерними ознаками (рис. 2.7):

- диференційоване контрольоване розпушення активних шарів;
- малоенергоємна розробка на докритичних глибинах;
- мінімальне перемішування гумусних шарів з нижніми;
- відсутність ущільнення нижніх шарів;
- безпосередній глобальний вплив на ґрунтовий масив;
- рівномірне посилення горизонтальної фільтрації з акумулюванням;
- зменшення промивного режиму;
- зменшення навантаження на дренаж;
- вирівнювання навантаження по довжині дрени;
- $Q_{\phi 1} > Q_{\phi 2} > Q_{\phi 3}$; $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

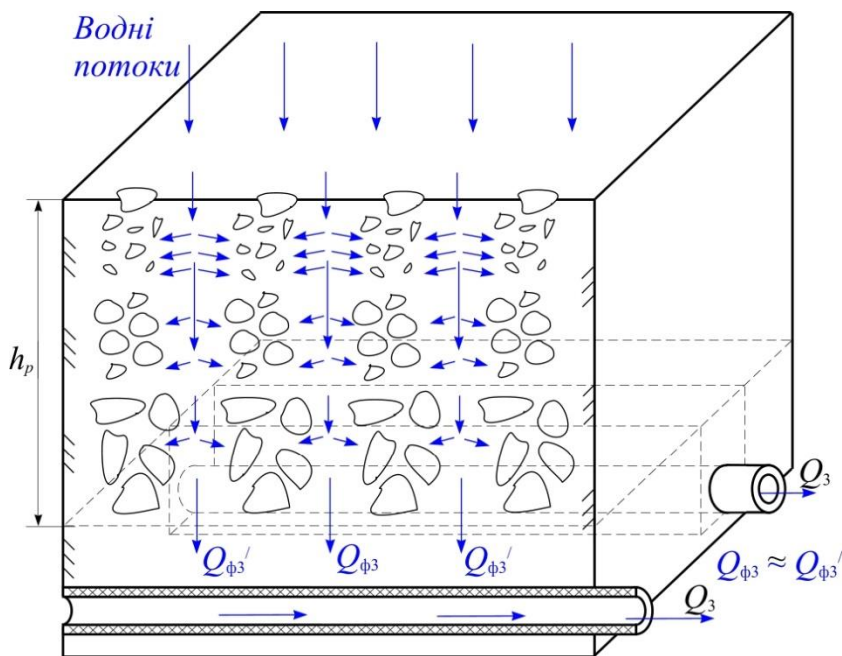


Рис. 2.7. Принципова схема ґрунтового профілю при удосконаленому глибокому розпушенні з врахуванням зміни підходів: Q_3 – об'єм дренажного стоку дрени; $Q_{\phi 3}$ – фактичний об'єм ґрунтового стоку; h_p – глибина розпушення

Для дотримання змінених підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів та споживчих властивостей глибокого меліоративного розпушення необхідно здійснити пошарове рознесення робочого процесу розпушення ґрунту в просторі та тільки на докритичних глибинах і звести до мінімуму в'язко-пружно-пластичні деформації ґрунту в робочих органах глибокорозпушувача, замінивши їх менш енергоємними деформаціями згину та сколу.

2.5. Висновки до розділу

1. За результатами системного аналізу складних природно-технічних еколого-економічних осушувальних меліоративних систем із застосуванням глибокого меліоративного розпушення встановлено, що розгляд структурно-ієрархічного взаємозв'язку технічних засобів і технологій глибокого розпушення з природно-меліоративним режимом та еколого-економічним ефектом, має відбуватися за структурно-ієрархічної схеми: *конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект*.
2. На основі аналізу енергетичного взаємозв'язку між параметрами різnorідних елементів, таких як: *конструкція* – параметри технічних засобів глибокого розпушення, *технологія* – способи зміни стану ґрунту та його водно-фізичні властивості, *режим* – природно-меліоративний режим, *ефект* – інтегральний економічний (врожай вирощуваних культур) та екологічний (еколого-меліоративний стан тощо) ефект на меліорованому полі обґрунтовано, що найбільш визначальними для енергоефективних та вологорегулюючих принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів є параметри технологічно-конструктивних структурних блоків.
3. Встановлено, що параметри енергоємності та параметри водно-фізичних властивостей ґрунту пов'язані через параметри структури ґрунту. Ступінь подрібнення масиву визначає його вологорегулюючі можливості. Чим більш дрібніша структура ґрунту тим більше зростає його вплив на ґрунтову фільтрацію та зростають вологоакумуляуючі властивості але одночасно і значно зростають енергозатрати на їх досягнення.
4. В результаті системного аналізу енергетичного взаємозв'язку між різnorідними елементами складних природно-технічних еколого-економічних осушувальних меліоративних систем за параметрами їх технологічно-конструктивних структурних блоків (параметри технічних засобів глибокого розпушення, способи зміни стану ґрунту та його водно-фізичні властивості) визначено підходи до реалізації енергоефективних і вологорегулюючих принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, що полягають в безпосередньому включенні всього ґрунтового масиву в схему інтенсифікації вертикального переведення поверхневого стоку в дренажний з першочерговою акумуляцією його в ґрунті та відведенням через дренаж лише його залишків; а також зміні напряму потоків енергії від робочих органів з вертикально-висхідних до всього масиву відразу на горизонтально-диференційовані по шарах ґрунту.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАКРОСТРУКТУРИ ҐРУНТУ НА ВОДНО-ФІЗИЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСУ РОЗПУШЕННЯ

3.1. Вихідні передумови

Питання моделювання фільтраційних процесів досліджувались багатьма авторами, було встановлено та описано основні закономірності течії ґрунтових вод. Розглянуті питання впливу шпаруватості та щільності ґрунту, на інтенсивність і направленість фільтраційних процесів та еколого-меліоративний стан загалом [218; 234; 279; 245; 276; 225].

Дослідження погодно-кліматичних умов свідчать про стійку тенденцію до посилення посушливості клімату. Подальше підвищення температури повітря та зниження природної вологозабезпеченості неминуче призведе до збільшення сумарного випаровування та, відповідно, величини водопотреби. У зв'язку з цим, існує об'єктивна необхідність вимагає адаптації до збільшення величин водопотреби при вирощуванні культур в умовах зростання дефіциту водних ресурсів. За таких умов, сучасний розвиток меліорацій повинен ґрунтуватися на впровадженні прогресивних технологій водорегулювання з урахуванням природно-меліоративних умов конкретного об'єкта, які мають забезпечувати економію водних та енергетичних ресурсів, а також покращення або підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану [158; 3; 156; 155; 287; 258; 220].

Відомі практики дощового сільського господарства, при яких доступна дощова вода використовується для ефективного пом'якшення впливу сухих періодів на посіви та захисту ґрунту. Результати демонструють, що ефективність обробітку ґрунту варіюється залежно від сезонного розподілу опадів та їх інтенсивності [254; 47; 260; 256; 253; 289].

Збереження ґрунтової води за допомогою обробітку ґрунту широко прийнято як один із відповідних способів вирішення проблем обмеження вологості ґрунту в дощовому сільському господарстві.

Принципи збереження води для сільського господарства залишаються незмінними уже протягом останніх 100 років: воду потрібно захоплювати, утримувати та використовувати ефективно для отримання бажаного урожаю. Намагаючись постійно накопичити всю доступну вологу в ґрунті та утворити родючий шар зверху, американські фермери зробили ставку на глибоке розпушування. Обробіток на глибину 30 см і більше добре його розпушує, а це дозволяє максимально увібрати та втримати вологу. Тому глибокорозпушувач вже традиційно став вирішенням не однієї проблеми. Глибока оранка покращує уловлювання води в деяких ґрунтах [287].

Добре розпушений ґрунт спроможний поглинути всю кількість опадів сильної зливи за 2-4 хвилини та збільшити водопроникнення в 5,0-5,5 разів у порівнянні з нерозпушеним ґрунтом. Цим забезпечується

максимальне акумулювання гравітаційної вологи в нижніх шарах ґрунту та інтенсивне поглинання вологи утвореними після розпушення ґрунтовими агрегатами, при цьому водопоглинання в міжрядді є більш інтенсивним, ніж у рядку. В обробленому чизелем ґрунті вода за 45 хвилин просочиться на 24-32 см, збільшивши вологість нижніх шарів (20...30 см) в 1,5-1,6 рази [23].

Зораний на глибину 31 см ґрунт здатний поглинути 30 мм зливи за 5...10 хв. При цьому рівень водопроникнення обробленого чизелем ґрунту за глибини ходу 25 см в перші хвилини в 1,1-1,2 рази, а за глибини 30 см майже в 2 рази вищий, ніж після обробітку плугом. В подальшому інтенсивність поглинання вирівнюється, що свідчить про однакову якість обробітку ґрунту та утворення в розпушених шарах дрібних агрономічно цінних (діаметром до 10 мм) ґрунтових агрегатів, що інтенсивно набухають та поглинають вологу. Основним чинником, що впливає на інтенсивність поглинання вологи є глибина обробітку. При цьому за 45 хвилин вода може просочитися на 35 см, і вологість нижніх шарів зростає в 1,7 рази. В цілому в нижніх шарах зораного ґрунту може бути засвоєно одночасно більше 2-х злив [24].

З врахуванням необхідних технологічних змін та усунення недоліків традиційних засобів глибокого розпушення необхідним є моделювання теоретичної структури розпушеного ґрунту для подальшого дослідження залежності водно-фізичних властивостей розпушеного ґрунту залежно від конструктивних і технологічних передумов.

Прагнення вивести властивості ґрунтового середовища з властивостей його будови, складу і розташування складових частин в просторі, тобто з ґрунтової структури існувало вже давно. Перша модель структури ґрунту запропонована англійським дослідником Б. Кіном в 1933 р. [106]. Питання моделювання ґрунтової структури актуальні по теперішній час. Однією з причин збереження цієї актуальності є проблема моделювання функції вологоутримання ґрунтів – основної гідрофізичної характеристики.

Всі відомі моделі ґрунтової структури можуть бути в цілому розділені на дві групи. Моделі, що використовує методи повної подібності та моделі ґрунтової структури, засновані на неповній подібності – самоафінні. У першому випадку, бажаючи довести результати моделювання, до числових значень ґрунт розглядають, як більш-менш правильну щільну упаковку однакових (Сліхтер [162]) або різнорозмірних куль (Мічурін [106]). Число ієрархічних рівнів таких моделей математично не обмежена і визначається лише наявністю ґрунтових елементів різного розміру. Від того наскільки щільно упаковані елементи моделі, розрізняють гексагональну чи кубічну укладку. Від типу укладання залежить величина інтегральної і диференціальної пористості такої моделі, а також форма ґрунтових пор [99].

Серед моделей структури, які використовують принцип подібності («упорядковані» моделі), відомі капілярні моделі. У капілярної моделі пористість суцільного ґрунтового тіла моделюється системою пор – капілярів. Система капілярів може мати як завгодно складну будову, а самі

капіляри мати різну форму від, форми капілярів залежить величина капілярних сил водоутримання такої моделі. Існують моделі, що комбінують і ускладнюють регулярні моделі ґрунтової структури. Загальним для регулярних моделей є те, що повністю виключається елемент випадковості, порушення порядку, хаотичності організації ґрунтових макроеlementів і їх просторового розташування [99].

Порівняно недавно, з'явилися фрактальні моделі ґрунтової структури на основі узагальнення класичних фракталів – килима Серпінського або губки Менгера. Фрактальна геометрія не цікавиться формою елементів структури, її цікавить лише фрактальна розмірність і число ітерацій, що характеризує кількість ієрархічних рівнів розглянутої самоафінної безлічі. В реальності структура ґрунтів займає середнє положення між двома цими полюсами [99].

3.2. Аналітичне моделювання макроструктури розпушеного ґрунту для прогнозування агротехнічних показників

Ґрунтову скибу, яка підлягає подрібненню, можна розглядати як однорідне за щільністю, суцільне середовище утворене сукупністю окремих структурних агрегатів зв'язаних між собою силами зчеплення [194].

Подрібнення ґрунтової скиби робочим органом проходить в декілька етапів [194; 130]. На кожному етапі, під дією нормальних зусиль реакції від поверхні робочого органу, проходить руйнування цілісності масиву з утворенням відносно довгих (довжина більша висоти) або відносно коротких (довжина менша висоти) елементів ґрунтової скиби (ґрунтоагрегатів). Їх виникнення і руйнування відбувається по чергово. Відносно довгі елементи ґрунтової скиби потім поділяються навпіл, а відносно короткі розшаровуються по нейтральній лінії відповідно до деформаційних властивостей ґрунтового середовища. Найменшими за розміром для кінцевої стадії подрібнення будуть ґрунтоагрегати, які утворилися в зоні дотичній до поверхні робочого органу шарі ґрунту (рис. 1).

Співвідношення розмірів суміжних по вертикалі частинок структури залежить від відношення модулів пружності ґрунтового середовища на стиск та розтяг, який в свою чергу залежить від типу ґрунту та його вологості. Для суглинистих та супіщаних ґрунтів це співвідношення загалом знаходиться в межах 1...5 при вологості ґрунту 0...40% [30] і апроксимуються лінійними залежностями.

За ідеалізованим припущенням утворені ґрунтоагрегати будуть правильної прямокутної форми. Але можна логічно припустити, що в подальшому вершини таких ґрунтоагрегатів будуть все таки зруйновані за рахунок взаємодії ґрунтоагрегатів між собою і вони стануть наближено схожі на куль різного розміру [5; 281; 230; 293; 294].

Водно-фізичні властивості розпушеного за такою схемою ґрунту будуть визначатися об'ємом пор між різними за розміром структурних агрегатів

суміжних шарів. Щільне взаємне розміщення структурних агрегатів у вигляді куль, центри яких утворюють правильні багатогранники, можливе за декількома варіантами.

Слід також зазначити, що не всі з правильних багатогранників, що розглядаються як просторові точкові решітки, задовольняють умові геометричної незмінюваності. Насправді тільки три з них, які мають трикутні розрізи (тетраедр, октаедр і ікосаедр), геометрично незмінні і статично визначені [281].

При вирішенні екстремальної задачі щодо найбільш щільної упаковки куль одиничного радіуса доводиться, що таке розташування може бути досягнуто, коли центри куль утворюють кубооктаедр так, що кожна куля стосується 12 інших, а саме: шести – екваторіальних, трьох – нижнього шару і трьох – верхнього (рис. 3.1, а).

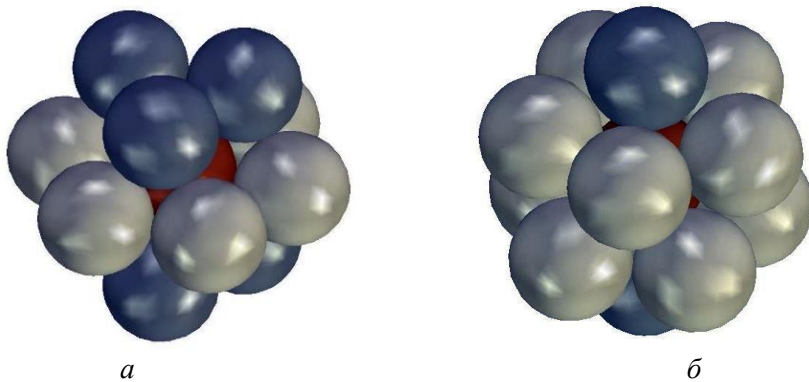


Рис. 3.1. Розміщення подрібнених макроагрегатів ґрунту після розпушення: *а* – розміщення кубооктаедром; *б* – розміщення ікосаедром

Кубооктаедр відноситься до сімейства рівнокутних напівправильних багатогранників і полярним перетворенням щодо описаної кулі перекладається в двоїстий йому рівногранний багатогранник – ромбододекаедр.

Можна також отримати інше компактне розташування куль, якщо центральну кулю розмістити таким чином, щоб інші 12 дотичних з нею куль з їх центрами на вершинах кубооктаедра зблизилися між собою в нинішньому просторі. При такій упаковці кубооктаедр перетвориться в ікосаедр (рис. 3.1, б), де куля стосується 12 інших, рівних їй куль, в вершинах вписаного ікосаедра.

Таким чином, кожна система центрів матеріальних куль в просторі розбиває його на опуклі багатогранники [21]. Центри суміжних куль будуть утворювати умовний тетраедр або октаедр, а шпарини між ними матимуть відповіді форми – тетраедричні або октаедричні. При кубооктаедрі з 14 шпарин: 6 – будуть октаедричними, а 8 – тетраедричними, при ікосаедрі всі

20 шпарин будуть тетраедричними. Можна припустити, що одна октаедрична шпарина буде приблизно рівна двом тетраедричним, тому за обома варіантами сумарний об'єм сукупності шпарин буде однаковий. Для спрощення розрахунків більш детально розглянемо другий варіант (рис. 3.1, б).

Однією з основних характеристик розпушеного ґрунту є коефіцієнт розпушення, який можна визначити через співвідношення об'єму шпарин і ґрунтових елементів. Основою для розрахунку будуть слугувати залежності для тетраедра утвореного між центрами ґрунтових куль. При чому розміри радіусів куль у вершині тетраедра і в його основі будуть відрізнятися на величину відношення модулів пружності ґрунтового середовища на стиск та розтяг.

Так як структура розміщення куль є симетричною відносно горизонтальної площини, для спрощення розрахунку розглянемо тільки верхню частину. Тоді біля центральної кулі знаходяться 5 тетраедричних шпарини між більшою кулею (радіусом R_1) у вершині та меншими (радіусом R) в основі тетраедра, а також 5 шпарин між такими ж кулями (радіусом R) в основі тетраедра та ще меншою (радіусом r) у вершині ($R_1 > R > r$). В розрахунку на кожну ґрунтову кулю припадає $1/4$ шпарини.

З визначення коефіцієнта розпушення можна записати

$$k_p = \frac{V_\kappa + V_{ш}}{V_\kappa} = 1 + \frac{V_{ш}}{V_\kappa}, \quad (3.1)$$

де V_κ – об'єм ґрунтової півкулі, $V_\kappa = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$;

$V_{ш}$ – об'єм шпарин в розрахунку на одну ґрунтову півкулю.

Об'єм шпарин в розрахунку на одну ґрунтову півкулю визначається з $1/4$ частини 10 об'ємів утворених суміжних тетраедрів двох видів за виключенням 4 секторів куль у вершинах кожного з них (рис. 3, а). В основі кожного з них лежить рівносторонній трикутник зі стороною $2R$. Кожен з вирізаних тетраедром пірамідальних секторів куль складається з правильної піраміди та сферичної частини (рис. 3.2, б).

Формули для визначення об'єму такого тіла не існує. Тому було проведено додаткові дослідження з просторовим моделюванням пірамідального сектора (рис. 3, б) в САПР твердотільного параметричного моделювання (рис. 3.2, в) та апроксимацією отриманих результатів в Microsoft Excel. Визначено, що відношення об'єму сферичної частини пірамідального сектора до об'єму піраміди в його основі залежить від співвідношення довжин основи ($2R$) та ребер ($R+R_1$) тетраедра та в межах відношення модулів пружності ґрунтового середовища на стиск та розтяг

1...5 (вологість 0...40%) дорівнює $0,55 \cdot \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}}$, при цьому похибка апроксимації не перевищує 2%.

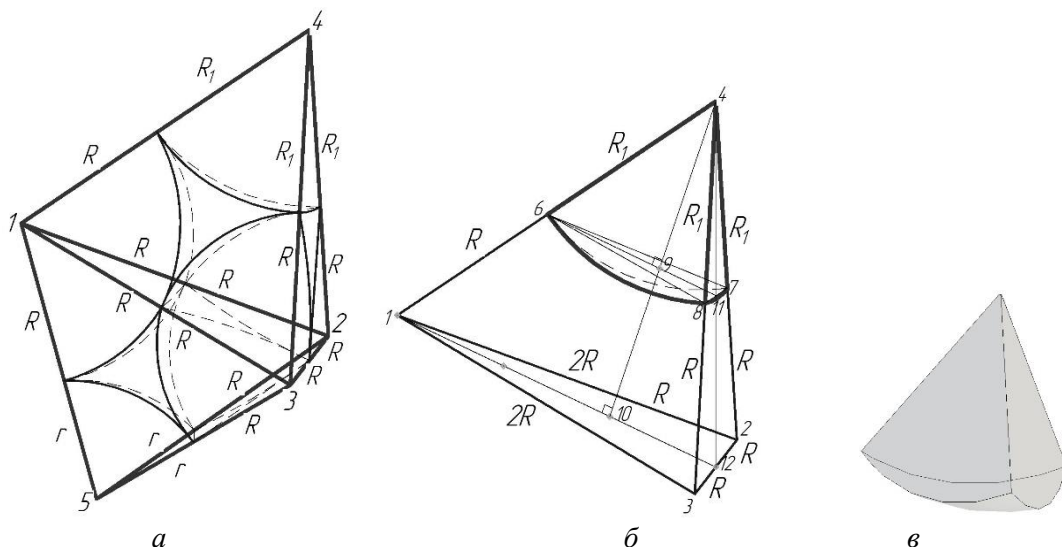


Рис. 3.2. Схема тетраедрів між центрами ґрунтових куль: *а* – два види тетраедрів між центрами п'яти куль трьох стадій подрібнення; *б* – схема розрахунку об'єму пірамідального сектору, що вирізається; *в* – моделювання пірамідального сектору в САПР

Об'єм пірамідального сектора 4,6,7,8 з вершиною 4 з кулі радіусом R_1 :

$$V_{R_1} = \frac{1}{3} S_{678} h_{49} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}} \right) = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} m_{6,11} \cdot a_{678} \cdot h_{49} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}} \right), \quad (3.2)$$

де S_{678} – площа рівностороннього трикутника з вершинами 6, 7, 8 в основі піраміди;

h_{49} – висота на основу 9 з вершини 4;

$m_{6,11}$ – медіана рівностороннього трикутника 678 з вершини 6;

a_{678} – сторона рівностороннього трикутника з вершинами 6, 7, 8.

З подібності рівнобедрених трикутників 1,4,12 та 6,4,11 визначаємо медіану $m_{6,11}$, з 1,4,3 та 6,4,8 – сторону a_{678} , а з прямокутного трикутника 6,4,9 – висоту h_{49}

$$m_{6,11} = \frac{\sqrt{3}RR_1}{R+R_1}, \quad a_{678} = \frac{2RR_1}{R+R_1}, \quad h_{49} = \frac{R_1}{R+R_1} \sqrt{(R+R_1)^2 - \frac{4}{3}R^2}. \quad (3.3)$$

Тоді, після підстановки і перетворень, отримаємо

$$V_{R_1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{RR_1}{R+R_1} \right)^3 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}} \right). \quad (4)$$

Об'єм пірамідального сектору з кулі радіусом r визначається аналогічно тільки з врахуванням зміни відношень сторін

$$V_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{Rr}{R+r} \right)^3 \sqrt{\left(\frac{r}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{r} \sqrt{\frac{R}{r}} \right). \quad (5)$$

Основи тетраедрів з вершинами в кулях радіусом R сполучають центри куль радіусами R_1 та r . В цих випадках рівносторонній трикутник в основі пірамідального сектора зміниться на рівнобедрений з врахуванням співвідношень R_1 до R та r до R , що вплине на розмір медіани основи та висоти сектора. Зміною останньої величини можна знехтувати через її дуже малу значимість і розраховувати як і при рівносторонній основі. Тоді

$$V_{R(R_1)} = 0,1R^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R}}); \quad (3.6)$$

$$V_{R(r)} = 0,1R^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1 + \frac{r}{R}}). \quad (3.7)$$

Об'єм шпарини між трьома кулями радіусом R та кулею радіусом R_1 .

$$V_{3RR_1} = \frac{R^3}{\sqrt{3}} \left[\sqrt{\left(\frac{R_1}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R}}) - \left(\frac{1}{\frac{R_1}{R} + 1} \right)^3 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}} \right) \right], \quad (3.8)$$

За аналогією об'єм шпарини між трьома кулями радіусом R та кулею радіусом r :

$$V_{3Rr} = \frac{R^3}{\sqrt{3}} \left[\sqrt{\left(\frac{r}{R}+1\right)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}\left(\arcsin \frac{1}{1+\frac{r}{R}}\right) - \left(\frac{1}{\frac{R}{r}+1}\right)^3 \sqrt{\left(\frac{r}{R}+1\right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{r} \sqrt{\frac{R}{r}}\right) \right]. \quad (3.9)$$

Враховуючи, що співвідношення між розмірами суміжних куль залежить від відношення модулів пружності ґрунтового середовища на стиск (E_c) та розтяг (E_p) і є сталим для всього масиву розпушеного ґрунту, то можна прийняти наступне

$$\frac{R}{R_1} = \frac{r}{R} = \frac{l_{\kappa}^{(n+1)}}{l_{\kappa}^{(n)}} = \frac{E_c / E_p}{E_c / E_p + 1} = k_R, \quad (3.10)$$

де $l_{\kappa}^{(n)}$ та $l_{\kappa}^{(n+1)}$ – розміри утворених ґрунтоагрегатів на поточній та наступній стадії подрібнення.

З урахуванням цього (3.8), (3.9) запишуться наступним чином:

$$V_{3RR_1} = \frac{R^3}{\sqrt{3}} \left[\sqrt{\left(\frac{1}{k_R}+1\right)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}\left(\arcsin \frac{1}{1+\frac{1}{k_R}}\right) - \left(\frac{1}{\frac{1}{k_R}+1}\right)^3 \sqrt{\left(\frac{1}{k_R}+1\right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 k_R \sqrt{k_R}\right) \right]; \quad (3.11)$$

$$V_{3Rr} = \frac{R^3}{\sqrt{3}} \left[\sqrt{(k_R+1)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}\left(\arcsin \frac{1}{1+k_R}\right) - \left(\frac{1}{\frac{1}{k_R}+1}\right)^3 \sqrt{(k_R+1)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{1}{k_R} \sqrt{k_R}\right) \right]. \quad (3.12)$$

Об'єм шпарин в розрахунку на одну ґрунтову півкулю визначається як

$$V_{ui} = \frac{5}{4}V_{3RR_i} + \frac{5}{4}V_{3Rr} . \quad (3.13)$$

Тоді коефіцієнт розпушення

$$k_p = 1 + \frac{15V_{3RR_i} + 15V_{3Rr}}{8\pi R^3} . \quad (3.14)$$

Після підстановки (3.11), (3.12) у (3.14) отримаємо залежність $k_p=f(k_R)$ (3.15), а врахувавши (3.10) – залежність коефіцієнта розпушення від ґрунтових характеристик $k_p=f(E_c/E_p)$

$$k_p = 1 + \frac{15}{8\sqrt{3}\pi} \left(\begin{aligned} & \sqrt{\left(\frac{1}{k_R} + 1\right)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}\left(\arcsin \frac{1}{1 + \frac{1}{k_R}}\right) - \\ & - \left(\frac{1}{k_R + 1}\right)^3 \sqrt{\left(\frac{1}{k_R} + 1\right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55k_R\sqrt{k_R}\right) + \\ & + \sqrt{(k_R + 1)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}\left(\arcsin \frac{1}{1 + k_R}\right) - \\ & - \left(\frac{1}{\frac{1}{k_R} + 1}\right)^3 \sqrt{(k_R + 1)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55\frac{1}{k_R\sqrt{k_R}}\right) \end{aligned} \right) . \quad (3.15)$$

Співвідношення E_c/E_p є залежним від типу ґрунту та вологості [2, с. 54]. Приведені експериментальні дані (визначені в межах вологості 0...40% для глини та 0...30% для суглинку) можна апроксимувати лінійними залежностями (точність апроксимації – $R^2=0,9689...0,9942$):

$$\text{глина} - \quad E_c/E_p = 1 + 0,0548 \cdot W_{\%}, \quad (3.16)$$

$$\text{суглинок} - \quad E_c/E_p = 1 + 0,1321 \cdot W_{\%}. \quad (3.17)$$

З урахуванням (3.16) та (3.17) можна представити (3.15) у вигляді $k_p=f(W)$, що є більш доцільним з практичної точки зору. Від цих же характеристик є залежним кінцевий радіус R_k для одного з варіантів криволінійного робочого органу [194], що буде доречним показати на цьому ж графіку (рис. 3.3):

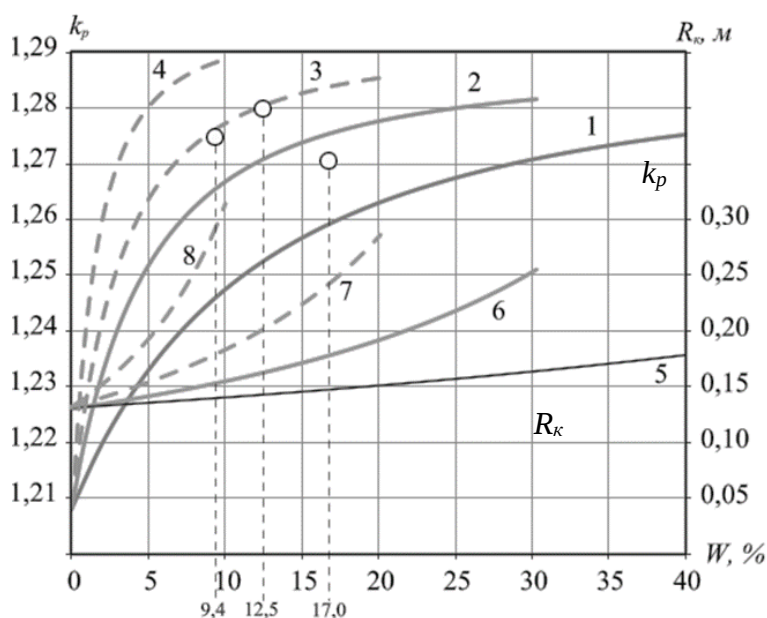


Рис. 3.3. Графічні залежності коефіцієнта розпушення та радіуса деформації ґрунтової скиби від вологості: 1...4 – коефіцієнта розпушення; 5...8 – кінцевого радіуса деформації ґрунтової скиби, відповідно, для глини, суглинку, супіску, піску

Як видно з графічних залежностей $k_p=f(W)$ для суглинку отримані значення відповідають довідковим, а для глини математична модель (3.15) дає дещо занижені значення. Це пояснюється невідповідністю вибраної тетрадрної моделі розміщення ґрунтових макроагрегатів, більш доцільною в даному випадку буде вибір за основу тетрадрно-октадрної моделі (див. рис. 3.1, а).

Експериментальні дані отримано на лабораторному ґрунтовому каналі: ґрунт – суглинок, $C_{yo}=4...7$, кінцевий радіус деформації ґрунтової скиби $R_k=0,15$ м, вологість ґрунту 9,4...17,0%. Розбіжність між теоретичними та експериментальними даними становить менше 1%, яку можна пояснити деякою невідповідністю радіуса криволінійного розпушувального елемента розрахунковим значенням та його незмінністю при зміні ґрунтових умов.

Аналогічно було розглянуто співвідношення (рис. 3.4) і отримано залежності $k_p=f(k_R)$ (3.18) для розміщення ґрунтоагрегатів за схемою кубооктаедра (див. рис. 3.1, а), яка дає дещо більші значення коефіцієнта розпушення і характерна для більш зв'язних глинистих ґрунтів в межах $k_p=1,22...1,32$ для того ж діапазону вологості ґрунту до 40%.

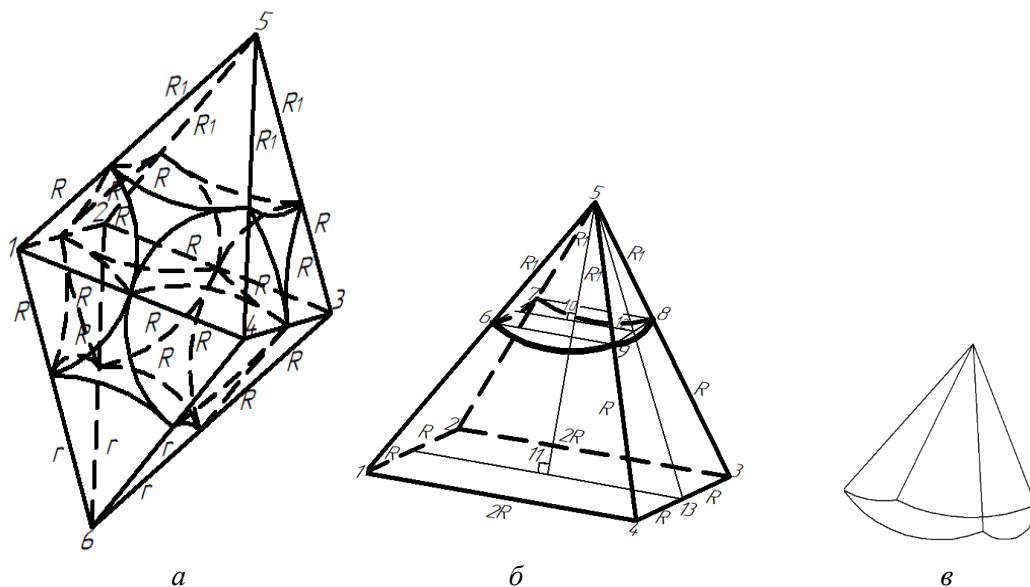


Рис. 3.4. Схема октаедрів між центрами ґрунтових куль: *а* – два види октаедрів між центрами п’яти куль трьох стадій подрібнення; *б* – схема розрахунку об’єму пірамідального сектору, що вирізається; *в* – моделювання пірамідального сектору в САПР

$$k_p = 1 + \frac{19}{20\pi} \left(\begin{aligned} & \sqrt{\left(\frac{1}{k_R} + 1\right)^2 - \frac{5}{4}} - 0,52 \operatorname{ctg} \left(\arcsin \frac{1}{1 + \frac{1}{k_R}} \right) - \\ & - \left(\frac{1}{\frac{1}{k_R} + 1} \right)^3 \sqrt{(k_R + 1)^2 - \frac{5}{4}} \left(1 + \frac{0,55}{k_R \sqrt{k_R}} \right) + \\ & + \sqrt{(k_R + 1)^2 - \frac{5}{4}} - 0,52 \operatorname{ctg} \left(\arcsin \frac{1}{1 + k_R} \right) - \\ & - \left(\frac{1}{\frac{1}{k_R} + 1} \right)^3 \sqrt{(k_R + 1)^2 - \frac{5}{4}} \left(1 + \frac{0,55}{k_R \sqrt{k_R}} \right) \end{aligned} \right). \quad (3.18)$$

З аналізу отриманих залежностей (3.15) і (3.18) видно, що коефіцієнт розпушення залежить тільки співвідношення фізичних характеристик ґрунтового середовища, що є реальним і в дійсності. При необхідності, для

спрощенням розрахунків, можна використати достатньо точні апроксимаційні залежності 5-го порядку (3.19) і (3.20) (точність апроксимації 0,9997)

$$k_p = 0,0005k_R^5 - 0,009k_R^4 + 0,0619k_R^3 - 0,2133k_R^2 + 0,378k_R + 0,9909; \quad (3.19)$$

$$k_p = 0,0004k_R^5 - 0,007k_R^4 + 0,0598k_R^3 - 0,2038k_R^2 + 0,335k_R + 0,9808. \quad (3.20)$$

Зміна коефіцієнта розпушення для суглинку має різну інтенсивність на всьому діапазоні досліджень. Після деякої вологості (>8,5...9,7%) зростання коефіцієнта розпушення стає менш інтенсивне. Ця межа зміни інтенсивності зростання коефіцієнта розпушення є визначальною для створення сприятливих ґрунтових умов для акумулювання надлишкової вологи в ґрунті.

3.3. Експериментальне дослідження енергетичної ефективності величини макроструктури розпушеного ґрунту щодо його вологоємкості

Водно-фізичні властивості розпушеного за такою схемою ґрунту будуть визначатися об'ємом пор між різними за розміром структурних агрегатів суміжних шарів. Щільне взаємне розміщення структурних агрегатів у вигляді куль, центри яких утворюють правильні багатогранники, можливе за декількома варіантами [282].

Отже, для аналізу здатності структури розпушеного ґрунту до акумуляції та фільтрації ґрунтового стоку необхідно мати структурну модель з окремими сферичними частинками розміром до 10 мм, які утворюють щільну упаковку.

На основі вище викладеного визначено наступні задачі експериментальних досліджень:

- встановити характер зміни водно-фізичних характеристик (найменшої вологоємкості, коефіцієнта пористості, часу фільтрації) від крупності насипної структури масиву частинок,
- визначити раціональні розміри частинок ідеалізованої насипної структури за відносним енергетичним критерієм.

Для формування щільної упаковки ідеалізованої насипної структури масиву частинок з метою дотримання точного розміру частинок та уникнення граничного ефекту тари було використано металеві кульки з їх утриманням магнітним полем.

Використовувались наступні матеріали та обладнання: кульки металеві Ø2...8 мм ШХ15 ГОСТ 3722-81, магніт феритовий 85х65х17 мм (типу $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) 2 шт, ваги електронні Pocket Scale MH-200 200g/0,01g, вбудований електронний секундомір Nokia 2730, мірна ємність для рідини з відміткою 1 л, наскрізна шестигранна пластикова трубка з площею поперечного перерізу 3,14 см² (рис. 3.5).

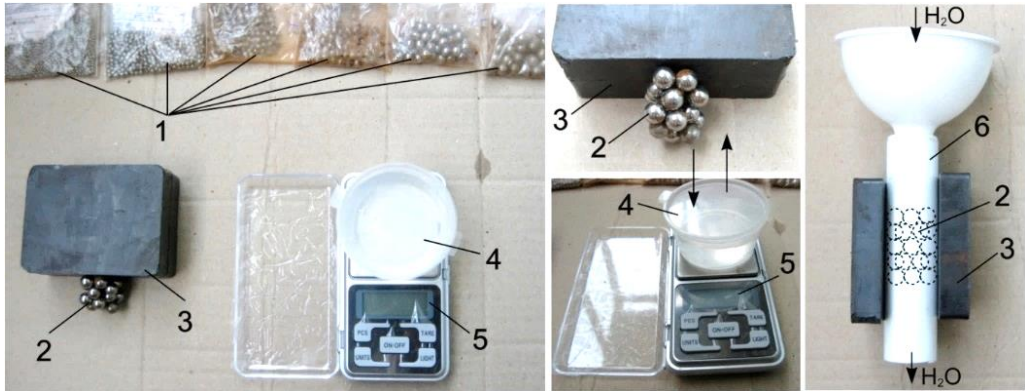


Рис. 3.5. Прилади і матеріали досліджень: 1 – набір металевих куль різного розміру; 2 – утримувана сукупність куль; 3 – утримуючий магніт; 4 – ємність з водою; 5 – ваги; 6 – наскрізна трубка

Для встановлення характеру зміни водно-фізичних характеристик кульки різного діаметру підбиралися у масив таким чином щоб їх сумарний об'єм був однаковим. Масив кульок одного діаметру формувався на торці магнітів у формі щільної грудки. Потім вони опускалися у попередньо зважену ємність з водою до повного занурення масиву. Після витримки протягом декількох секунд у такому положенні масив повністю піднімався з води і після скапування води фіксувалася залишкова маса ємності з водою. Насипний об'єм масиву кульок визначався з умови їх максимально щільної укладки в шестигранному циліндрі, що найбільше відповідає природній організації макроагрегатів ґрунту з мінімальним впливом бічних стінок.

Для визначення часу фільтрації масив кульок одного діаметру формувався у формі щільної грудки в середині наскрізної шестигранної пластикової трубки. На зовнішніх бокових поверхнях трубки кріпилися 2 магніти, які фіксували положення масиву кульок в трубці. Проводилося заливання води в трубку з кульками і фіксувався час початку та кінця фільтрації визначеного об'єму води.

Всі вимірювання проводились з трикратною повторюваністю і оброблялися за правилами математичної статистики. Отримані середні значення безпосередніх вимірювань приведені в табл. 3.1.

На основі отриманих даних безпосередніх вимірювань визначені значення похідних величин, табл. 3.2.

Коефіцієнт пористості $k_{пор}$ визначався за процентним відношенням об'єму пор до всього об'єму спакowanego масиву куль V .

Показник найменшої вологоємності $W_{нв}$ визначався за процентним відношенням об'єму утримуваної води до об'єму спакowanego масиву куль V .

Таблиця 3.1

Усередненні дані експериментальні вимірювань

Параметри сукупності куль загальним об'ємом, $V_0 = 5630,0 \text{ мм}^3$			Маса води в ємкості, m_6 , г		Час фільтрації 1л води, t_f , с
Діаметр куль, d , мм	Кількість, n , шт	Об'єм спакowanego масиву куль, V , мм^3	До занурення масиву куль	Після занурення масиву куль	
8	21	11323,5	155,21	154,88	20,66
7	31	10114,4	154,88	154,51	25,41
6	50	9554,2	154,51	154,09	27,17
5	86	9215,1	154,03	153,48	35,44
4	168	8492,6	153,46	152,69	39,28
3	398	8359,9	152,69	151,75	46,89
2	1344	8374,6	151,56	150,19	49,52

Таблиця 3.2

Розраховані водно-фізичні характеристики масиву

Діаметр куль, d , мм	Коефіцієнт пористості, $k_{пор}$, %	Сумарна площа поверхонь куль в масиві, S_k , см^2	Найменша вологоємність, $W_{нв}$, %	Повна вологоємність, $W_{пов}$, %	Водопроникність, $B_{пр}$, л/год· см^2
8	50,28	42,22	2,91	101,13	55,47
7	44,95	47,72	3,66	81,66	45,10
6	40,81	56,55	4,40	68,95	42,18
5	38,92	67,54	5,97	63,71	32,33
4	33,71	84,45	9,07	50,84	29,17
3	32,69	112,53	11,24	48,57	24,44
2	32,77	168,89	16,36	48,75	23,14

Показник повної вологоємності $W_{пов}$ (водовмістимість) визначався за процентним відношенням об'єму утворених пор до об'єму спакowanego масиву куль V .

Водопроникність $B_{пр}$ визначалася за часом фільтрації 1л води через масив куль в наскрізній шестигранній пластиковій трубці з площею поперечного перерізу $3,14 \text{ см}^2$.

Для візуальної оцінки характеру зміни водно-фізичних характеристик (найменшої вологоємності, коефіцієнта пористості, часу фільтрації) від крупності частинок насипної структури масиву отримано і побудовано апроксимаційні залежності (3.21) та (3.22) (точність апроксимації 0,93...0,99) (рис. 3.5).

$$W_{нв} = 0,3822d_{(мм)}^2 - 5,9711d_{(мм)} + 26,43 \quad (3.21)$$

$$k_{пор(\%)} = 3,0052d_{(мм)} + 24,135 \quad (3.22)$$

За рис. 3.5, а, час фільтрації має обернено-пропорційну залежність від крупності частинок масиву, що є логічним через відповідне збільшення розміру пор між частинками. Показник вологості наростає дещо швидше ніж

зменшуються розміри частинок масиву по оберненій параболічній залежності. Зміна коефіцієнта пористості є прямо-пропорційною до зміни розмірів частинок масиву, може бути використано при переході від розрахункових параметрів конструктивного елемента робочого обладнання до характеристик ґрунтового середовища (рис. 3.5, б).

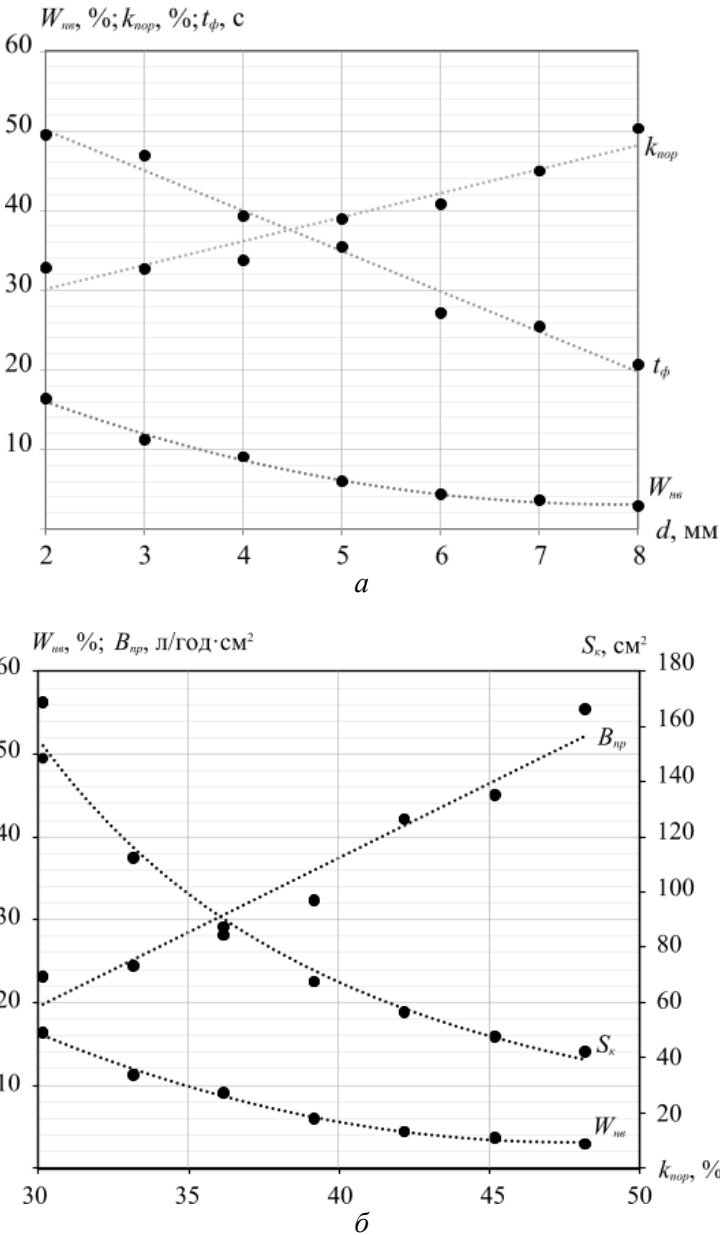


Рис. 3.5. Характер зміни водно-фізичних характеристик:
 a – від крупності частинок структури; b – від коефіцієнта пористості.

Відомі твердження, що енергія подрібнення і вологоємність залежать від утвореної площі контакту макроагрегатів ґрунту [18]. В нашому випадку це площа поверхні кульок. Як видно, наростання показників площі поверхні кульок та вологоємності при зменшенні коефіцієнта пористості відбувається з різною швидкістю (рис. 3.5, б). Енергетичну ефективність отримання величини вологоємності E_w можна оцінити за відношенням її відносного приросту $\Delta W_{HB}/W_{HB}$ до відносного приросту площі поверхні контакту $\Delta S_K/S_K$, яка є пропорційною до енергії подрібнення згідно існуючих теорій [132].

$$E_w = \frac{\Delta W_{HB} / W_{HB}}{\Delta S_K / S_K}, \quad (3.23)$$

Маючи апроксимовану залежність (3.21), критерій оцінки (3.23) та передбачену найменшу вологоємність для різних типів ґрунтів (піщані – 5-10%, супіщані – 10-20%, суглинкові – 20-30%, глинисті – 30-45%), можна пропорційно змодельовати залежності $W_{HB}=f(d)$ для кожного типу ґрунту та визначити раціональні розміри частинок ідеалізованої насипної структури масиву за відносним енергетичним критерієм (рис. 3.6).

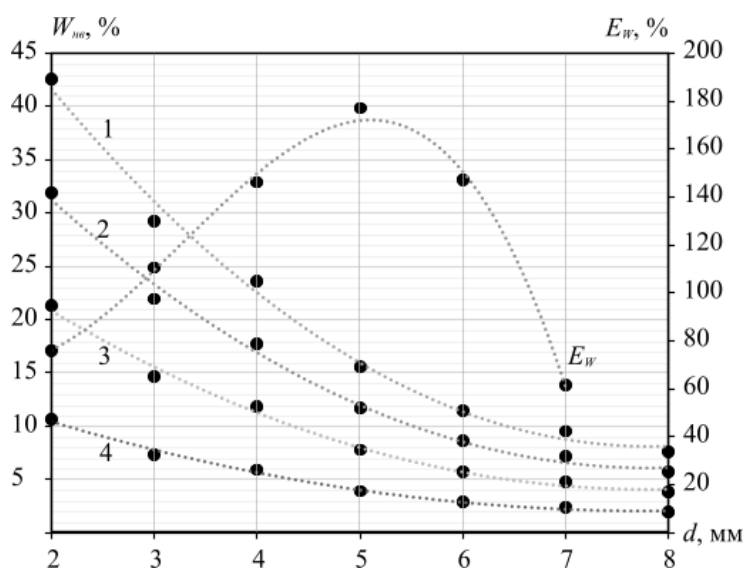


Рис. 3.6. Раціональні розміри частинок ідеалізованої насипної структури масиву: 1 – глинисті ґрунти; 2 – суглинкові ґрунти; 3 – супіщані ґрунти; 4 – піщані ґрунти

Найбільш доцільною для вологоакумулювання є орієнтація на утворення макроагрегатів ґрунту розміром 4...6 мм. Враховуючи призначення ґрунтових шарів: 4...5 мм для верхніх (вологоакумулюючих) шарів і >6 мм для нижніх (фільтраційних).

Отримані значення при частинках діаметром 7, 8 мм можна вважати тільки теоретично-потенційними так, як в проміжки між такими частинками можна розмістити менші частинки діаметром 1 та 2 мм відповідно, які й будуть визначальними, що й відбувається в реальності.

Крива $E_w=f(d)$ буде спільною для всіх вибраних типів ґрунтів, з чого також випливає, що робоче обладнання глибокорозпушувача можна однаково ефективно використовувати на різних типах ґрунтів керуючись питомими затратами необхідної енергії. Важливу роль буде грати коефіцієнт корисної дії самого машино-агрегату в цілому.

3.4. Експериментальне дослідження енергоємності структурного подрібнення ґрунту при розпушенні

Через значні об'єми ґрунтових робіт при суцільному глибокому розпушенні та необхідності значного здрібнення структури ґрунту цей процес є достатньо енергоємним [223; 97; 251].

Процес подрібнення ґрунтів можна розглядати з різних позицій. Класична механіка передбачає наступне: зовнішні сили викликають накопичення внутрішньої енергії пружних деформацій, напруження в тілі зростають до тих пір, поки, внаслідок концентрації напружень в якому-небудь місцевому дефекті, не буде перевершена межа міцності. Тоді почнеться розвиток тріщини, що супроводжується перерозподілом енергії пружних деформацій, частина якої перетвориться в енергію новостворених поверхонь. Ця частина енергії є корисною енергією подрібнення. Решта енергії йде на пружні деформації стиснення і розсіюється у вигляді тепла та інших видів енергії.

Особливістю фізики процесу є хвильовий характер процесу деформації і подрібнення. У такому процесі має місце радіально розходиться рух частинок, з перетворенням локального стиснення в розтягнення і зсувні деформації всього обсягу ґрунтового елемента. Крім того, використовуються особливості реології ґрунтів, а саме залежність межі міцності ґрунту від швидкості прикладання навантаження [132].

У літературі відсутні визнані, фізично адекватні, науково-обґрунтовані теорії, що дозволяють аналітично визначати ступінь подрібнення ґрунту при різних видах її обробки залежно від параметрів ґрунту і робочих органів. Є лише кілька спроб непрямого визначення подрібнення ґрунту. Так, В.В. Кацігін теоретично визначив вплив швидкості ґрунтообробних машин на інтенсивність дроблення ґрунту, використовуючи гіпотезу Г.І. Покровського, який вважав, що руйнування матеріалу відбувається при певній кількості енергії, поглиненому одиницею об'єму речовини. В.В. Кацігін стверджує, що дроблення пласта, залежить не стільки від величини напруги, скільки від різниці в напруженому стані сусідніх елементів ґрунту, тобто від градієнта напружень і від характеру напруженого стану всього ґрунтового пласта [132].

Як було встановлено вище, при русі робочого органу в ґрунті, попереду нього утворюється напружена зона. Градієнт напружень в цій зоні залежить від інтенсивності поглинання ґрунтом потоку енергії, що передається в хвильовому процесі. Очевидно, що поділ пласта на окремі фракції буде тим вище, чим більше енергії поглинається в зоні зсуву (сколювання). Отже, чим менше обсяг деформівного пласта, тим більшого ефекту на деформацію ґрунту можна очікувати.

Реальні ґрунту пронизані великою кількістю різних дислокацій (дефектів): тріщин, порожнеч, сторонніх включень і т.п. Принаймні зростання напруженого стану ґрунту під дією прикладеного навантаження навколо деяких дефектів, наприклад, тріщин як концентраторів напруг, виникають окремі руйнування. Це відбувається, перш все, в місцях, де напруження виявляються більше міцності межагегатних зв'язків. У ці моменти відбуваються лавиноподібні руйнування моноліту пласта, і він кришиться на окремі агрегати і грудки.

Інтенсивність дроблення ґрунту із збільшенням швидкості спочатку різко зростає, а потім це зростання практично припиняється. Це пояснюється масштабним фактором, тобто залежністю міцності від розмірів руйнованого тіла. Процес грубого подрібнення, як вже сказано вище, можна уявити, в основному, як розвиток наявних дефектів у структурі. При переході до дроблення дрібніших фракцій, дефекти в них стають все більш рідкісними, а самі грудки все більш міцними. Витрати енергії на обробіток ґрунту починають інтенсивно зростати з наближенням робочих швидкостей до швидкості поширення пластичних деформацій, а ступінь кришення підвищується незначно. Тому для кожного типу ґрунтообробних машин існують фізичні межі робочих швидкостей, перевищення яких нераціональне. Класичні закони подрібнення зв'язують енергію (роботу), яку потрібно витратити на процес подрібнення (руйнування) того або іншого матеріалу з розмірами готового продукту.

Щоб визначити енергію, необхідну для подрібнення, розроблено кілька гіпотез: гіпотеза поверхонь П.Ріттинґера – свідчить про пропорційність енергії новоствореної поверхні; гіпотеза об'ємів Кірпічова-Кіка – про пропорційність енергії об'ємам або масам подрібнюваних тіл; комбінована гіпотеза П.Ребіндера – про пропорційність енергії подрібнення поверхням, що утворюються і об'єму дробленого тіла [132].

Всі закони подрібнення можна представити у вигляді узагальнюючої форми, яка запропонована Р.Чарльзом

$$dE = k \frac{dx}{x^n}, \quad (3.24)$$

де dE – енергія, яка необхідна для зменшення шматка гірської породи розміром x на величину dx ;

k – коефіцієнт пропорційності;
 n – показник степеня, який залежить від розмірів частин (постійна величина).

Однак найбільш практичною виглядає гіпотеза подрібнення запропонована Бондом, яка отримана закономірність

$$E = k_n \left(\frac{1}{\sqrt{d_{ср}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{ср}}} \right) M, \quad (3.25)$$

де k_n – коефіцієнт пропорційності, $\text{Н} \cdot \text{м}^{1,5}/\text{кг}$;
 $d_{ср}$ та $D_{ср}$ – середні розміри вихідного і подрібненого продукту, м;
 M – маса матеріалу, який подрібнюється, кг.

Рівняння Бонда можна отримати при інтегруванні узагальнюючої формули Чарльза при $n=1,5$.

Відносні лінійні розміри $d_{ср}$ та $D_{ср}$ можуть бути визначені, як середні геометричні або арифметичні значення.

Задачею даної роботи є встановлення в кінцевому результаті шляхів, які б дозволили знизити енергоємність роботи глибокорозпушувачів.

Визначивши затрати енергії на подрібнення ґрунту, і порівнявши її зі всією енергією, яка витрачається глибокорозпушувачем на розпушення масиву ґрунту, отримаємо його коефіцієнт корисної дії, аналіз якого в свою чергу дозволить оцінити ефективність можливих шляхів покращення технологічних та економічних показників роботи.

Гіпотеза запропонована Бондом враховує і енергію на утворення нових поверхонь і енергію на деформацію тіла. Визначення середніх розмірів вхідного і вихідного продукту, а також їх маси не є складними. Найбільшою проблемою використання даної залежності є встановлення величини коефіцієнта пропорційності. Для цього проведено експериментальні дослідження.

Експериментальні дослідження планувалися і проводилися на основі методів повного факторного експерименту, теорії ймовірності та математичної статистики. Дослідження проводилися на ґрунтовому каналі.

Задачі, які вирішувались при проведенні експерименту: визначення залежності ступеня подрібнення від типу ґрунту (за середнім розміром грудок); визначення енергії подрібнення досліджуваного зразка ґрунту.

Для проведення експерименту використано ґрунтовий зразок у вигляді куба зі стороною рівною $D_k=30$ см, оскільки це відповідає можливим розмірам висоти шару розпушення на окремий робочий орган ярусного глибокорозпушувача [247].

Об'єм вибраного куба рівний $V_k = D_k^3 = 0,3^3 = 0,027 \text{ м}^3$.

Дослід проведено для супіщаних та суглинкових типів ґрунтів. Факторами експерименту були висота падіння та тип ґрунту. Експеримент проводився на трьох рівнях. Характеристики ґрунтів наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Фізико-механічні властивості досліджуваних ґрунтів

Тип ґрунту (категорія)	Легкий супісок	середній супісок	легкий суглинок
Відносна вологість, %	11,1	13,0	14,3
Кількість ударів щільноміра, шт.	3	5	8
Щільність, т/м ³	1,85	2,00	2,15
Число пластичності	2,1	4,4	9,1
Консистенція	0,75	0,2	-0,2
Сила внутрішнього тертя, МПа	0,002	0,015	0,06
Кут внутрішнього тертя, град	18	26	25

Процес подрібнення моделювався наданням зразку ґрунту певної потенціальної енергії. Для цього даний зразок піднімався на певну висоту і відпускався. Після взаємодії з денною поверхнею відбувалося подрібнення зразка ґрунту (рис. 4.9).



а

б

Рис. 4.9. Експериментальні дослідження подрібнення ґрунту:
а – надання ґрунту потенціальної енергії; б – стан подрібненого ґрунту

Визначення необхідної висоти проводилося з врахуванням швидкості на кінець падіння рівною швидкості руху робочого органа v , в межах 3,1...5,4 м/с згідно формули вільного падіння

$$h = \frac{v^2}{2g}. \quad (3.26)$$

Після подрібнення ґрунтового зразка здійснювалося сортування отриманих фракцій. Були вибрані наступні інтервали фракцій: >15 см.; 10...15 см.; 5...10 см.; 3...5 см.; 1,5...3 см.; <1,5 см.

Фракції >15 см.; 10...15 см.; 5...10 см.; 3...5 см сортувалися вручну, а фракції 1,5...3 см; <1,5 см за допомогою сита з розмірами отворів 1,5х1,5 см, тобто все що пройшло крізь сито відносилось до фракції <1,5 см, а те що залишилося на ситі до фракції 1,5...3 см.

Після поділення на фракції здійснювалося зважування кожної фракції для кожного типу ґрунту і різної висоти, результати показані в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Структура розпушеного ґрунту

№	Тип ґрунту	Маса зразка, кг	h , м	>15 см	10...15 см	5...10 см	3...5 см	1,5...3 см	<1,5 см
				Відсотковий показник фракцій, %					
1	Легкий супісок	49	0,5	26	0	11	10	16	37
2	Середній супісок	54		36	21	13	9	6	16
3	Легкий суглинок	58		69	4	6	5	6	11
4	Легкий супісок	49	1,0	21	5	7	7	9	51
5	Середній супісок	54		26	20	10	14	6	24
6	Легкий суглинок	58		36	19	18	6	4	16
7	Легкий супісок	49	1,5	10	10	10	12	12	45
8	Середній супісок	54		24	10	14	14	18	21
9	Легкий суглинок	58		32	17	13	9	10	19

Середній розмір фракції визначався за залежністю

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot Q_i}{Q_n}, \quad (3.27)$$

де d_i – середній розмір у фракції, м;

Q_i – маса грудок в i -тій фракції, кг;

Q_n – загальна маса куба досліджуваного ґрунту, кг.

Знаючи висоту підняття зразка шляхом математичних перетворень визначалася потенціальна енергія, що витрачається на подрібнення зразка.

Ступінь подрібнення i визначався відношенням середніх розмірів фракцій до i після подрібнення.

$$i = \frac{D_{\text{сеп}}}{d_{\text{сеп}}} . \quad (3.28)$$

Середній розмір до подрібнення $D_{\text{ср}}$ рівний стороні куба досліджуваного ґрунту, тобто $D_{\text{ср}}=0,3$ м.

Коефіцієнт пропорційності згідно гіпотези подрібнення ґрунту запропонованої Бондом, з врахуванням потенціальної енергії

$$k_n = \frac{g \cdot h}{\frac{1}{\sqrt{d_{\text{сеп}}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{\text{сеп}}}}} , \quad (3.29)$$

де h – висота падіння ґрунту, м;

$d_{\text{ср}}$ та $D_{\text{ср}}$ – середні розміри вихідного і подрібненого продукту, м.

Величина коефіцієнта пропорційності визначалася для кожного досліду, а потім осереднювалася за типом ґрунту. Отримавши ці дані, за формулою Бонда визначили енергію E_n на подрібнення ґрунту приведену для зручності до 1 м^3 з утворенням частинок розміром 10 та 25 мм, як найбільш бажаних в структурі розпушеного ґрунту, відповідно, орного та нижніх шарів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Результати розрахунку показників подрібнення

№	Тип ґрунту	Щільність, т/м ³	h , м	$d_{\text{ср}}$, м	i	k_n , Н·м ^{1,5} /кг	E_n , кДж/м ³	
							10 мм	25 мм
1.	Легкий супісок	1,85	0,5	0,1354	2,22	5,49	95,1	56,2
2.			1,0	0,0730	4,11	5,75		
3.			1,5	0,0534	5,62	5,88		
4.	Середній супісок	2,00	0,5	0,1521	1,97	6,64	120,8	71,5
5.			1,0	0,0928	3,23	6,73		
6.			1,5	0,0626	4,79	6,78		
7.	Легкий суглинок	2,15	0,5	0,1993	1,51	11,84	218,5	129,2
8.			1,0	0,1332	2,25	10,73		
9.			1,5	0,1023	2,93	11,31		

Примітка: h – висота падіння зразка; $d_{\text{ср}}$ – початковий розмір експериментального зразка; i – кратність подрібнення; E_n – приведена енергія подрібнення для утворення частинок розміром 10 і 25 мм.

Експериментально встановлене за гіпотезою подрібнення Бонда значення коефіцієнта пропорційності k_n дозволило визначати необхідну мінімальну енергонасиченість технічних засобів для розпушення визначеного масиву ґрунту.

3.5. Висновки до розділу

1. Зміна розрахованого коефіцієнта розпушення має різну інтенсивність на всьому діапазоні досліджень. Після деякої вологості ($>8,5-9,7\%$) зростання коефіцієнта розпушення стає менш інтенсивне. Його значення знаходиться в межах 1,2-1,3, що відповідає довідковим даним.
2. Здатність до вологоакумуляування є обернено пропорційною до розміру макроструктури середовища. Найменші питомі енергозатрати на утворення при подрібненні макроструктури та створення достатніх умов для вологоакумуляування мають макроагрегати ґрунту розміром 4-5 мм.
3. За відношенням затрат енергії на подрібнення ґрунту і всієї енергії на розпушення масиву ґрунту отримаємо коефіцієнт корисної дії машиноагрегату, аналіз якого дозволить оцінити ефективність можливих шляхів покращення технологічних та економічних показників. Показник коефіцієнта пористості може бути використано при переході від розрахункових параметрів конструктивного елемента робочого обладнання до характеристик ґрунтового середовища.
4. За отриманими значеннями питомої енергії на подрібнення ґрунту розраховано необхідну мінімальну потужність технічних засобів для здійснення глибокого розпушення та основного обробітку, яка є приблизно в 2 рази менша для супіщаних ґрунтів ніж для суглинистих. Так, при загальній ширині захвату робочих органів 2 м, для глибокого розпушення на 0,75 м та робочій швидкості 2 м/с або для розпушення на 0,25 м та швидкості 4 м/с, необхідно мати потужність технічних засобів 170-240 кВт для супіщаних ґрунтів і 390-440 кВт для суглинистих ґрунтів.
5. Отримано закономірності впливу макроструктури ґрунтового середовища на його водно-фізичні властивості, згідно яких встановлено, що найвищі значення коефіцієнта розпушення спостерігаються при відносній вологості ґрунту 10-40%; найбільш енергетично доцільною для підвищення вологоакумуляуючих властивостей є орієнтація на дрібногрудочковату структуру розпушеного ґрунту з макроагрегатами розміром 4-5 мм, а для забезпечення більш фільтраційних і частково акумулюючих показників ґрунту – на середньогрудочковату структуру з макроагрегатами розміром 6-25 мм. Залежно від типу ґрунту, питома енергоємність розпушення ґрунту є обернено пропорційною до розміру його макроструктури після розпушення і становить: для утворення дрібногрудочкової структури – $100-220 \text{ кДж/м}^3$, для утворення середньогрудочкової – $50-130 \text{ кДж/м}^3$.

4. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ

4.1. Вихідні передумови

Структура ґрунту є одним з факторів, який впливає на урожай сільськогосподарських культур. Ґрунт, який має оптимальний структурний склад орного шару, сприяє отриманню більш високих врожаїв культур, а також продуктивному використанню вологи й елементів живлення [140, 105].

Узагальнюючи дані практики, рекомендацій агровиробництва та кліматичних змін визначено необхідність диференціації активного шару ґрунту за структурою та вологоакумулюючою здатністю, згідно чого, вертикальний ґрунтовий профіль сільгоспугідь повинен мати протиерозійний верхній шар (0...0,05 м), кореневмісний шар (0,05...0,4 м) і нижній фільтраційний шар (0,4...0,8 м). При цьому, оптимальна структура (відсоткове співвідношення за масою грудок «цінних» та інших розмірів) кожного з цих шарів різна і повинна бути відповідною до призначення кожного з них.

В агрономічному відношенні дуже вагоме значення має структура ґрунту. Качинський Н.А. визначав як агрономічно цінну структуру – агрегати ґрунту розмірами від 1 до 10 мм. За розмірами структурні агрегати розподіляються на мікроструктурні (<0,25 мм), макроструктурні (0,25-10 мм) і мегаструктурні або глибісті (>10 мм) [16]. У відповідності з ОСТ 70.2.15-73 структурні агрегати за розмірами поділяються на декілька типів: глибіста структура – агрегати розміром >10 мм; грудкувата – 10...3 мм; зерниста – 3...0,25 мм.

Захисні властивості ґрунтів, у значній мірі, визначаються станом їх верхнього шару товщиною 0-5 см. До уваги береться наявність ерозійностійких структурних частинок (>1 мм) та збереження рослинних решток. В той же час, досягнення високої врожайності передбачає інтенсифікацію основної обробки ґрунту і створення оптимальної його структури у більш потужному шарі (5-50 см).

Загалом, рекомендовані параметри обробленого ґрунтового шару для агрокультур визначаються агротехнічними вимогами узагальнені показники яких є наступними [109; 107; 212; 132; 20; 25; 26; 103]:

- структура ґрунту для посіву повинна бути дрібнокомковою з перевагою грудок діаметром 1(3)...10 мм; склад верхнього шару (0-5 см) з агрегатів 10-20 мм;
- кількість агрегатів більше 2 мм в поверхневому шарі – 22...40%, для забезпечення ерозійної стійкості; вміст агрегатів більше 1 мм – не менше 50%, агрегати розміром менше 1 мм вважаються ерозійно небезпечними;
- вміст грудок розміром до 5 мм – не менше 75%; вміст грудок розміром 1...25 мм – не менше 80%; вміст грудок розміром до 50 мм – 70-90%;

- щільність поверхневого шару – 1,2...1,3 г/см³ (для попередження непродуктивного випаровування вологи); щільність ґрунту нижче насінного ложа до 1,1...1,3 г/см³; щільність верхніх кореневмісних шарів над насінням 0,9...1,0 г/см³; щільність кореневмісних шарів 1,2 г/см³;
- об'єм повітряних шпар (шпаруватість) – біля 70%; висота гребнів на поверхні поля – до 3...4 см;
- водопроникність – понад 30 мм/год.; коефіцієнт фільтрації – 5...10 дм³/добу;
- твердість ґрунту – до 3 МН (до 300 т/м²); тиск рушіїв на ґрунт – згідно ГОСТ 26955-86; питома енергоємність процесу – до 33-35 кВт/м ширини захвату.

4.2. Характерні ознаки основних тенденцій розвитку сучасних агротехнологій та конструкцій глибокорозпашувачів

У сучасному землеробстві все більше уваги приділяють питанням ресурсоощадних технологій вирощування культур, які базуються на зниженні інтенсивності обробітку ґрунту [139; 108; 283; 215; 269; 235; 255; 257; 267].

У нашій країні і за кордоном намітилися дві основні тенденції у механізації обробітку ґрунту [40; 45; 164; 211]: традиційна, яка передбачає застосування відвальних плугів, і ґрунтозберігаюча, яка включає: дискування, фрезерування, кротування, щілювання, застосування різних безвідвальних знарядь, у тому числі плоскоріжучих, чизельних, а також комбінованих агрегатів [73; 41; 58; 85; 129; 170; 214; 82].

Відвальний обробіток відрізняється підвищеними енерговитратами і ґрунторуйнуванням, що знижує протиерозійну стійкість ґрунту і викликає необхідність використання пестицидів, які забруднюють навколишнє середовище. Тому час проходить поступовий відхід від традиційної обробки, який можна пояснити недостатньою її ефективністю по відношенню до ґрунтозбереження, енерговитрат та показників якості [42; 172]. Ґрунтозберігаючий обробіток, порівняно з традиційним, має менші енерговитрати, дає кращу ерозійну стійкість ґрунтів, але має, на даний час, недостатні якісні показники [26; 58; 250]. До цього часу порядок критеріїв розробки робочих органів визначався як енерговитрати-якість, але інтенсифікація сільського господарства вимагає іншого порядку: якість-енерговитрати [131; 215]. Встановлено, що, обробіток ґрунту без обороту створює кращі умови для утворення гумусу та підтримання родючості ґрунтів [170].

На сьогодні до основних систем раціонального землекористування відноситься наступне [3; 218; 292; 274; 285; 250]:

- полицевий обробіток ґрунту (оранка) – верхній шар ґрунту перевертається (глибина від 20 до 30 см);
- безполицевий обробіток ґрунту (відмова від оранки):

- Mini-till - виключно неглибокий обробіток ґрунту – змішування верхніх його шарів на глибині до 10 см;
- комплексний обробіток ґрунту – неглибокий обробіток на глибину 3-10 см. із регулярним глибоким рихленням;
- No-till - вирощування культур без обробітку ґрунту прямим висівом.
- Strip-till - смугове розпушування прикореневого шару з одночасним внесенням добрив.

Їх узагальнені характеристики будуть наступними:

- полицевий обробіток:
 - оборот орного шару → повна заробка бур'янів, збільшення випаровування;
 - поживні відходи переміщуються вниз → збіднення верхнього шару;
 - однакове кришення ґрунту на всю глибину;
 - пошкодження структури верхнього шару → підвищення вітрової та водної ерозій;
 - висока енергоємність операції, руйнування біологічно цінних агрегатів; ґрунту, утворення ущільненої підорної підшви, різке зниження запасу ґрунтового гумусу та порушення ґрунтової мікрофлори;
- безполицевий обробіток:
 - без обороту орного шару → зменшення випаровування, утримання вологи в ґрунті;
 - поживні відходи залишаються зверху → підвищується активність мікроорганізмів; в
 - збереження структури верхнього шару → зниження ерозії;
 - некероване кришення ґрунту на всю глибину ;
 - точна настройка агрегату під конкретне поле;
- нульовий обробіток ґрунту (No-Till):
 - поле вкривають товстим шаром мульчі → захист від ерозії, утримання вологи, активізує мікрофлору;
 - в ґрунті збільшується концентрація гумусу і фосфору;
 - велика кількість бур'янів і шкідників;
 - заболочення на перезволожених полях → необхідність дренажної системи
- strip-till:
 - смугове розпушування прикореневого шару;
 - одночасне внесення добрив ;
 - необроблювані міжряддя → не порушується повітряно- і водопроникність ґрунту;
 - гібрид відвальної оранки та нульового обробітку;
- mini-till :
 - втрачається дуже мало ґрунтової вологи;

- близько 30% пожнивних решток залишаються на поверхні поля;
- активізує мікрофлору ґрунту в його верхніх шарах.

В Україні найпоширенішими є полицевий і комплексний обробіток ґрунту [218].

При порівнянні різних технологій обробітку чорнозему звичайного вміст агрегатів 1-5 мм у шарі 0-30 см за мінімального обробітку збільшувався лише на 2,1–15,7 %, за нульового – на 7,1-7,4 % порівняно з оранкою (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Вплив способів обробітку чорнозему звичайного на структурно-агрегатний склад [139]

Обробіток ґрунту	Шар ґрунту, см	Структурні агрегати, мм				
		>10	10-5	5-1	1-0,25	<0,25
Оранка глибиною 23-25 см	0-10	15,6	9,9	23,8	29,0	21,7
	10-20	21,8	16,9	24,7	24,1	12,5
	20-30	30,6	16,2	31,7	16,6	14,9
Мінімальний обробіток глибиною 4-5 см	0-10	13,1	24,0	22,9	22,5	17,5
	10-20	22,8	17,7	32,2	21,4	5,9
	20-30	27,9	18,5	27,2	15,6	10,8
Нульовий обробіток	0-10	17,1	18,1	27,5	21,9	15,4
	10-20	17,9	27,4	29,8	16,2	8,7
	20-30	31,6	18,7	30,3	11,6	7,8

Медведев В. В. та ін. [108], підсумовуючи агрономічні аспекти впливу на ґрунти мінімізації обробітку, підкреслюючи позитивні зміни в структурному стані верхнього шару, зокрема, збільшення фільтраційної здатності ґрунту, кількості доступної вологи, підвищення протиерозійної стійкості, економії палива, збільшення врожаю, вказують і на негативні зміни щодо помірного підвищення щільності масиву, твердості й деяких інших показників ґрунту, забур'яненості й захворюваності (особливо в перші 3–4 роки), значних витратах на техніку й хімічні засоби захисту рослин і ґрунтів [139; 280; 215].

За проведенням аналізом переваг та недоліків найбільш поширених на сьогодні видів основного обробітку ґрунту (відвальна оранка з оборотом орного шару, безполицевий обробіток без обороту орного шару, нульовий обробіток ґрунту (No-Till), смугове розпушення прикореневого шару (Strip-Till)), як сукупності прийомів механічної дії на шар ґрунту для підвищення його родючості та оптимізації умов розвитку рослин, визначено доцільність проведення глибокого розпушення без обороту верхнього шару (для зменшення випаровування) з окремою розробкою кожного функціонального ґрунтового шару (для оптимізації ґрунтових процесів утримання вологи в ґрунті) і контрольованим макроагрегатним подрібненням ґрунту малоенергоємними способами [264; 261; 262; 259; 15].

Найбільш перспективними з точки зору найменшої енергоємності процесу глибокої розробки ґрунту на даний час відомими є ярусні робочі органи різного призначення, переважно це глибока розробка ґрунту при укладанні лінійно-протяжних об'єктів різного типу (комунікацій, ліній зв'язку, дрена і т.п.) (рис. 4.1), табл. 4.2. В основу їх розробки від самого початку закладалися енергозберігаючі принципи здійснення робочого процесу, тому використання їх як бази для удосконалення технічних засобів глибокого розпушення в значній мірі дасть змогу уникнути недоліків традиційних глибокорозпушувачів. [68; 151; 152; 137; 165; 136].



а



б

Рис. 4.1. Загальний вигляд багатоярусних робочих органів укладачів-розпушувачів: *а* – відвальний односторонній; *б* – безвідвальний

Таблиця 4.2

Технічна характеристика багатоярусних укладачів-розпушувачів

Показники	Відвальний	Безвідвальний
Кількість ярусів	3	4
Кількість стояків	1	1
Ширина розпушення, м	0,5	1,0
Робоча швидкість, км/год	8-12	8-12
Глибина розпушення, м	0,8	1,0
Продуктивність, га/год	1,0...1,4	1,8...2,4
Маса, кг	980	900
Клас тягача, кН	50...100	50...100

В багатоярусних робочих органах різальна частина утворена декількома ґрунтозробними елементами, які рознесені у профільній площині по вертикалі і горизонталі і закріплені на спільному корпусі таким чином, що кожний вищий ґрунтозробний елемент під час руху робочого органу випереджає нижчий.

При роботі кожний попередній (вищий) ґрунторозробний елемент, вирізаючи і транспортуючи розпушений шар ґрунту, створює необхідні умови для роботи наступному (нижчому) ґрунторозробному елементу.

Вони можуть бути успішно використані для укладання в підземний горизонт різних лінійно-протяжних об'єктів (ліній дренажу, ліній зв'язку, мульчування джутами, внесення добрив і т. ін.) при проведенні агроеліоративних заходів (щільованні, глибокому розпушенні смугами). Їх конструкція визначається цільовим призначенням і технологічними вимогами.

Такий робочий орган працює наступним чином. Під час поступального його переміщення кожний вертикальний ніж прорізає ґрунт у своєму ярусі, утворюючи вертикальну щілину, а кожний горизонтальний ніж підрізає шар ґрунту, піднімаючи і скеровуючи його на підйомно-транспортуючу поверхню (полицю) з однієї або з двох сторін. Остання створює такі умови, при яких кожний підрізаний шар ґрунту ковзає по підйомно-транспортуючій поверхні, піднімається і одночасно повертається на кут $\pi/2$, обтікаючи трубонапрямний тракт і проходячи через між'ярусне вікно. У подальшому шари ґрунту, пройшовши між'ярусні вікна з однієї або з двох сторін, здійснюють зворотний рух на кут $\pi/2$, вкладаються у розпушеному стані на довгомірний елемент 6 (дренажну трубу, джгут тощо.).

До основних переваг таких робочих органів слід віднести те, що вони утворюють щілину не розрізанням масиву ґрунту, а шляхом пошарової його розробки і транспортування, уникаючи роботи в закритичній зоні пружно-пластичних деформацій, значно зменшуючи енергоємність процесу розпушення (до 40%), не запресовуючи і не затираючи, на відміну від стоякових і периметрових розпушувачів, ґрунт у стінки щілини.

До його недоліків слід віднести: малу зону розпушення, самочинне зміщення відвального одностороннього робочого органу під час роботи в сторону полиці (невитримування траєкторії робочого руху), що потребує постійної корекції напрямку руху, втрати гумусу орного шару через просипання його у щілину (її гумусифікацію) за трубонапрямним трактом, неможливість цілеспрямованої диференціації ступеня розпушення у генетичних горизонтах.

За останні роки проведена значна робота щодо конструювання, виготовлення, випробування та впровадження засобів глибокого розпушення – агроеліоративних глибокорозпушувачів [244; 193; 88; 71; 149].

Перспективними з точки зору умови інтенсифікації обробки ґрунту з найменшими енергозатратами є застосування знакоперемінних поверхонь ґрунторозробних органів. Робочі органи діють на ґрунт поступовим згином в одній або декількох координатних площинах. Енергомісткість процесів руйнування середовищ, в тому числі і ґрунтів значною мірою визначається ступенем подрібнення. Надлишкове подрібнення призводить до збільшення енергетичних витрат. При цьому необхідно врахувати двомірність ґрунтового

середовища та циклічний характер подрібнення ґрунту, з поступовим руйнуванням більших агрегатів призматичної форми на менші. Особливістю деформування ґрунту згином є різний опір стиску та розтягу. Уявна нейтральна лінія ґрунтової балки при її згині зміщується в зону стиску, внаслідок чого до 62-83% ґрунту в поперечному перерізі працює на розтяг. Це є значною перевагою робочих органів де переважними є деформації згину і розтягу.

Багатоярусні ґрунторозробні органи розташовані в просторі таким чином, що кожен працює незалежно від іншого і розробляє ґрунт в межах простору визначеного його спроможністю відділити від масиву найбільший об'єм ґрунту обумовлений технічними і технологічними вимогами. При цьому, простори в яких працюють суміжні ґрунторозробні органи дотикаються. Робоча спроможність ґрунторозробного органа визначається його параметрами, типом ґрунту, ступенем блокованості і довантаженням (наприклад гідростатичним тиском) простору.

З теоретичних досліджень визначено, що процес глибокої диференційованої розробки ґрунтів доцільно проводити багатоярусним робочим органом. В його параметрах є можливість максимально врахувати диференціацію вимог до якості обробітку орного та підорних шарів. Основним робочим елементом такого багатоярусного глибокорозпушувача є криволінійна ґрунторозпушувальна поверхня. Через форму і параметри цієї поверхні задається необхідна якість подрібнення розроблюваного шару ґрунту.

При розпушенні ґрунту потрібно скоректувати лише його макроструктуру без руйнування структурних ґрунтоагрегатів, тому розробка потенційно малоенергоємного глибокорозпушувача повинна базуватися на основі пружних властивостей ґрунту з пропорційною залежністю між напруженнями та деформацією розтягу. При цьому необхідною умовою є сталість швидкості деформації розтягу нижніх волокон ґрунтової скиби при її згині. Ґрунтова скиба розглядається як однорідне за щільністю, суцільне середовище утворене сукупністю окремих структурних агрегатів зв'язаних між собою силами зчеплення. При структурному розпушенні ґрунту (сільськогосподарському, меліоративному) потрібно скорегувати лише його макроструктуру без руйнування структурних ґрунтоагрегатів.

Враховуючи вище викладене, авторами було запропоновано різні варіанти багатоярусних робочих органів [194, 247], які представлені на рис. 4.2.

Варіант (а) має V-подібне розміщення стояків на несучій рамі для кращої горизонтальної стійкості в роботі. В косих стояках відсутнє вертикальне перекриття робочих поверхонь в ярусах в напрямку руху робочого органа. ґрунт, що розробляється, сприймає поперечний згин та стиск на робочих поверхнях. Для регулювання заглиблення та стабільності руху встановлюється опорне колесо.

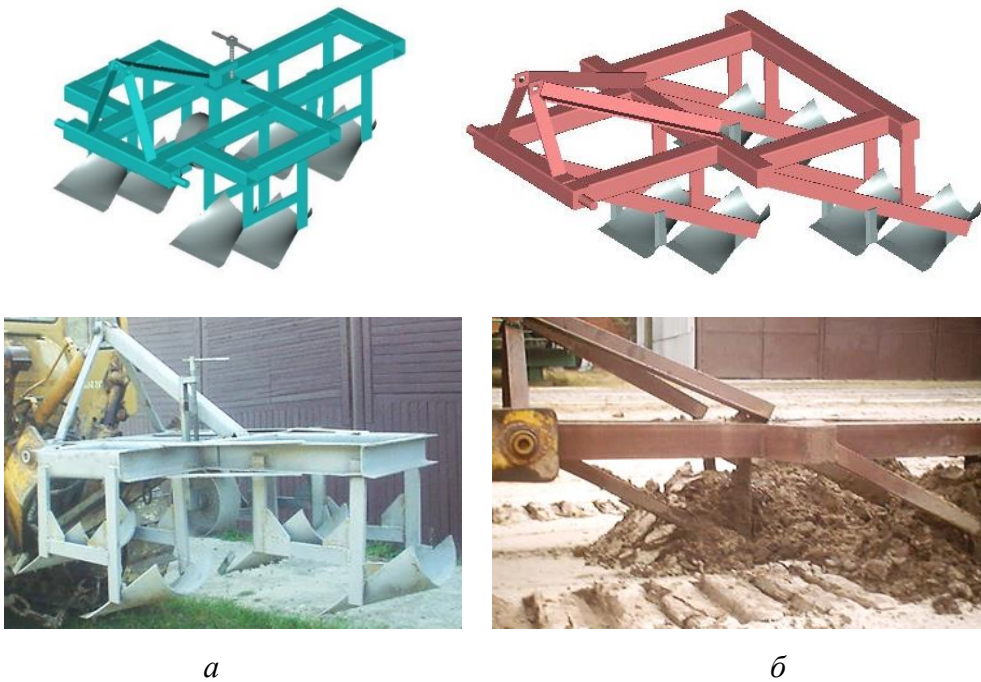


Рис. 4.2. Ярусні робочі органи для глибокого розпушення ґрунту: *а* – з V-подібною компоновкою; *б* – з Δ -подібною компоновкою

Варіант (б) має Δ -подібне розміщення стояків на несучій рамі для збільшення зчіпних властивостей тягача від дії вертикальної реакції опору розробки ґрунту. В косих стояках присутнє вертикальне перекриття до 1/4 довжини робочих поверхонь в ярусах в напрямку руху робочого органа. ґрунт, що розробляється, сприймає тільки поперечний згин без стиску. Перед робочими поверхнями у верхньому ярусі встановлені вертикальні розрізні ножі. опорне колесо відсутнє.

В загальному, робочий орган такого глибокорозпушувача складається з рами з несучими стояками, на яких закріплені ґрунторозробні елементи у вигляді спряження горизонтального ножа з увігнутою симетричною жолобоподібною ґрунторозпушувальною поверхнею змінної кривизни. Через форму і параметри цієї поверхні задається необхідна деформація, ступінь напруження, а, отже, подрібнення розроблюваного шару ґрунту. Загальна компоновка робочого органа глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням ґрунторозпушувальних поверхонь в трьох взаємно перпендикулярних напрямках [195; 99].

Як видно, подрібнення ґрунту відбувається за рахунок деформації згину. Це обумовлено тим, що ґрунт є бімодульним середовищем. Тому, при згинанні, внаслідок співвідношення величин модулів стиску та розтягу, 62-76% активного середовища працює на розтяг, який є найменш енергоємним видом руйнування [196; 197; 200].

Процес розробки ґрунту відбувається наступним чином. При русі робочого органа, стружка ґрунту, що зрізується кожним горизонтальним ножом, рухається поверхнею і поступово загинається від країв до середини внаслідок жолобоподібної форми останньої та структурується за рахунок деформування згином в двох координатних площинах досягаючи розрахункових показників на кінці поверхні (рис. 4.3).

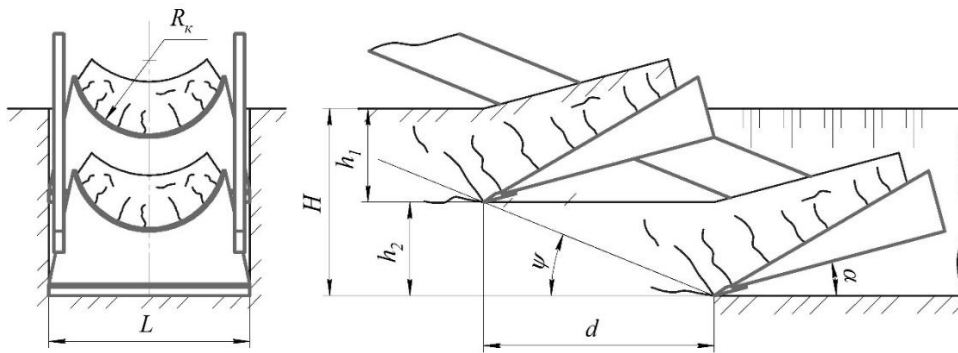


Рис. 4.3. Принцип роботи ярусного робочого органа: R_k – радіус кінцевої кривизни поверхні робочого органа; L – ширина робочого органа; H – загальна глибина розробки; h_1 – глибина розробки ґрунту верхнім ярусом; h_2 – глибина розробки ґрунту нижнім ярусом; d – зміщення робочих органів; ψ – кут нахилу лінії ріжучих кромок до горизонту; α – кут установки поверхні до горизонту

Застосування таких робочих органів дає можливість через структуру розробленого ґрунту встановити сприятливі умови для відновлення водно-фізичного стану ґрунту без використання додаткових технічних засобів. За результатами досліджень форма ґрунторозпушувальної поверхні у значній мірі залежить від ґрунтових умов.

Спроектовані за даними принципами багатоярусні робочі органи апробовані на виробничих випробовуваннях в КСП “Інфо-центр” Рівненської області та на староорних землях ПСП “Мирне” в Рівненській області, які характеризуються переважно супіщаним типом ґрунту щільністю 1,41-1,48 г/см³ з вологістю 12-15% на глибину до 0,5 м. Кількість ударів ударника ДорНДІ 3...6 [194].

Випробування проводилися з метою перевірки працездатності робочого органа, та визначення кількісних та якісних показників його роботи. В результаті випробувань встановлено наступне: заглиблювання робочого органа з поверхні землі відбувалося за рахунок його власної ваги при плаваючому положенні гідроциліндрів навіски, а регулювання глибини здійснювалося плавно; розпушення ґрунту багатоярусним робочим органом характеризується зменшенням щільності до 1,11-1,28 г/см³, що відповідає коефіцієнту розпушення в межах 1,15...1,27; тяговий опір зростав пропорційно глибині розробки і становив в середньому 25...28 кН;

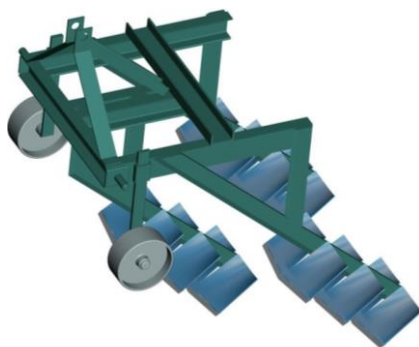
перемішування верхніх та нижніх шарів ґрунту при розпушенні не спостерігалось.

Проведені порівняльні випробування двоярусних конструкцій (див. рис. 4.2, а) показали кращу ефективність у роботі робочого органу А-подібного виконання, з поверхнями де головним чинником був лише згин ґрунтового шару. Встановлення опорного колеса дало змогу отримати кращий макрорельєф поля.

При дослідженні першого, V-подібного, варіанту, з поверхнями де головним чинником був лише згин ґрунтового шару, було отриманий кращий макрорельєф поля. В другому варіанті, у А-подібному виконанні, з поверхнями з додатковим руйнуванням ґрунтового шару від стиску, внаслідок утрудненого проходження розпушеного ґрунту, перед робочими поверхнями утворювалися призми волочіння, надлишок яких проходив між стояками і утворював небажаний макрорельєф поля.

Загалом, розпушення ґрунту багатоярусними робочими органами характеризується зменшенням щільності верхнього шару до $1,22-1,36 \text{ г/см}^3$, що відповідає коефіцієнту розпушення в межах $1,23...1,32 \text{ г/см}^3$; у структурному складі розпушеного ґрунту переважали ґрунтові агрегати до 25-50 мм в поперечнику ($<25 \text{ мм} - 65\%$; $<50 \text{ мм} - 93\%$); заглиблювання робочого органу з денної поверхні здійснювалося за рахунок його власної ваги, а регулювання глибини здійснювалося плавно; при розробці щілини перемішування верхніх родючих шарів ґрунту та нижчележачих не спостерігалось. Крім позитивних моментів спостерігалось також незначне накопичення ґрунту між спареними стояками.

Тому, після аналізу отриманих результатів для подальшого розвитку конструкції технічних засобів для глибокої диференційованої розробки ґрунту встановлено, що більш перспективними є ярусні робочі органи з одинарними стояками (рис. 4.4).



а



б

Рис. 4.4. Ярусні робочі органи для глибокого диференційованого розпушення ґрунту з удосконаленими стояками: а – триярусний спарений з косими лемішами; б – двоярусний з прямими лемішами

При чому розміщення стояків залежить від типу ґрунту. Для важчих ґрунтів пропонується варіант з косими стояками (див. рис 4.4, а), а для легких – варіант з вертикальними стояками (див. рис. 4.4, б).

4.3. Шляхи реалізації вологорегулюючих та енергоефективних принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

За аналізом розвитку відомих на сьогодні агротехнологій (культурна оранка, безполицевий обробіток, нульовий обробіток ґрунту (No-Till), смугове розпушення прикореневого шару (Strip-Till), Verty-till та Mini-till) та їхніх переваг визначено ключові моменти до удосконалення глибокого розпушення: глибина дії 0,6–0,7 м, пошаровість, підгин і згин ґрунту, неперевертання ґрунту, розпушення ґрунту за площею, збереження гумусного шару, вертикальне розрізання ґрунту, періодичність розпушення 1 раз на 3 роки.

Тому для вдосконалення глибокого розпушення пропонується *перехід від традиційних ширококовжливаних технологій глибинно-локалізованого і вертикально-спрямованого щільного або смугового розпушення до суцільного, удосконаленого за енергоефективними та вологорегулюючими принципами, диференційованого за профілем і глибиною пошарового глибокого розпушення ґрунту удосконаленими ярусними технічними засобами..*

Щодо конструкції технічних засобів то необхідним є вибір найбільш раціонального способу деформації і подрібнення ґрунту з умов керованості і енергоємності [73; 75; 76; 71; 101]. В робочих органах розпушувачів можливе використання декількох видів деформації і подрібнення ґрунту: відрив, розкол, сепарація, скол, роздавлювання, злам, згин, зсув, гравітаційний удар [132]. Різні способи мають різну ступінь керованості і різну енергоємність.

Для зменшення енергоємності процесу небажаними є способи в яких присутніми є притискання, затискання чи ущільнення, це – розкол, роздавлювання і зсув. З точки зору керованості процесу і диференціації розробки ґрунту пріоритетними вважаються способи, які є більш залежними від параметрів робочого органу ніж від характеристик ґрунтового середовища, тобто: сепарацію, злам, згин.

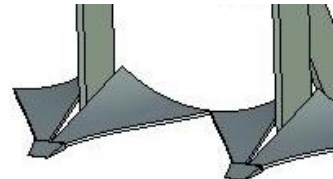
Технічна реалізація контролю над робочим процесом розпушення є можливою при використанні розділяючих (чизельних) або полицевих робочих органів. За аналізом розвитку конструкції таких робочих органів для удосконалених робочих органів глибокорозпушувачів [48; 191; 213] визначено доцільність переходу від варіанту виконання поверхонь ґрунторозпушувальних елементів ярусних глибокорозпушувачів цільними жолобоподібного виду з рівномірним подрібненням (рис. 4.4, б) [150] до

варіанту виконання у формі спряження долота-леміша з увігнутих стріловидним елементом змінної кривизни з поступовим подрібненням (рис. 4.5) [148].

Полицеві (ліві, праві) → Дискові → Радіально-полицеві →



Долото-радіальні
клиноподібні



Чизельні → Долото з поширювачами → Клинові →



Рис. 4.5. Формозміна конструкції розпушувальних робочих органів

Процес розпушення ґрунту супроводжується формуванням елементної скиби, яка рухаючись вздовж поверхонь робочих органів поступово розкришується на ґрунтові агрегати величина яких пропорційна радіусу кривизни поверхонь на виході з них. Завдяки новому принципу дії, вперше з'явилась можливість контролювати процес розпушення ґрунту, а саме отримувати бажану ступінь його розпушення у кожному горизонті ґрунту, тобто диференціювати структуру розпушення за глибиною.

Якщо розглянути принципи подрібнення ґрунтової скиби ґрунторозпушувальними робочими органами з рівномірним та поступовим подрібненням, то в загальному вони є схожими але присутні і деякі відмінності (рис. 4.6). В першому варіанті, при русі розпушувача, стружка ґрунту, що зрізується кожним горизонтальним ножом, рухається ґрунторозпушувальним елементом і поступово загинається від країв до середини внаслідок жолобоподібної форми останньої та структурується за рахунок деформування згином в двох координатних площинах досягаючи розрахункових показників на кінці поверхні. розпушення ґрунту відбувається рівномірно і одночасно по всій ширині зрізаного шару ґрунту з підйомом по поверхні ґрунторозпушувального елемента на кут різання.

В іншому випадку (рис. 4.6, б), завдяки різній кривизні та стріловидності симетричних радіальних півповерхонь ґрунторозробних елементів розташованих на різних ярусах, диференціація якості розпушення

грунту за глибиною відбувається з меншим тяговим опором робочого органа внаслідок поступового подрібнення шару ґрунту без його попереднього вирізання горизонтальним лемешем та додаткового тертя від наступного переміщення через ґрунторозробний елемент. При русі рами з несучими стояками, симетричні стріловидні радіальні півповерхні суміжних стояків в кожному ярусі врізаються в шар ґрунту з двох сторін, під дією яких, без відриву від масиву, він поступово загинається від країв до середини внаслідок жолобоподібної форми останніх та розпушується за рахунок згину в двох координатних площинах досягаючи розрахункових показників на кінці півповерхонь окремо в кожному ярусі.

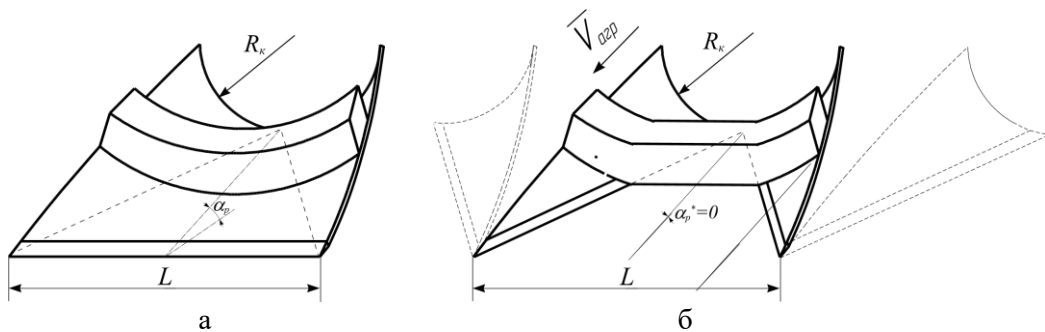


Рис. 4.6. Варіанти подрібнення ґрунтової скиби робочими органами глибокорозпушувача: а – рівномірне подрібнення; б - поступове подрібнення

Враховуючи вище приведене, варіант з поступовим подрібненням повинен мати перевагу в тяговому зусиллі тягача, так як в ньому відсутнє непродуктивне транспортування і підйом ґрунту, хоча можливий деякий програв в зусиллі різання ґрунту в наступному за поточним ярусом.

В якісному плані схема послідовності подрібнення у них майже однакова і має давати ідентичний кінцевий показник розпушення ґрунту. Згідно прийнятої раніше схеми подрібнення ґрунтової скиби проходить в декілька етапів (стадій) (рис. 4.7).

На кожному етапі, під дією нормальних зусиль реакції від поверхні ґрунтоорозпушуючого елемента, проходить руйнування відносно довгих (довжина більша висоти) або відносно коротких (довжина менша висоти) елементів ґрунтової скиби. Їх виникнення і руйнування відбувається по чергово. Відносно довгі елементи ґрунтової скиби поділяються навпіл, а відносно короткі розшаровуються по нейтральній лінії відповідно до деформаційних властивостей ґрунтового середовища. визначальними для кінцевої стадії подрібнення є висота ґрунтоагрегатів, які утворилися в зоні розтягу дотичного до поверхні ґрунторозпушувального елемента шарі ґрунту.

У загальному випадку, для реалізації прийнятої схеми робочого процесу подрібнення ґрунту, конструкція удосконаленого глибокорозпушувача представляє собою раму з несучими стояками, на яких, для роботи на

докритичних глибинах, закріплені робочі органи у вигляді спряження долота-леміша з увігнутими стріловидними ґрунторозпушувальними елементами змінної кривизни. Через форму і параметри цієї поверхні задається необхідна малоенергоємна деформація згину, величина напруження сколотої ґрунтової скиби і ступінь подрібнення розроблюваного шару ґрунту. Загальна компоновка глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням робочих органів в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

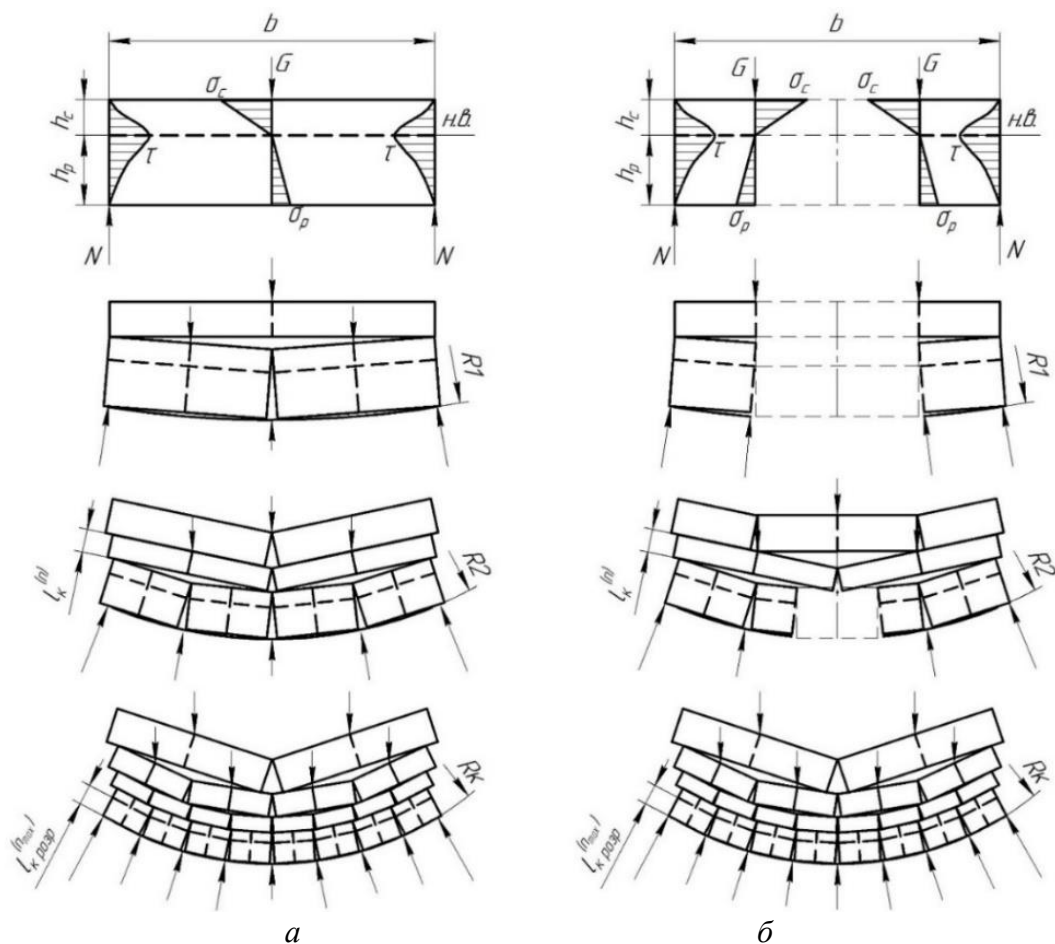
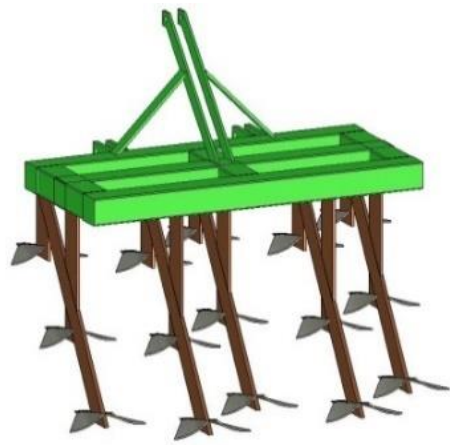


Рис. 4.7 – Стадії подрібнення ґрунтової скиби: *а* – рівномірне подрібнення; *б* – поступове подрібнення

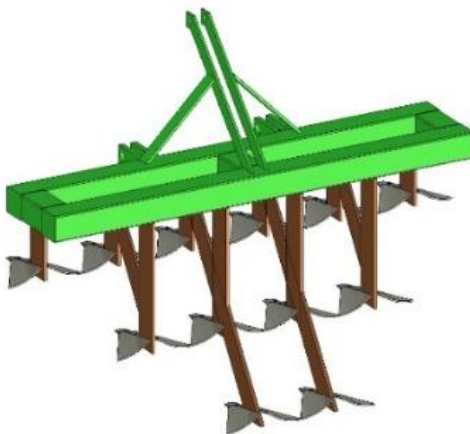
Конструкція вдосконаленого глибокорозпушувача фактично є модульною, що дозволяє комбінувати компоновкою робочих органів для вирішення різних технологічних задач залежно від ґрунтових умов, зміни режиму опадів або агротехнічних рекомендацій (рис. 4.8).



a



б



в



г

Рис. 4.8. Ярусні глибокорозпушувачі удосконаленої конструкції:
a, б – для легких ґрунтів; *в* – для середніх ґрунтів; *г* – для важких ґрунтів

Застосування робочих органів глибокорозпушувачів удосконаленої конструкції дає можливість значно зменшити затрати для отримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунтів

4.4. Висновки до розділу

1. За проведеним аналізом переваг та недоліків найбільш поширених на сьогодні видів обробки ґрунту визначено доцільність проведення глибокого розпушення без обороту верхнього шару з окремою розробкою кожного функціонального ґрунтового шару і контрольованим макроагрегатним подрібненням ґрунту малоенергоємними способами.

2. Для забезпечення реалізації необхідного удосконалення глибокого розпушення щодо сучасних умов та вимог пропонується перехід від традиційних широкоживаних технологій щільного та смугового розпушення до суцільного за площею але диференційованого за профілем та глибиною пошарового глибокого розпушення ґрунту удосконаленими технічними засобами з поступовою схемою подрібнення.
3. За аналізом існуючих рішень для подальшого розвитку конструкції технічних засобів встановлено, що найбільш перспективними для глибокої диференційованої розробки ґрунту є ярусні робочі органи з одинарними стояками. Визначено також доцільність переходу до варіанту виконання ґрунторозпушувальних робочих органів у формі спряження долота-леміша з увігнутими стріловидними робочими органами змінної кривизни з поступовою схемою подрібнення ґрунту при розпушенні так, як такий варіант повинен мати менший тяговий опір через відсутність непродуктивного транспортування і підйому ґрунту.
4. Обґрунтовано доцільність здійснення суцільного за площею але диференційованого за профілем та глибиною пошарового глибокого розпушення ґрунту до утворення вологоакуючої дрібногрудчоватої макроструктури ґрунту та фільтраційної середньо-, крупногрудчоватої макроструктури ґрунту з урахуванням призначення ґрунтових шарів і формуванням різного профілю розпушеної смуги ґрунту.
5. Обґрунтовано конструкцію удосконаленого глибокорозпушувача, що представляє собою раму з несучими стояками, на яких, поярусно закріплені робочі органи у вигляді спряження долота-леміша з увігнутими стріловидними ґрунторозпушувальними робочими органами змінної кривизни, через форму і параметри якої задається необхідна величина напруження і ступінь подрібнення розроблюваного ґрунту в кожному шарі окремо. Загальна компоновка глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням робочих органів в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

5. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ

5.1. Вихідні передумови. Узагальнена технологічна схема удосконаленого глибокого меліоративного розпушення

При реалізації удосконалених технологій суцільне глибоке розпушення ґрунту проводять суцільним як по висоті профілю кожного шару, так і по площі поля, верхній шар розпушують до утворення середньо- та дрібногрудчоватої структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях, а нижні шари розпушують до утворення крупно- та середньогрудчоватої структури на глибину дещо меншу від глибини залягання дренажу.

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

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

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

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

З урахуванням різних природних передумов розроблено узагальнену технологічну схему удосконаленого глибокого меліоративного розпушення (рис. 5.1).

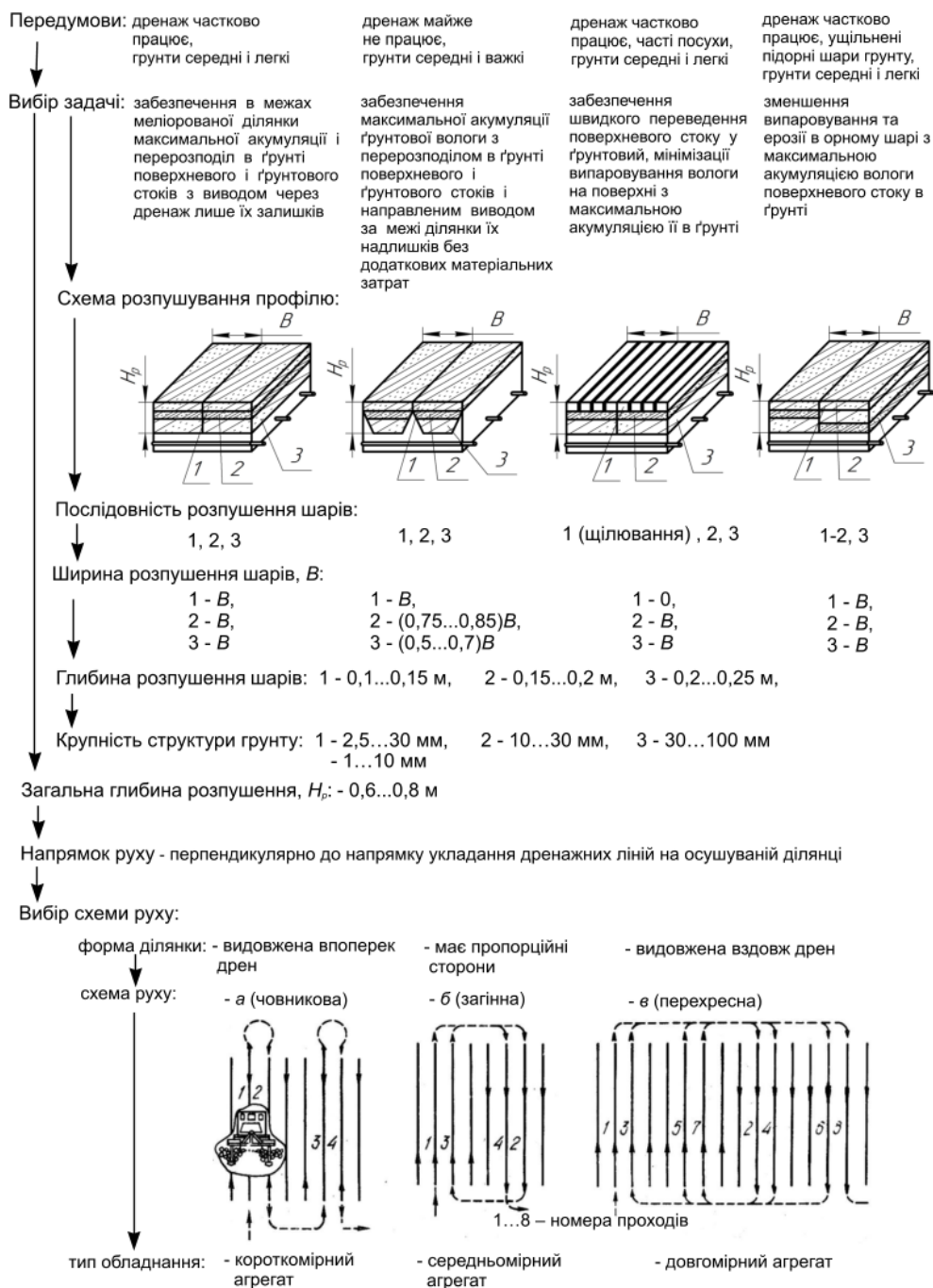


Рис. 5.1. Узагальнена технологічна схема удосконаленого глибокого меліоративного розпушення

Узагальнена технологічна схема удосконаленого глибокого меліоративного розпушення направлена на вирішення наступних задач:

- забезпечення в межах меліорованої ділянки максимальної акумуляції і перерозподіл в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків з виводом через дренаж лише їх залишків;

- забезпечення максимальної акумуляції ґрунтової вологи з перерозподілом в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків і направленим виводом за межі ділянки їх надлишків без додаткових матеріальних затрат;

- забезпечення швидкого переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, мінімізації випаровування вологи на поверхні з максимальною акумуляцією її в ґрунті;

- зменшення випаровування та ерозії в орному шарі з максимальною акумуляцією вологи поверхневого стоку в ґрунті.

Залежно від ґрунтових умов, зміни режиму опадів або технологічних вимог для енергоефективного регулювання фільтрації та акумулювання вологи для ґрунтів різного типу, існує конструктивна можливість формувати різний профіль розпушеної смуги ґрунту (див. рис. 4.8), прямокутний – для легких ґрунтів, трапецевидний – для середніх ґрунтів та трикутний – для важких ґрунтів (рис. 5.2).

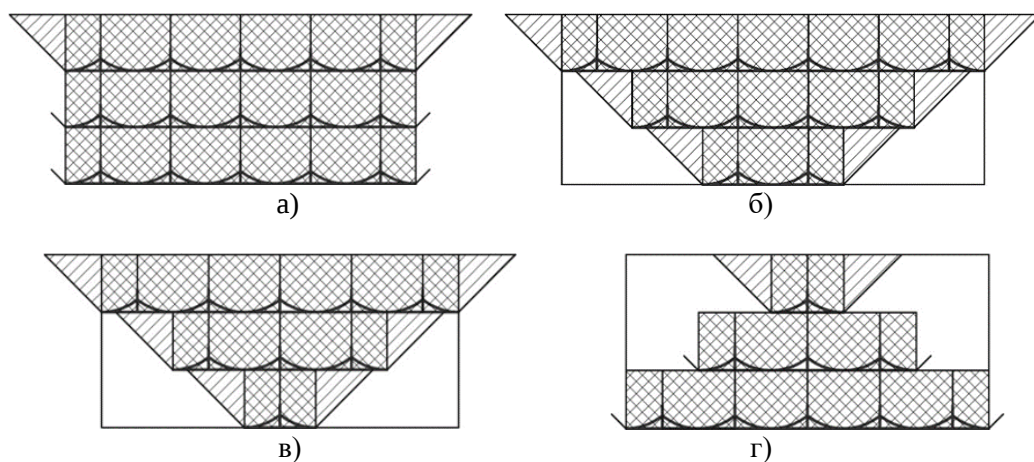


Рис. 5.2. Форма і повнота розпушення поперечного профілю: а) – прямокутний профіль (супіски і легкі суглинки); б) – трапецевидний профіль (середні суглинки); в) – трикутний профіль (важкі суглинки, глини); г) – обернений трикутний профіль (підґрунтове розпушення): xxx – повне структурне розпушення, /// – часткове розпушення сколом

Через зміну макроструктури осушуваних мінеральних ґрунтів глибоке розпушення, насамперед, безпосередньо впливає на макроагрегатний стан ґрунтів, їх щільність і шпаруватість, а за тим, на їх водно-фізичні властивості, що, в свою чергу, відображається на умовах розвитку вирощуваних культур і

їх урожайності. Це є однаково актуальним як для зони осушення так і для зони зрошення [159; 248; 202; 249].

5.2. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з частково працюючим дренажем

Пропонується технологічне рішення направлене на вирішення задачі забезпечення в межах меліорованої ділянки максимальної акумуляції і перерозподіл в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків з виводом через дренаж лише їх залишків.

Відомо подібні способи глибокого обробітку ґрунту на меліоративному полі при якому верхній шар ґрунту розпушують суцільно і вносять мінеральні добрива або меліоранти, а в нижньому шарі проводять щільне розпушення смужками з одночасним проведенням дренажу [176] та спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі при якому у верхньому шарі ґрунту розпушують плугову підшову регульовальним робочим органом, а в нижньому шарі проводять щільювання ґрунту на глибину меншу від залягання дренажних труб [175].

Недоліками таких способів є значне посилення промивного режиму ґрунту та відсутність зміни структури розпушення ґрунту за глибиною, що є дуже важливим для отримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунту та те, що при щільному розпушенні проходить переущільнення ґрунту у бічних стінках щілини, що значно знижує вологоакумулюючий потенціал масиву ґрунту.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що при способі глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі при якому розпушують верхній шар ґрунту, плугову підшову і нижній шар ґрунту, розпушення кожного шару проводять суцільним як по висоті профілю кожного шару, так і по площі поля, верхній шар до плугової підшови розпушують до утворення середньота дрібногрудочкової структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а плугову підшову разом з нижнім шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини залягання дренажу. Утворення зернистої та дрібногрудочкової структури дає можливість максимально ефективно використати вологоакумулюючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні над плужною підшовою де потенційно розміщуються кореневі системи більшості с.-г. культур. Утворення крупно- та середньогрудочкової структури до глибини залягання дренажу дає можливість достатньо швидко виводити надлишок рідини за рахунок збільшених проміжків між частинками ґрунту одночасно з деяким акумулюванням її в ґрунті через утворення достатньої площі поверхні частинок ґрунту. Утворення середньогрудочкової структури у верхній

чверті верхнього шару захищає накопичену дещо нижче вологу від надлишкового випаровування з поверхні і вивітрювання. В результаті в кожному з шарів ґрунту отримується вологоакумулююча структура, яка є відповідною до призначення кожного з них: з максимальним потенціалом вологоакумулювання у верхній частині та достатньою водопрпускнуою спроможністю з одночасним акумулюванням деякої частини вологи у нижній частині ґрунтового профілю (рис. 5.3).

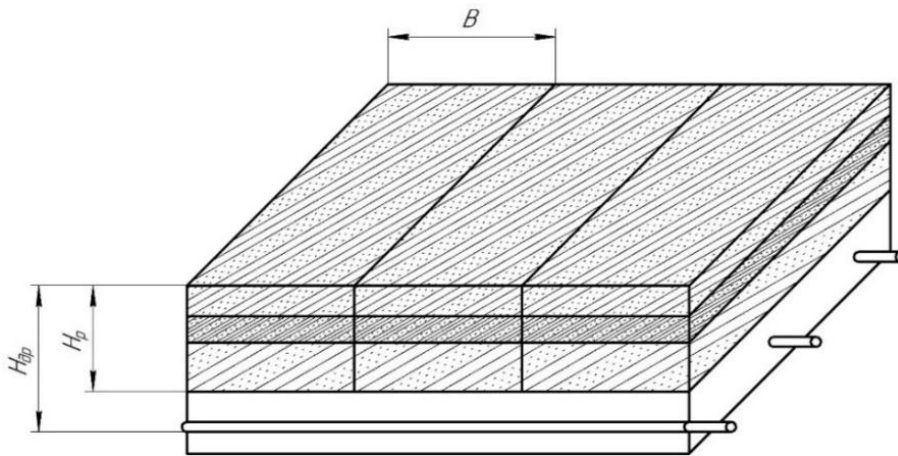


Рис. 5.3. Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [148] або декількома технічними засобами. При русі робочого органа його ґрунторозпушуючі елементи рухаючись горизонтально з взаємним перекриттям в кожному шарі ґрунту за рахунок механічного впливу суцільно розпушують верхній шар ґрунту до плугової підшви до утворення середньо- та дрібногрудчоватої структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях, а плугову підшву разом з нижнім шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудчоватої структури на глибину меншу від глибини залягання дренажу. Після здійснення такого розпушення вода поверхневого стоку через достатньо великі пори середньогрудчоватої структури у захисній верхній чверті верхнього шару буде переводитись у ґрунтовий стік сповільнюючи свій рух за рахунок зменшення пор зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях верхнього шару, максимально акумулюючись у ньому, проходити в нижній шар, де за рахунок збільшених пор крупно- та середньогрудчоватої структури, дещо прискорюватись, при цьому частина вологи ще акумулюється в структурі ґрунту, а кінцевий надлишок доходить до дрени і виводиться за межі меліорованої ділянки [177].

5.3. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з непрацюючим дренажем

Пропонується технологічне рішення направлене на вирішення задачі забезпечення максимальної акумуляції ґрунтової вологи з перерозподілом в ґрунті поверхневого і ґрунтового стоків і направленим виводом за межі ділянки їх надлишків без додаткових матеріальних затрат.

Відомо подібні способи глибокого обробітку ґрунту на меліоративному полі при якому верхній шар ґрунту розпушують суцільно і вносять мінеральні добрива або меліоранти, а в нижньому шарі проводять щільне розпушення смугами з одночасним проведенням дренажу [176] та коли при здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини прокладання дренажу [177].

Недоліками цих способів є значне посилення промивного режиму ґрунту та відсутність зміни структури розпушення ґрунту за глибиною, що є дуже важливим для отримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунту та те, що суцільне розпушення, особливо в нижніх щільніших шарах, потребує значних затрат енергії і тягових зусиль, крім того напрям відводу можливої надлишкової вологи від поверхневого і ґрунтового стоків є невизначеним без застосування дренажної системи.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі глибокого розпушення ґрунту при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини прокладання дренажу, розпушення плугової підшви і нижніх шарів ґрунту здійснюють з утворенням суміжних смуг симетричного трапецевидного профілю розпушеного ґрунту зі звуженням в напрямку нижніх шарів (рис. 5.4).

Утворення таких смуг дає можливість за рахунок суміжності верхніх частин профілів сусідніх смуг зберегти переваги суцільності обробітку у верхньому шарі, а в нижніх шарах, за рахунок меншого об'єму розпушення в кожній смузі трапецевидного профілю відносно прямокутного мати менші приведені питомі енергозатрати розпушення ґрунту в порівнянні з суцільним, а чергування розпушених ґрунтових смуг з відносно вузькими водороздільними нерозпушеними частинами чітко визначатиме перерозподіл та направленість потоків надлишків поверхневого і ґрунтового стоків в напрямку утворених смуг розпушеного ґрунту.

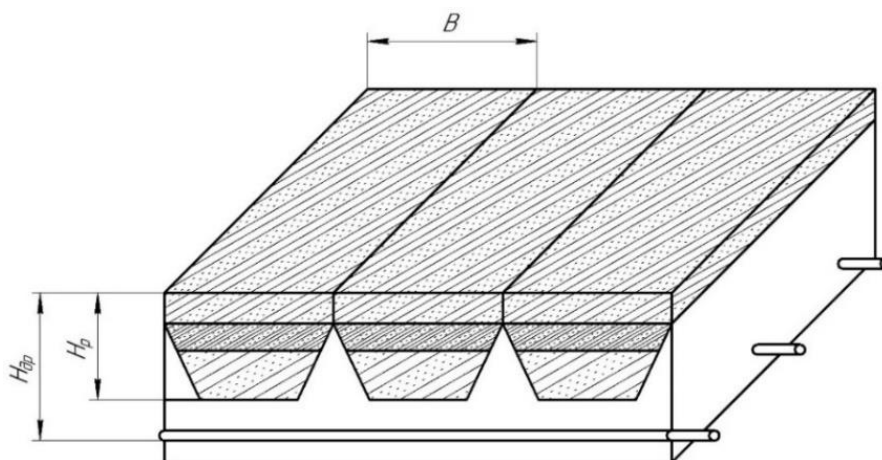


Рис. 5.4. Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки на важких ґрунтах

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [146, 147, 34] або декількома технічними засобами. При русі робочого органа його ґрунторозпушуючі елементи рухаючись горизонтально в кожному шарі ґрунту за рахунок механічного впливу суцільно розпушують верхній шар ґрунту до утворення середньо- та дрібногрудочкової структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а плугову підшву разом з нижнім шаром розпушують, до утворення смуг симетричного трапецевидного профілю зі звуженням в напрямку нижніх шарів, крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини прокладання дренажу. Після здійснення такого розпушення вода поверхневого стоку через достатньо великі пори середньогрудочкової структури у захисній верхній чверті верхнього шару буде переводитись у ґрунтовий стік сповільнюючи свій рух за рахунок зменшення пор зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях верхнього шару, максимально акумулюючись у ньому, проходити в нижній шар, де за рахунок збільшених пор крупно- та середньогрудочкової структури смуг симетричного водозбірного трапецевидного профілю горизонтально перерозподіляться і дещо вертикально прискорюватись, при цьому частина вологи ще акумулюється в структурі ґрунту, а кінцевий надлишок доходить до твердого нерозпушеного шару і по смузі направлено виводиться за межі ділянки без обов'язкової необхідності влаштування матеріального дренажу [178].

5.4. Глибоке меліоративне розпушення для посушливих регіонів

Пропонується технологічне рішення направлене на вирішення задачі забезпечення швидкого переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, мінімізації випаровування вологи на поверхні з максимальною акумуляцією її в ґрунті.

Відомо подібні способи різноглибинного механічного обробітку ґрунту здійснюють ґрунтообробним знаряддям, коли за один прохід знаряддям виконують дві технологічні операції: поверхнєве плоскорізне розпушення орного шару на глибину 0,12...0,15 м зі збереженням стерні і поживних залишків та глибоке (0,4...0,45 м) рихлення нижнього підорного горизонту глибокорозпушувачами, що встановлені на плоскорізі [180] та спосіб при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами до утворення крупно- та середньогрудочкової структури [177].

Недоліками таких способів є підвищення сприйнятливості до ерозії верхнього шару ґрунту через його плоскорізне розпушення та відсутність отримання вологоакумулюючої середньо- та дрібногрудочкової структури розпушеного ґрунту за глибиною, що є дуже важливим для отримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунту в даних регіонах та те, що суцільне розпушення орного шару сповільнює переведення поверхневого стоку у ґрунтовий, що сприяє непродуктивному випаровуванню вологи поверхневого стоку, крім того потребує значних затрат енергії і тягових зусиль.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що при способі глибокого розпушення в посушливих регіонах при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами до утворення крупно- та середньогрудочкової структури, у верхній чверті орного шару здійснюють вертикальне щілювання (рис. 5.5).

Утворення вертикальних щілин дозволить без випаровування вологи на поверхні поля швидко сконцентрувати поверхневий стік в щілинах та через їх достатньо велику пропускну здатність максимально швидко перевести його в ґрунтовий, що унеможливить від непродуктивного випаровування і вивітрювання з поверхні поля отриманої вологи. Утворення зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях орного шару до плугової підшви дає можливість максимально ефективно використати вологоакумулюючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні де потенційно розміщуються кореневі системи більшості с.-г. культур.

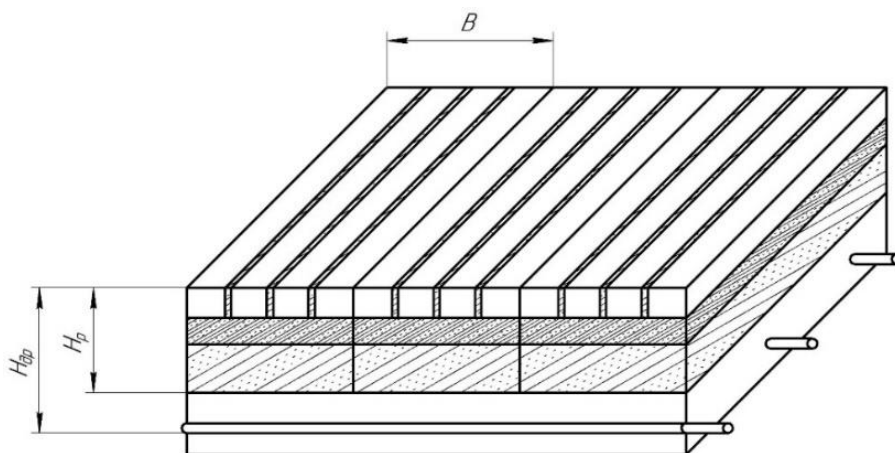


Рис. 5.5. Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки для посушливих періодів

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [153] з можливістю установки робочих органів для основного обробітку. При русі робочого органа його ґрунторозробні елементи рухаючись горизонтально в кожному шарі ґрунту за рахунок механічного впливу проводять вертикальне щільювання верхньої чверті та суцільно розпушують до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях орного шару ґрунту, а плугову підшву разом з нижніми шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури. Після здійснення такого розпушення вода поверхневого стоку буде безперешкодно переводитись у ґрунтовий стік сповільнюючи свій рух у нижніх трьох чвертях орного шару за рахунок зменшення пор зернистої та дрібногрудочкової структури, максимально акумулюючись у ньому, проходити в нижні шари, де, за рахунок збільшених пор крупно- та середньогрудочкової структури, горизонтально перерозподілятися і остаточно акумулюватися в структурі нижніх шарів ґрунту [174].

5.5. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з переуцільненими підорними шарами

Пропонується технологічне рішення направлене на вирішення задачі зменшення випаровування та ерозії в орному шарі з максимальною акумуляцією вологи поверхневого стоку в ґрунті.

Відомо подібні способи різноглибинного механічного обробітку ґрунту, який здійснюють ґрунтообробним знаряддям, коли за один прохід знаряддям виконують дві технологічні операції: поверхневе плоскорізне розпушення орного шару на глибину 0,12-0,15 м зі збереженням стерні і

поживних залишків та глибоке (0,4-0,45 м) розпушення нижнього підорного горизонту глибокорозпушувачами, що встановлені на плоскорізі [180] та інший при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами – до утворення крупно- та середньогрудочкової структури [177].

Недоліками таких способів є неможливість отримання вологоакумуляуючої середньо- та дрібногрудочкової структури розпушеного ґрунту за глибиною, що є дуже важливим для отримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунту та те, що суцільне розпушення орного шару сприяє непродуктивному випаровуванню вологи поверхневого стоку та існує невизначеність з обробкою рослинних решток на поверхні поля.

Поставлена задача вирішується завдяки тому, що у способі глибокого розпушення, при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами – до утворення крупно- та середньогрудочкової структури, розпушення орного шару здійснюють безполицевим обробітком ґрунторозробними елементами.

Крім того при необхідності розпушення плугової підшви і суміжних нижніх шарів здійснюють із взаємним обміном їх по горизонтах залягання, переміщуючи нижні шари на місце верхніх, а верхні на місце нижніх (рис. 5.6).

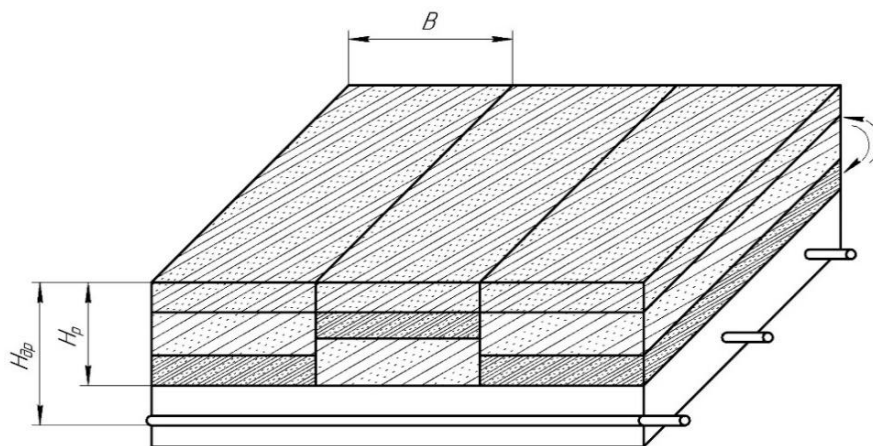


Рис. 5.6. Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки з переформатуванням суміжних ґрунтових шарів

Здійснення безполицевого обробітку орного шару за рахунок зв'язності частинок ґрунту з рослинними рештками захищає його від випаровування, ерозії та збіднення, а утворенням крупно- та середньогрудочкової

структури у нижніх шарах дає можливість максимально ефективно використати вологоакумуляуючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі контактної поверхні частинок ґрунту та проміжків між ними в зоні де потенційно розміщуються кореневі системи більшості с.-г. культур. Додатковий взаємний обмін розпушених плугової підшви і суміжних нижніх шарів по горизонтах залягання вирівнює з часом ґрунтові властивості по глибині та збільшує загальний потенціал ґрунтових шарів для акумуляції вологи та розвитку корневих систем рослин.

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача з можливістю установки робочих органів для основного обробітку. При русі робочого органа його ґрунторозробні елементи рухаючись горизонтально в кожному шарі ґрунту за рахунок механічного впливу здійснюють розпушення орного шару безполицевим обробітком (наприклад: культиваторами-плоскорізами, плоскорізами-глибокорозпушувачами, чизельними плугами, чизель-культиваторами, плугами без полиць або іншими подібними знаряддями), а плугову підшву разом з нижніми шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудчоватої структури. Після здійснення такого розпушення вода поверхневого стоку без випаровування в орному шарі буде переводитись у нижні шари, де, за рахунок пор крупно- та середньогрудчоватої структури, горизонтально перерозподілятися і максимально акумулюватися в структурі нижніх шарів ґрунту сприяючи розвитку корневих систем рослин та їх врожайності [179].

5.6. Висновки до розділу

1. Утворення зернистої та дрібногрудчоватої структури дає можливість максимально ефективно використати вологоакумуляуючий потенціал ґрунту за рахунок утворення великої площі поверхні частинок ґрунту та малих проміжків між ними в зоні над плужною підшвою де потенційно розміщуються кореневі системи більшості сільськогосподарських культур.
2. Утворення крупно- та середньогрудчоватої структури до глибини залягання дренажу дає можливість достатньо швидко виводити надлишок рідини за рахунок збільшених проміжків між частинками ґрунту одночасно з деяким акумулюванням її в ґрунті через утворення достатньої площі поверхні частинок ґрунту. Утворення середньогрудчоватої структури у верхній чверті верхнього шару захищає накопичену дещо нижче вологу від надлишкового випаровування з поверхні і вивітрювання.
3. Застосування удосконалених способів глибокого розпушення ґрунту з енергоефективним регулюванням фільтрації та акумулюванням вологи в ґрунті, дає можливість значно зменшити енергетичні та матеріальні затрати для підтримання сприятливого водно-фізичного стану ґрунтів на

протязі всього вегетаційного періоду та отримати стабільну врожайність вирощуваних культур при змінюваних кліматичних умовах.

4. Обґрунтовано технологічні параметри (кількість і глибина шарів, площа розпушення, форма профілю, величина макроагрегатів ґрунту) для здійснення суцільного глибокого меліоративного розпушення щодо різних ґрунтових умов та технологічних вимог: для меліорованих ділянок з частково працюючим дренажем, з непрацюючим дренажем, для посушливих регіонів, з переувігненими підорними шарами. Глибоке меліоративне розпушення для ділянок з частково працюючим дренажем є базовим, яке виконують суцільним по площі поля і по висоті прямокутного профілю розробки, верхній культурний шар розпушують до утворення середньо- та дрібногрудчоватої структури у верхній його чверті та зернистої, дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях, а нижні шари розпушують до утворення крупно- та середньогрудчоватої структури на глибину дещо меншу від глибини залягання дренажу. На відміну від базового, для ділянок з непрацюючим дренажем, розпушення здійснюють з трапецевидним або трикутним профілем розробки; для посушливих регіонів у верхній чверті культурного шару здійснюють вертикальне щільювання; для ділянок з переувігненими підорними шарами здійснюють взаємний обмін суміжних нижніх шарів по горизонтах залягання.

6. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ

6.1. Вихідні передумови

Конструкцію і параметри технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, згідно п. 2.5 та схеми на рис. 2.4 визначають сукупність різнорідних факторів серед яких вихідні і затребувані характеристики ґрунту меліорованого поля, як середовища здійснення робочого процесу розпушення, технологічні й енергетичні чинники.

Згідно розглянутий в п.4.2 основних тенденцій розвитку сучасних агротехнологій та конструкцій глибокорозпушувачів для обґрунтування конструкції удосконаленого глибокорозпушувача можна взяти за основу конструкцію ярусного глибокорозпушувача з радіальними жолобоподібними робочими органами (рис. 4.4, б) і рівномірним процесом подрібнення ґрунту на них (рис. 4.6, а) [179].

До основних характеристик ярусних робочих органів такого типу можна віднести наступне: конструкція рами з системою навіски, конструкція стояків, конструкція робочих органів, параметри просторового компонування.

З усього вище перерахованого конструкція рами з системою навіски майже не мають впливу на робочий процес, тому їх можна залишити аналогічно прототипу, а інші складові потребують удосконалення.

6.2. Обґрунтування форми поверхні робочого органу та параметрів робочого процесу розпушення ґрунту

Згідно розглянутої в п.4 тенденційної формозміни полицевих і чизельних розпушуючих робочих органів (див. рис. 4.5) для удосконаленого глибокорозпушувача пропонується їх виконання у формі спряження долота з клиново-радіальною розпушувальною поверхнею. При попарному симетричному з'єднанні вони умовно нагадують стрілку.

Це можна реалізувати на основі відомої радіальної жолобоподібної поверхні робочого органу шляхом вирізання певним чином середньої частини (рис. 6.1).

При такому варіанті виконання зберігаються переваги жолобоподібної форми робочого органу щодо забезпечення малоенергоємного розпушення ґрунту згином і разом з тим значно зменшується непродуктивне тертя вирізаної скиби ґрунту поверхнею робочого органу в нижній частині, з'являється можливість закріплення на одному стояку поза робочою зоною.

Математична модель форми поверхні робочого органу в декартових координатах $z=f(x, y)$ буде наступною

$$z(x, y) = \frac{a}{x} R_k - \sqrt{\left(\frac{a}{x} R_k\right)^2 - \left(y \pm \frac{b}{2}\right)^2}, \quad (6.1)$$

де z, y, x – поточні координати, $x \neq 0$; $x = 0 \dots a$; $y = -b/2 \dots b/2$.

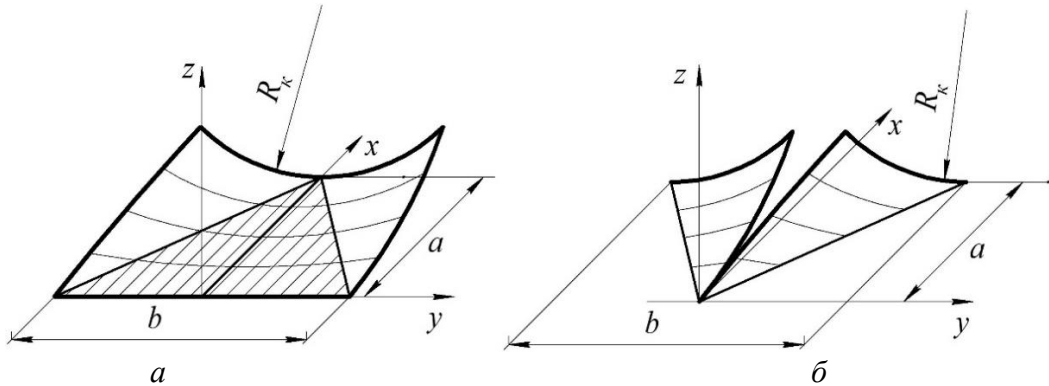


Рис. 6.1. Утворення форми поверхні робочого органу: *a* – прототип; *б* – удосконалення; /// – непродуктивна частина прототипу

Габаритні параметри будуть аналогічними для обох типів робочих органів і, відповідно, залежності для розрахунку основних параметрів будуть наступними [194]:

$$R_k = l_k \left(\frac{1}{2\varepsilon_p} + 1 \right), \quad b = \frac{\pi}{2} R_k, \quad a = \sqrt{2\varepsilon_p \cdot b \cdot V_{agr} \cdot t}, \quad (6.2)$$

де l_k – величина поперечника розрахункового структурного ґрунтового агрегату ($l_k = 0,003 \dots 0,010$ м);

ε_p – відносна деформація розриву ґрунту ($\varepsilon_p = 0,01 \dots 0,02$);

V_{agr} – швидкість робочого органу, м/с; $t_{1c} = 1$ с.

Величина поперечника структурного агрегату розпушеного ґрунту l_k , яка задається відповідно з агротехнічними рекомендаціями (1...10 мм, п. 4) є основним критерієм для зв'язку параметрів робочого процесу з параметрами робочих органів глибокорозпушувача.

Величина радіуса кінцевого поперечного перерізу поверхні R_k суттєво впливає на якісні показники розпушення. Він визначається за заданою величиною поперечника структурного ґрунтового агрегату та міцнісними ґрунтовими характеристиками (рис. 6.2, а).

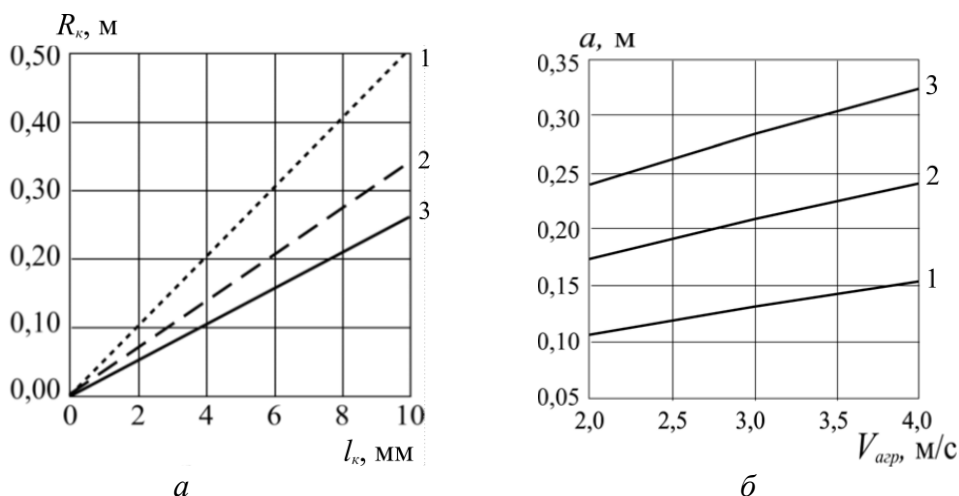


Рис. 6.2. Параметри робочого органу: a – радіус кінцевого поперечного перерізу; b – довжина робочого органу при $b=0,4$ м; 1 – супіски; 2 – суглинки; 3 – глини

Кількісні показники розпушення залежать від ширини захвату ґрунторозпушувальної поверхні робочого елемента b , яка визначається пропорційно радіусу кінцевого поперечного перерізу ґрунторозпушувальної поверхні R_k .

За інтенсивність процесу розпушення відповідає довжина поверхні a , яка визначається в залежності від робочої швидкості розпушувального агрегату.

Довші ґрунторозпушувальні поверхні робочого елемента є більш лінійчатию ніж коротші, тому сприяють легшому проходженню ґрунту. У відносно довгих поверхнях ($a > 0,25 \dots 0,42$ м) переважає в основному двоплощинне руйнування, а в більш коротких – триплощинне. Збільшення швидкості руху та підвищення зв'язності ґрунту призводить до подовження поверхні [194] (рис. 6.2, б).

З врахуванням часу релаксації ґрунту $0,17 \dots 0,18$ с [30] при швидкості руху $V_{agr} = 1,5 \dots 2,5$ м/с рекомендується використовувати робочі органи довжиною $a = 0,26 \dots 0,43$ м.

Структура ґрунту після розпушення таким робочим органом визначається механікою подрібнення ґрунтової скиби на ґрунторозпушувальній поверхні, що залежить від величини кривизни поверхні. Знаючи параметри ґрунторозпушувальної поверхні можна оцінити теоретичну структуру розпушеного ґрунту та визначити ступінь його розпушеності через кратність подрібнення.

Величина ґрунтоагрегатів, які утворюються на поточній стадії подрібнення була описана наступним чином [198; 199]:

$$l_{\kappa}^{(n)} = h \frac{k_h^{n-1}}{(k_h + 1)^n}; \quad n = \ln \left(\frac{h(1 + 2\varepsilon_p)}{2\varepsilon_p R_{\kappa}} - \frac{1}{k_h} - 1 \right), \quad (6.3)$$

де $l_{\kappa}^{(n)}$ – величина структурних агрегатів, які утворюються при n^{III} -стадії подрібнення ґрунтового шару;

n – кількість циклів горизонтальних розшарувань;

k_h – величина відношення висоти зони розтягу до висоти зони стиску при згині ґрунтової скиби;

h – глибина розробки в конкретному ярусі.

Враховуючи відношення модулів пружності ґрунтового середовища на стиск та розтяг, після математичних перетворень, для спрощення розрахунків та практичного використання, отримано апроксимаційні залежності величини розрахункових агрегатів розпушеного ґрунту в окремому ярусі:

$$l_{\kappa}^{(n)} = h \frac{(3,1...3,5)^{n-1}}{(4,1...4,5)^n}, \quad n = (3,6...4,0) \ln \left(\frac{34,333 \cdot h}{R_{\kappa}} \right). \quad (6.4)$$

Для практичної оцінки результатів за приведеними математичними моделями зробимо розрахунок для усередненого типу ґрунту та середніх очікуваних значень параметрів робочого органа. За отриманими значеннями побудуємо залежність зміни розмірів отримуваних ґрунтоагрегатів та їх кількості від поточного номеру стадії подрібнення (рис. 6.3).

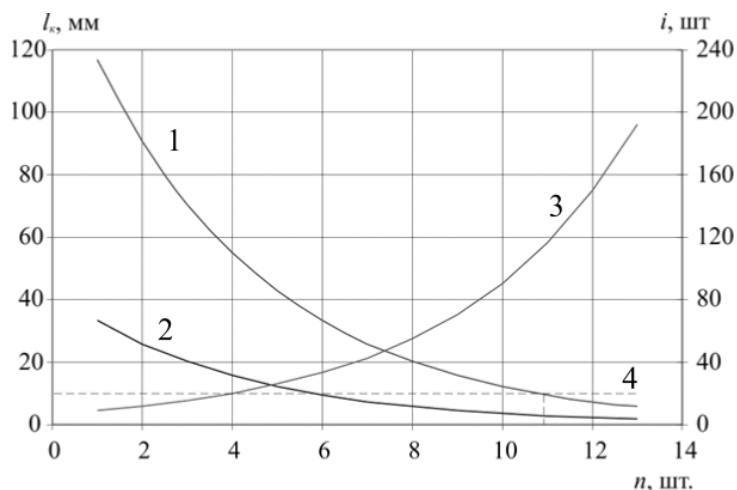


Рис. 6.3. Величина структури і стадії подрібнення ґрунту при розпушенні: 1 – крупність ґрунтової структури в зоні стиску; 2 – крупність ґрунтової структури в зоні розтягу; 3 – загальна кількість утворених ґрунтоагрегатів; 4 – крупність ґрунтової структури за агротехнічними рекомендаціями

Як видно з отриманих графічних залежностей, зі збільшенням стадій подрібнення величина ґрунтоагрегатів, як в зоні стиску так і в зоні розтягу, зменшується, а їх кількість збільшується, що є логічним з точки зору фізики процесу.

За кількістю стадій подрібнення можна відносно оцінити енергоємність процесу. Чим більша кількість стадій тим більше енергії потрібно буде затратити на їх здійснення (рис. 6.4).

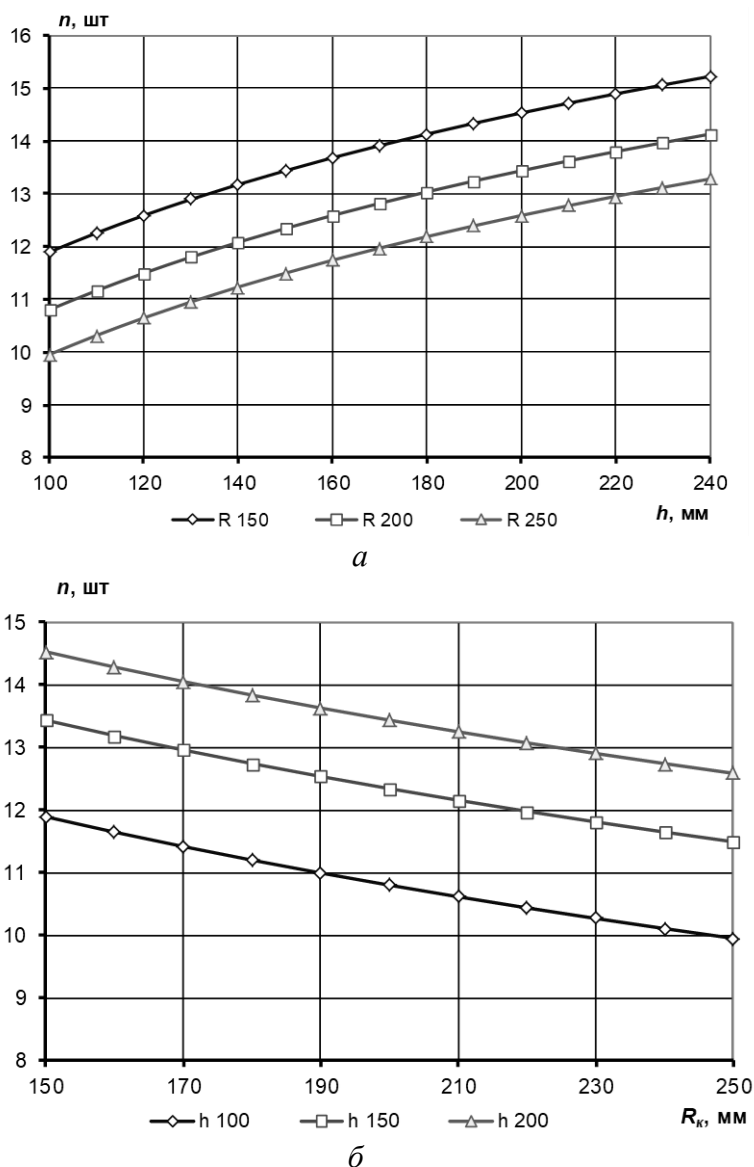


Рис. 6.4. Залежність кількості стадій подрібнення від конструктивних параметрів: a – від глибини ярусу; $б$ – від кінцевого радіусу

Як видно з отриманих графічних залежностей, зі збільшенням n (стадій подрібнення) величина ґрунтоагрегатів зменшується, а їх кількість збільшується, що є логічним з точки зору фізики процесу. Кількість стадій подрібнення, а отже і енергоємність процесу, пропорційна глибині розробки ґрунту в ярусі і обернено пропорційна величині кінцевого радіуса ґрунторозпушувального елемента. Загальна кількість стадій подрібнення n , для можливих орієнтовних конструктивних значень, лежить в межах 10-15 шт.

За теоретичною структурою розпушеного ґрунту можна визначити параметри робочих органів для різних функціональних шарів (табл. 6.1) .

Таблиця 6.1

Параметри структури розпушеного ґрунту при різних параметрах робочого органа глибокорозпушувача

Вихідні параметри		Структура розпушеного ґрунту							Кратність подрібнення ґрунту
Висота ярусу, мм	Кінцевий радіус, мм	Розміри утворених ґрунтоагрегатів	<5 мм	5-10 мм	10-25 мм	25-50 мм	>50 мм	Усереднений ґрунтоагрегат, мм	
100	150	шт., %	41,07	24,85	24,12	7,37	2,59	4,92	973
		за об'ємом, %	2,59	4,28	18,76	33,30	41,07		
	200	шт., %	23,37	32,31	31,37	9,59	3,37	5,58	1009
		за об'ємом, %	1,47	4,33	18,98	33,68	41,54		
	250	шт., %	0,00	42,16	40,94	12,51	4,39	6,33	981
		за об'ємом, %	0,00	4,39	19,26	34,19	42,16		
150	150	шт., %	40,44	32,79	15,43	7,26	4,09	5,74	1072
		за об'ємом, %	1,54	4,39	9,33	19,83	64,90		
	200	шт., %	0,00	55,05	25,90	12,19	6,87	7,38	865
		за об'ємом, %	0,00	4,46	9,48	20,14	65,92		
	250	шт., %	0,00	55,05	25,90	12,19	6,87	7,38	1081
		за об'ємом, %	0,00	4,46	9,48	20,14	65,92		
200	150	шт., %	40,23	32,62	15,35	7,22	4,59	6,75	1034
		за об'ємом, %	1,19	3,40	7,22	15,35	72,84		
	200	шт., %	22,75	42,15	19,83	9,33	5,93	7,65	1072
		за об'ємом, %	0,67	3,42	7,26	15,43	73,23		
	250	шт., %	0,00	54,57	25,67	12,08	7,68	8,68	1043
		за об'ємом, %	0,00	3,44	7,31	15,53	73,72		

Структура розпушеного ґрунту для верхнього протиерозійного шару буде відповідною до вимог при середніх значеннях кінцевого радіусу ґрунторозпушувальних елементів (0,18...0,22 м), кореневмісного шару – при малих значеннях (0,15...0,18 м), а нижніх фільтраційних шарів – при більших (0,22...0,25) (рис. 6.5).

Величина усередненого ґрунтоагрегату має майже пропорційну залежність від глибини розробки в ярусі та кінцевого радіусу, то величина кратності подрібнення має досить складну залежність. Найбільш інтенсивне подрібнення ґрунту відбувається при глибині розробки в ярусі 150 мм та кінцевому радіусі 250 мм, а найменш інтенсивне – при глибині розробки в ярусі 150 мм та кінцевому радіусі 200 мм.

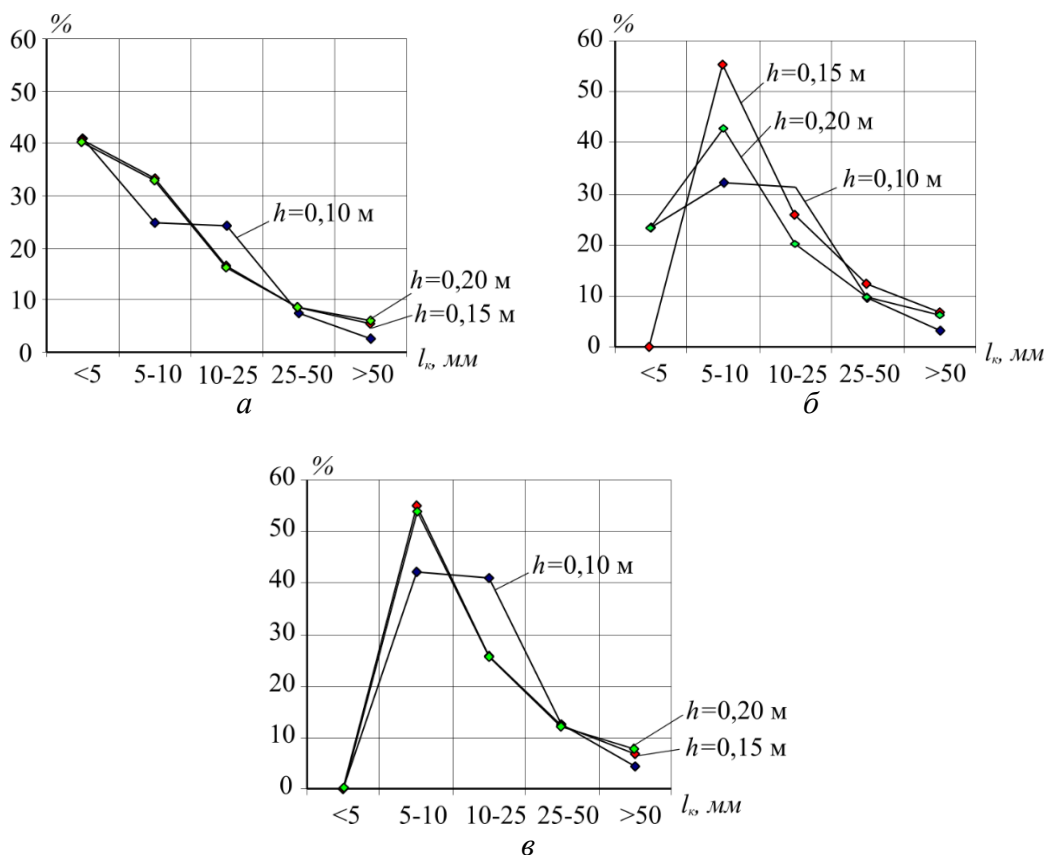


Рис. 6.5. Структура розпушеного ґрунту за кількістю ґрунтоагрегатів:
а – $R_k = 0,15$ м; б – $R_k = 0,15$ м; в – $R_k = 0,15$ м

При переміщенні ґрунту поверхнею робочого елемента проходить його поступове по елементне подрібнення згідно прийнятої схеми за рахунок симетричної дії нормальних реакцій поверхні на кожний ґрунтовий макроагрегат який з нею контактує. З боку ґрунтового макроагрегату цим реакціям будуть протидіяти внутрішні зусилля в зоні розтягу та стиску. Для визначення зусилля подрібнення на поверхні робочого органу розглянемо одну з частин ґрунтового макроагрегату через симетричність навантаження (рис. 6.6).

Величину нормальної реакції N_i без врахування тяжіння вже подрібнених раніше ґрунтових макроагрегатів будуть визначати максимальні зусилля руйнування структури макроагрегату P_{ci} , P_{pi} , які діють в обидві сторони та його зусилля тяжіння G_i . З рівноваги моментів зусиль відносно т. O_1 отримаємо

$$N_i l_{ki} \cos \varphi_{ki} - N_i h_{pi} \sin \varphi_{ki} = \frac{P_{ci}}{2} \frac{h_{ci}}{2} + \frac{P_{pi}}{2} \frac{h_{pi}}{2} + G_i \sin(\varphi_i - \varphi_{ki}) \left(\frac{h_{ci} + h_{pi}}{2} - h_{ci} \right). \quad (6.5)$$

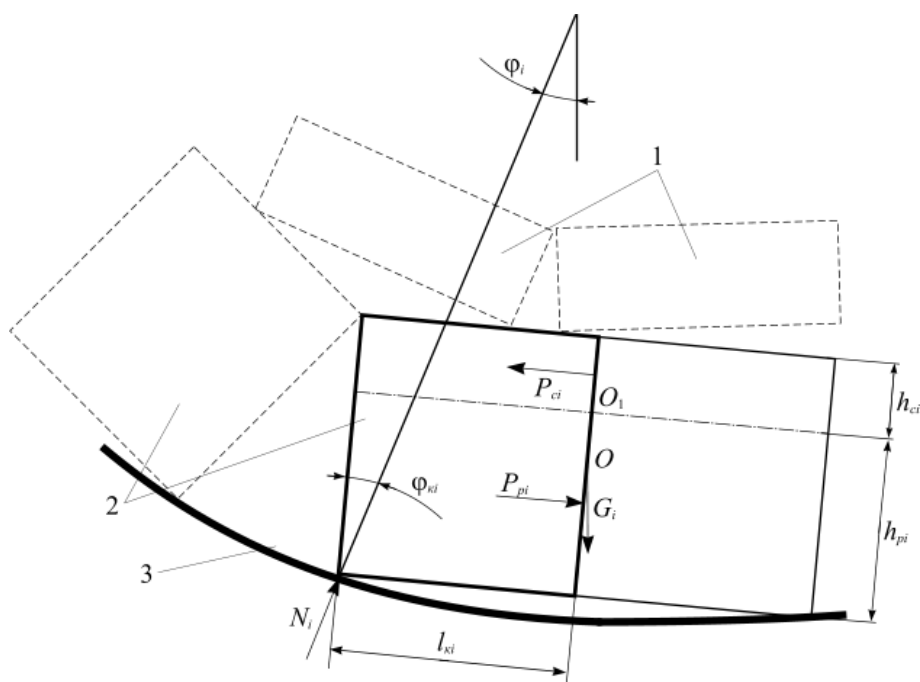


Рис. 6.6. Розрахункова схема визначення зусилля подрібнення ґрунтового макроагрегату на поверхні робочого органу: 1 – відокремлені ґрунтові макроагрегати попередньої стадії подрібнення; 2 - ґрунтові макроагрегати поточної стадії подрібнення; 3 – поверхня робочого елемента

Зважаючи на те, що момент від граничних напружень розриву та граничних напружень стиску врівноважується відносно нейтральної осі, а також, недостатністю даних по напруженням розтягу для різних ґрунтів, то для практичних розрахунків отримаємо:

$$\frac{P_{ci}}{2} \frac{h_{ci}}{2} = \frac{P_{pi}}{2} \frac{h_{pi}}{2}; \quad \frac{P_{ci}}{2} \frac{h_{ci}}{2} + \frac{P_{pi}}{2} \frac{h_{pi}}{2} = P_{ci} \frac{h_{ci}}{2}. \quad (6.6)$$

Згідно схеми руху ґрунту поверхнею робочого елемента кут φ_{ki} буде залежати від розмірів ґрунтового макроагрегату та форми поверхні робочого елемента. На початку поверхні він буде рівний «0» так як ґрунтові макроагрегати та поверхня робочого елемента будуть в горизонтальному положенні. В процесі руху ґрунту поверхнею значення кута буде незначно рости отримуючи максимальні значення десь на середині поверхні, а потім знову прямуватиме до «0» через значне здрібнення ґрунтових макроагрегатів і зменшення їх розмірів відносно розміру дуги поверхні робочого елемента.

З врахуванням вище приведеного аналізу величина нормальної реакції N_i буде визначатися наступним чином

$$N_i = \frac{P_{ci} h_{ci}}{2l_{ki}} + G_i \frac{h_{pi} - h_{ci}}{2l_{ki}} \sin \varphi_i. \quad (6.7)$$

Сумарну дії від зусиль G_i та тяжіння вже подрібнених раніше ґрунтових макроагрегатів найкраще буде виразити через повний об'єм ґрунту G_{zp} , що знаходиться над поверхнею робочого елемента під час процесу подрібнення з врахуванням кута φ_i який залежить від кривизни дуги поверхні робочого елемента. За попередніми дослідженнями він дискретно змінюється від «0» на початку поверхні до $l/2R_k$ на її кінці, якщо l – довжина дуги поверхні, а R_k – її радіус. Зважаючи на фактично трикутну форму розгортки поверхні робочого елемента середнє значення кута φ_i для всієї поверхні можна прийняти як $l/6R_k$.

Тоді сумарне нормальне зусилля на всіх n -стадіях подрібнення по всій поверхні

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ci} h_{ci}}{2l_{ki}} + G_{zp} \cos \frac{l}{6R_k}, \quad (6.8)$$

де γ – сила тяжіння об'єму ґрунту;

a – довжина поверхні робочого елемента;

h – висота ґрунтового шару, що подрібнюється;

l – сумарна довжина дуг робочого елемента на виході з нього;

σ_m – несуча здатність ґрунту;

k_h – відношення величини зони розтягу h_{pi} до зони стиску h_{ci} , є залежним від типу ґрунту та вологості;

l_{ki} – поточний лінійний розмір ґрунтоагрегата на n -стадії подрібнення;

n – необхідна кількість стадій подрібнення;

$l_k^{розр}$ – розрахунковий лінійний розмір ґрунтоагрегата в результаті подрібнення;

R_k – радіус дуги поверхні на її кінці.

$$G_{zp} = \frac{1}{4} \gamma a h l; \quad P_{ci} = 0,1 \sigma_m h_{ci}^2; \quad h_{ci} = \frac{l_{ki}}{1 + k_h};$$

$$n = \frac{\ln(l_k^{розр}) - \ln h}{\ln k_h - \ln(k_h + 1)}; \quad l_{k0} = h. \quad (6.9)$$

Для визначення зусилля тяги P_f на подрібнення і переміщення поверхнею робочого елемента необхідно врахувати коефіцієнт тертя ґрунту f .

$$P_f = f \cdot N = f \cdot \left[\frac{0,1\sigma_m h^2}{2(1+k_h)^3} \cdot \sum_n \left(\frac{2}{\left(1 + \frac{1}{k_h}\right)^2} \right)^n + \frac{1}{4} \gamma a h l \cos \frac{l}{6R_k} \right]. \quad (6.10)$$

Графічні залежності зусилля тяги P_f при різних властивостях ґрунту показано на рис. 6.7.

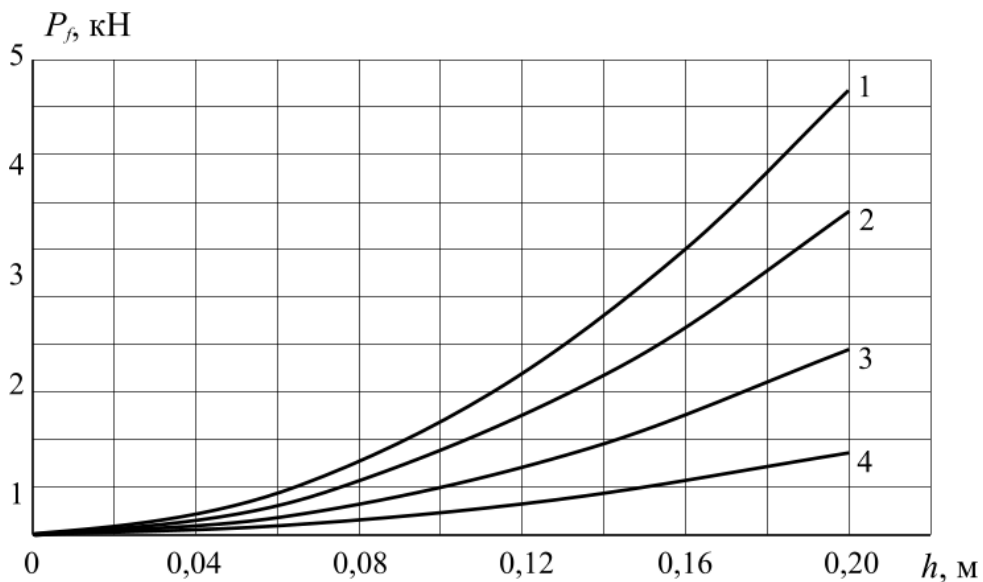


Рис. 6.7. Зусилля тяги на подрібнення і переміщення поверхнею робочого органу: 1 – $k_h=4$; 2 – $k_h=3,5$; 3 – $k_h=3$; 4 – $k_h=2,5$; при $\gamma=20$ кН/м³; $a=0,25$ м; $l=0,35$ м; $\sigma_m=200$ кПа; $l_k^{розр}=0,01$ м; $R_k=0,2$ м; $k_h=h_p/h_c=E_c/E_p$.

Співвідношення модулів пружності стиску до розтягу E_c/E_p є залежним від типу ґрунту та вологості [Вялов, с. 54]. Приведені експериментальні дані (визначені в межах вологості 0...40% для глини та 0...30% для суглинку) можна апроксимувати лінійними залежностями (точність апроксимації – $R^2=0,9689...0,9942$):

$$\begin{aligned} \text{глина} - E_c/E_p &= 1 + 0,0548 \cdot W_{\%}, \quad \text{суглинок} - E_c/E_p = 1 + 0,1321 \cdot W_{\%}, \\ \text{супісок} - E_c/E_p &= 1 + 0,2094 \cdot W_{\%}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

З врахуванням цього можна представити графічні залежності на рис. 6.7 у більш доцільному з практичної точки зору вигляді: 1 – глина вологістю 55% або суглинок вологістю 23% або супісок вологістю 14%; 2 – глина вологістю 46%, суглинок вологістю 19%, супісок вологістю 12%; 3 – глина вологістю 36%, суглинок вологістю 15%, супісок вологістю 10%; 4 – глина вологістю 27%, суглинок вологістю 11%, супісок вологістю 7%;

Згідно приведених апроксимаційних залежностей більші значення зусиль більш ймовірні для вологіших ґрунтів, а менші для більш сухіших.

6.3. Визначення відносної критичної глибини в ярусі щодо ширини долотоподібної частини робочого органу

Перед основним розпушенням ґрунту на поверхні робочого органу його попередню розробку здійснює передня долотоподібна частина робочого органу [173; 80; 219]. Так як вона має малу ширину то є ймовірність розробки ґрунту в небажаній закритичній зоні. Для уникнення такого випадку необхідним є визначення відносної критичної глибини в ярусі щодо ширини долотоподібної частини робочого органу.

Залежно від просторової конфігурації робочих органів в складі знаряддя долотоподібна частина може працювати в умовах симетричного блокованого, асиметричного блокованого, напівблокованого, вільного та комбінованого різання. Критичні глибини симетричного блокованого, напівблокованого та комбінованого різання для різних робочих органів розглянуто в літературі [67; 80; 119; 219; 236; 238]. За результатами аналізу цих джерел встановлено, що виходячи з умов роботи найбільш визначальним для визначення ширини долота або висоти ярусу глибокорозпушувача буде асиметричне блоковане різання для крайніх стояків в нижніх ярусах при односторонньому встановленні радіальної частини робочого органу.

В випадку асиметричного блокованого різання, згідно підходів С.В.Кравця при вирішенні подібних задач [241; 64], розрахункова схема для визначення відносної критичної глибини в ярусі буде наступною (рис. 6.8).

Згідно розрахункової схеми на елементарний об'єм елемента стружки висотою dh в момент попередній сколюванню ґрунту різцем діють наступні сили, які приведені у вертикальну площину OAD : активна сила $dN/= dN/\cos\varphi$, яка направлена під кутом зовнішнього тертя ґрунту φ до нормалі лобової площини різця; нормальна реакція dN_c і дотичні сили dT_c , $dT_{\text{бок}1}+\cos\delta$ і $dT_{\text{бок}2}$ в площині зсуву ґрунту. Тоді система рівнянь рівноваги всіх сил на нормальну (n) і дотичну (τ) осі до лобової площини сколювання мають наступний вигляд

$$\begin{cases} \sum P_n = dN_c + dN' \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0; \\ \sum P_\tau = dT_c + dT_{\text{бок}1} \cos \delta + dT_{\text{бок}2} - dN' \sin(\alpha_p + \varphi + \psi). \end{cases} \quad (6.12)$$

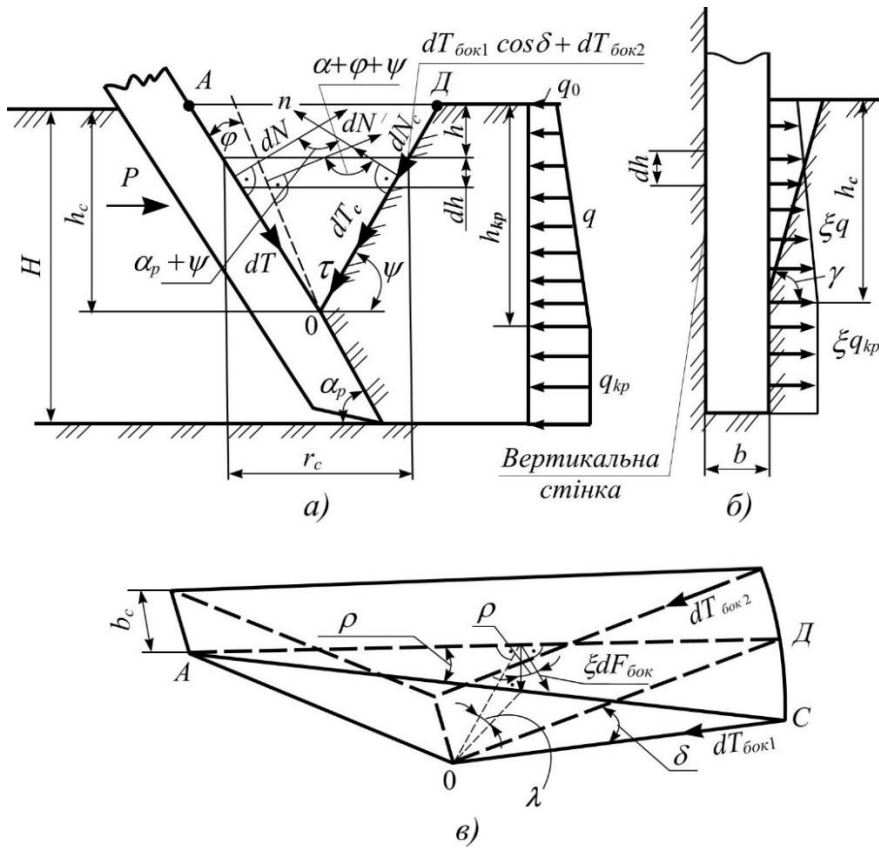


Рис. 6.8. Схема взаємодії крайнього долота з ґрунтом при асиметричному блокованому різанні: а) – у поздовжній площині; б) – у поперечній площині; в) – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа

З першого рівняння системи (6.12) отримаємо

$$dN_c = -\frac{qb_p}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) dh, \quad (6.13)$$

де q – закон розподілення нормального тиску на лобову площину різця по глибині;

b_p – ширина різця;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту;

α_p – кут різання різця;

ψ – кут зсуву ґрунту різцем в поздовжній площині;

dh – елементарна глибина різання.

Закон розподілення нормального тиску на ніж по глибині обґрунтовано у літературі [134; 9] і представлено у вигляді

$$q = q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{h_c} k_{пер} h, \quad (6.14)$$

де q_0 , $q_{кр}$ – відповідно мінімальний тиск на денній поверхні та максимально можливий тиск по несучій спроможності ґрунту (критичний тиск) визначається по відомих залежностях [134; 68];

$k_{пер}$ – відношення глибини гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання $h_{кр}$ ($k_{пер}=0,9 \dots 0,95$);

h – поточне значення глибини.

З урахуванням (6.14) вираз (6.13) переписеться наступним чином

$$dN_c = \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \sin \alpha_p} b_p \left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{h_c} k_{пер} h \right) dh. \quad (6.15)$$

Елементарні дотичні сили, які діють у лобовій (dT_c) і бокових ($dT_{бок1}$, $dT_{бок2}$) площинах сколювання визначається за законом Кулона для ґрунтів:

$$dT_c = \operatorname{tg} \varphi_0 dN_c + c dF_c; \quad (6.16)$$

$$dT_{бок1} = (\xi q \cos \rho \cos \lambda \operatorname{tg} \varphi_0 + c) dF_{бок1}; \quad (6.17)$$

$$dT_{бок2} = (\xi q \operatorname{tg} \varphi_0 + c) dF_{бок2}, \quad (6.18)$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

ξ – коефіцієнт бокового тиску елемента ґрунтової стружки;

dF_c , $dF_{бок1}$, $dF_{бок2}$ – елементарні площі відповідно лобової і бокових площин сколювання;

ρ , δ , λ – кути що утворюються боковою площиною сколювання з паралельною вертикальній боковій стінці траншеї (див. рис. 6.8, в).

При цьому елементарні площі відповідно дорівнюють:

$$dF_c = (b_p + \rho r_c) \frac{dh}{\sin \psi} = \left[b_p + \rho (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_c - h) \right] \frac{dh}{\sin \psi}, \quad (6.19)$$

$$dF_{бок1} = r_c \frac{dh}{\cos \lambda} = (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_c - h) \frac{dh}{\cos \alpha}, \quad (6.20)$$

$$dF_{\text{бок2}} = r_c \cdot dh = (\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi)(h_c - h)dh, \quad (6.21)$$

де r_c – поточне значення радіуса сколювання ґрунту.

Якщо підставити вирази (6.16...6.18) в друге рівняння системи (6.12) з урахуванням залежностей (6.15; 6.19...6.21) і проінтегрувати його в межах від 0 до h_c , то після проміжних алгебраїчно-тригонометричних перетворень отримаємо рівняння

$$\begin{aligned} \frac{\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi}{2} \left\{ \left[\frac{c\rho}{\sin \psi} + c \left(1 + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) \right] + \right. \\ \left. + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \cos \rho \cos \delta \cdot \text{tg } \varphi_0 + \xi \text{tg } \varphi_0 \right\} h_c = \\ = \left[\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi} \right] b_p \end{aligned} \quad (6.22)$$

Звідки

$$\frac{h_{kp}}{b_p} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\frac{\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi}{2} k_{nep} \left[c \left(1 + \frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \text{tg } \varphi_0 (1 + \cos \rho \cos \delta) \right]}. \quad (6.23)$$

Кути ρ , δ , λ визначаються із геометричних співвідношень (див. рис. 6.8, в) за (6.24...6.26) [134; 68].

Кут нахилу бокової площини елемента стружки до горизонту γ визначається за залежністю (6.27) [216; 120]:

$$\cos \rho = \sqrt{1 - \left(\frac{\text{ctg } \gamma}{\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi} \right)^2}; \quad (6.24) \quad \cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\text{ctg } \alpha_p \text{ctg } \gamma}{\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi} \right)^2}}; \quad (6.25)$$

$$\cos \delta = 1 - 2 \left(\text{ctg } \alpha_p + \text{ctg } \psi \right)^2 \sin^2 \psi \sin^2 \frac{\rho}{2}; \quad (6.26)$$

$$\gamma = \arccos \left[\frac{c \cdot \cos \varphi_0}{\left(1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{1,52 \cdot c}{q_{кр}} \right) q_{сеп}} \right] - \varphi_0 ; \quad (6.27). \quad q_{сеп} = \frac{q_0 + q_{кр}}{2} . \quad (6.28)$$

Математична модель (6.23) може бути використана для визначення критичної глибини різання при поперусній розробці ґрунту. Умови руйнування ґрунту у верхньому та наступних нижніх ярусах неідентичні. Верхній робочий орган (долото) внаслідок впливу денної поверхні працює в умовах асиметричного блокованого різання: з однієї сторони долото обмежений вертикальною боковою стінкою, з іншої сторони – масивом ґрунту, що розробляється і виходить на денну поверхню. В результаті утворюється проріз з одностороннім боковим розвалом зі сторони денної поверхні ($\rho > 0$), а з іншої сторони з вертикальною стінкою ($\rho = 0$) (див. рис. 6.8). Зі сторони бокового розвалу ґрунт руйнується переважно за рахунок деформації відриву [1; 183], а тому на боковій площині елемента стружки з розвалом відсутні бічний тиск і сили тертя ($\xi q = 0$). Зі сторони вертикальної стінки ґрунт руйнується за рахунок деформації зрізу та зсуву, а тому на бічній вертикальній площині елемента стружки виникають нормальний тиск ($\xi q > 0$) і сили тертя ($\xi q \operatorname{tg} \varphi_0 > 0$). При цьому верхній різець створює вільний простір з розміром b_p денної поверхні для виходу ґрунту із нижнього ярусу. Внаслідок цього долота нижніх робочих органів формують прямокутну щілину ($\rho = 0$). Формування прорізу в нижньому ярусі здійснюється також за рахунок деформацій зрізу та зсуву, ($\xi q > 0$; $\xi q \operatorname{tg} \varphi_0 > 0$).

З урахуванням цих особливостей залежність (6.23) переписується наступним чином для визначення критичних глибин асиметричного блокованого різання окремо у верхньому (6.29) і наступних нижніх ярусах (6.30):

$$\frac{h_{кр1}}{b_p} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2} k_{неп} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\frac{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi}{2} k_{неп} \left[c \left(1 + \frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) + \xi \left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{3} k_{неп} \right) \operatorname{tg} \varphi_0 \right]} ; \quad (6.29)$$

$$\frac{h_{кр2}}{b_p} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{2} k_{неп} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\left(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi \right) k_{неп} \left[c + \xi \left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{3} k_{неп} \right) \operatorname{tg} \varphi_0 \right]} . \quad (6.30)$$

У залежностях (6.29) та (6.30) невідомим є параметр ψ . Він визначається на основі припущення, що кожний раз для $h_p \geq h_{кр}$ значення кута сколювання ψ встановлюється таким, що опір різанню ножа буде мінімальним [134; 9]. Мінімальний опір різанню (при заданій глибині різання $h_p \geq h_{кр}$) ножа можливий при мінімальній площі епюри нормального тиску, а це буде, якщо $h_{кр} = h_c/k_{пер} = \max$ і $h_c = \max$. Таким чином, кут зсуву ґрунту визначається максимальним значенням глибини сколювання [67; 80; 119; 219; 236; 238].

Залежності відносної критичної глибини різання у верхньому ярусі від кута зсуву ґрунтів приведені на рис. 6.9, а від кута різання – на рис. 6.10.

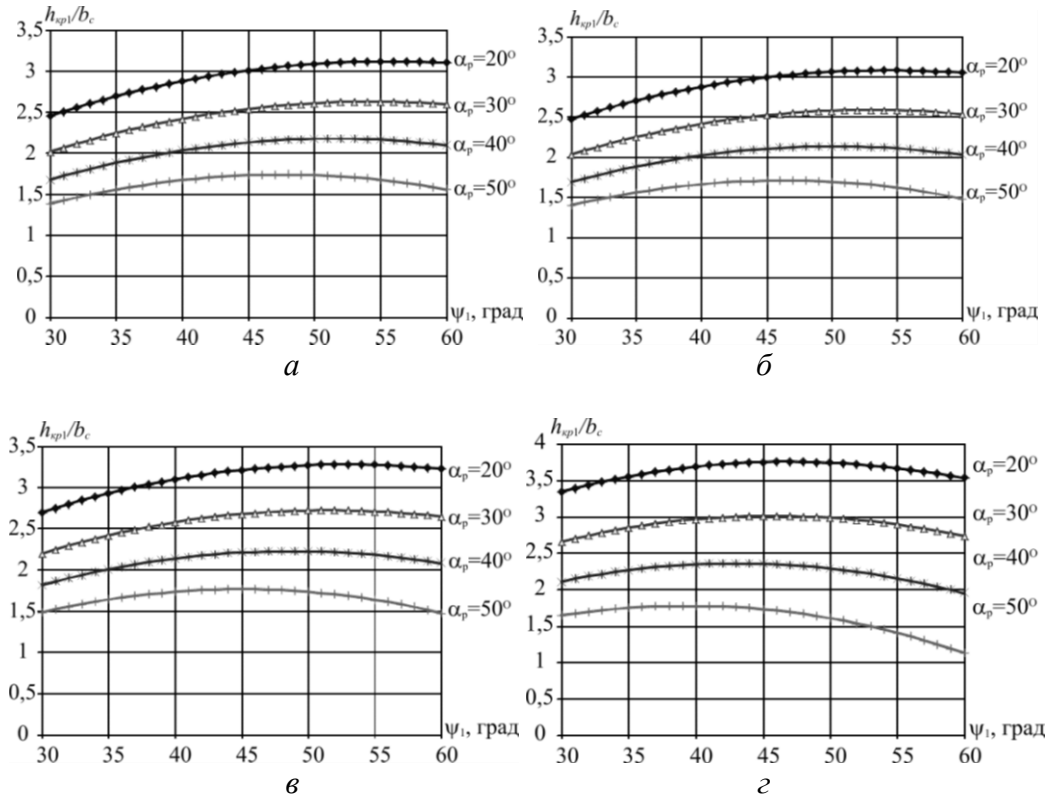


Рис. 6.9. Залежності відносної критичної глибини асиметричного блокованого різання від кута зсуву ґрунтів: а – тугопластична глина; б – напівтверда глина; в – напівтвердий суглинок; г – твердий супісок.

Розрахункові значення відносної критичної глибини асиметричного блокованого різання для крайніх бокових стояків при зміні кута різання $\alpha_p = 50^\circ \dots 20^\circ$ змінюються в наступних межах: для тугопластичної глини $h_{кр1}/b_p = 1,74 \dots 3,12$; для напівтвердого суглинка $h_{кр1}/b_p = 1,76 \dots 3,27$; для твердого супіску $h_{кр1}/b_p = 1,78 \dots 3,75$; для напівтвердої глини $h_{кр1}/b_p = 1,71 \dots 3,08$.

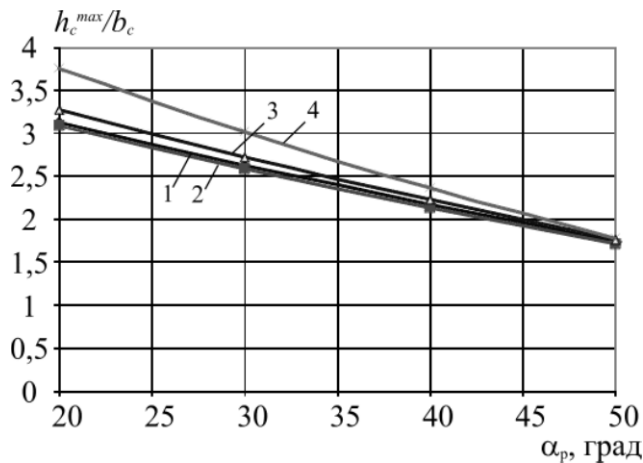


Рис. 6.10. Залежності відносної критичної глибини різання ґрунтів від кута різання: 1 – тугопластична глина; 2 – напівтверда глина; 3 – напівтвердий суглинок; 4 – твердий супісок

Отримані значення є приблизно в 1,5 рази менші ніж для симетричного блокованого різання [77], тому одностороннє встановлення радіальної частини робочого органу є небажаним так як при цьому значно обмежується висота нижніх ярусів. Більш раціональним є двостороннє симетричне встановлення радіальної частини робочого органу і визначення ширини долота з умов симетричного блокованого різання.

6.4. Аналіз впливу швидкості руху на відносну критичну глибину розробки ґрунту долотоподібною частиною робочого органу

Вплив швидкості на зусилля та енергоємність різання ґрунтів є одним з питань, що давно вже привертає увагу дослідників. Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що збільшення швидкості руху вище 2 м/с визиває значне збільшення опору розробки ґрунту [17]. Більшість дослідників вважають, що причин є декілька, однією з них є перерозподіл енергії на загальне переміщення відокремлених частин ґрунту [183].

А.Н.Зеленін, провівши досліди в польових умовах, при швидкості різання в межах від 0,05 до 0,3 м/с дійшов до висновку, що суттєвої зміни зусилля не виникає, але відмітив, що при більш великих швидкостях різання ґрунт деформується сильніше [8]. В.П.Горячкін, на основі дослідів з плугами, визначив, що швидкість різання впливає на зусилля в незначній мірі [183]. А.Д.Домбровський вважав, що зміна швидкості робочого органу в межах від 0,4 до 1 м/с визиває коливання питомого опору різання в межах 3...6 % [183]. М.І.Єстрін, за результатами проведених дослідів, прийшов до висновку, що для незв'язних ґрунтів питомий опір різання пропорційний швидкості [183]. А.І.Сургучов говорив, що питомий опір для ґрунту – величина постійна, а

вплив швидкості полягає лише у подоланні сили інерції ґрунту при переміщенні його по передній грані ножа з наступним відкиданням [4]. Ю.А.Ветров провів дослідження на глині та за аналізом експериментальних даних показав, що зростання опору ґрунту зі збільшенням швидкості різання проходить не тільки в результаті затрати енергії на загальне переміщення відділених кусків ґрунту, а в значній мірі залежить і від дії фізичних факторів, які пояснюються повільним деформуванням ґрунту під навантаженням [183; 19]. В.Д.Кузнецов припускав, що в пластичних середовищах може розвиватися крихке руйнування, якщо швидкість прикладання навантаження буде достатньо велика. Для розрізного ножа збільшення швидкості різання ґрунту від 1 до 7 м/с визиває зростання зусилля різання до 40% [183].

Тому, можна сказати, що швидкість є одним із параметрів, який суттєво впливає на робочий процес взаємодії робочого органа з ґрунтом в тому числі і на критичну глибину.

На даний час існує методика визначення критичної глибини, але без врахування впливу швидкості різання та сили тяжіння ґрунту на опір його руйнування [72; 65].

Вплив фізичних факторів можна пояснити реологією деформування ґрунтів під навантаженням. Завдяки пористості, трьохфазному складу та складній природі сил щеплення ґрунту, деформації від прикладеного навантаження протікають поступово і з певною кінцевою швидкістю.

При малій швидкості прикладання навантаження швидкість руйнування (відділення частин ґрунту від масиву) більша від швидкості різання. Тому, ніж зустрічає своєю верхньою частиною частини ґрунту, які вже відірвані від масиву. Якщо ж швидкість прикладання навантаження більша швидкості руйнування ґрунту, то ножу приходить ся проходити крізь незруйноване або зруйноване частково ґрунтове середовище, долаючи набагато більший опір, чим при повільному різанні. В таких умовах відбувається крихке руйнування з інтенсивним подрібненням і відкиданням відділених частин ґрунту. Цей процес призводить до зміни критичної глибини.

Визначимо вплив швидкості на критичну глибину для симетричного блокованого варіанту розробки ґрунту (доцільність його розгляду було встановлено в попередньому підрозділі). Згідно підходів С.В.Кравця при вирішенні таких задач [65], розрахункова схема для визначення відносної критичної глибини буде наступною (рис. 6.11).

Закон розподілу нормального тиску ґрунту на ніж по глибині з врахуванням швидкості, при умові $v < v_{кр}$, запишеться у вигляді

$$q(h, v) = \left(1 + \frac{g}{g_{кр}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{h_{кр}} \cdot h + \gamma_{zp} \left(1 + \frac{h \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{b_c}\right) \cdot \frac{\cos \psi \cdot \cos \phi \cdot \sin^2 \alpha_p \cdot v^2}{\sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \phi)} \right], \quad (6.31)$$

де q_0 - нормальний тиск ґрунту на ніж;

b_c, h – поточне значення ширини і глибини різання;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту;

v – швидкість робочого органу;

α_p – кут різання;

γ – кут бічного сколювання ґрунту у вертикальній площині;

$v_{кр}$ – критична швидкість різання при якій змінюється природа руйнування ґрунту [183];

v – швидкість робочого органу:

$$v_{кр} = \frac{v_p \sin(\alpha_p + \psi)}{\sin \psi}; \quad v_p = \sqrt{\tau_0 / \gamma_{об}}, \quad (6.32)$$

де v_p – швидкість руйнування;

τ_0 – критична дотична напруга при швидкості різання близькій до «0»;

$\gamma_{об}$ – об'ємна маса ґрунту.

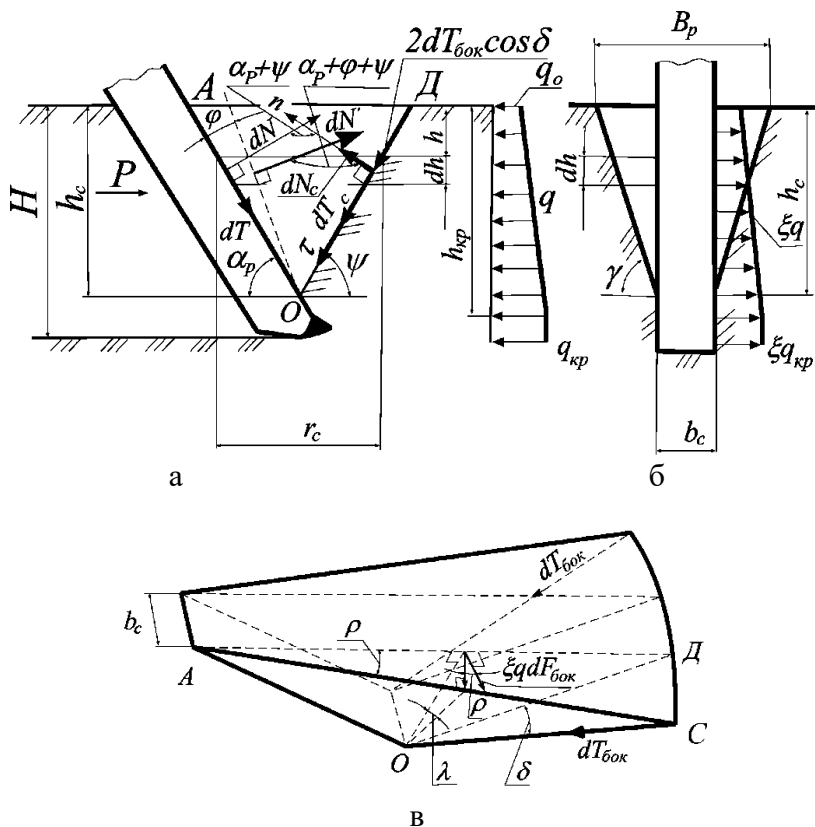


Рис. 6.11. Схема взаємодії долота з ґрунтом при симетричному блокованому різанні: а – у поздовжній площині; б – у поперечній площині; в – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа

За аналогією з асиметричним блокованим різанням визначаємо відносну глибину для ґрунту у верхньому і в нижніх ярусах (рис. 6.12.):

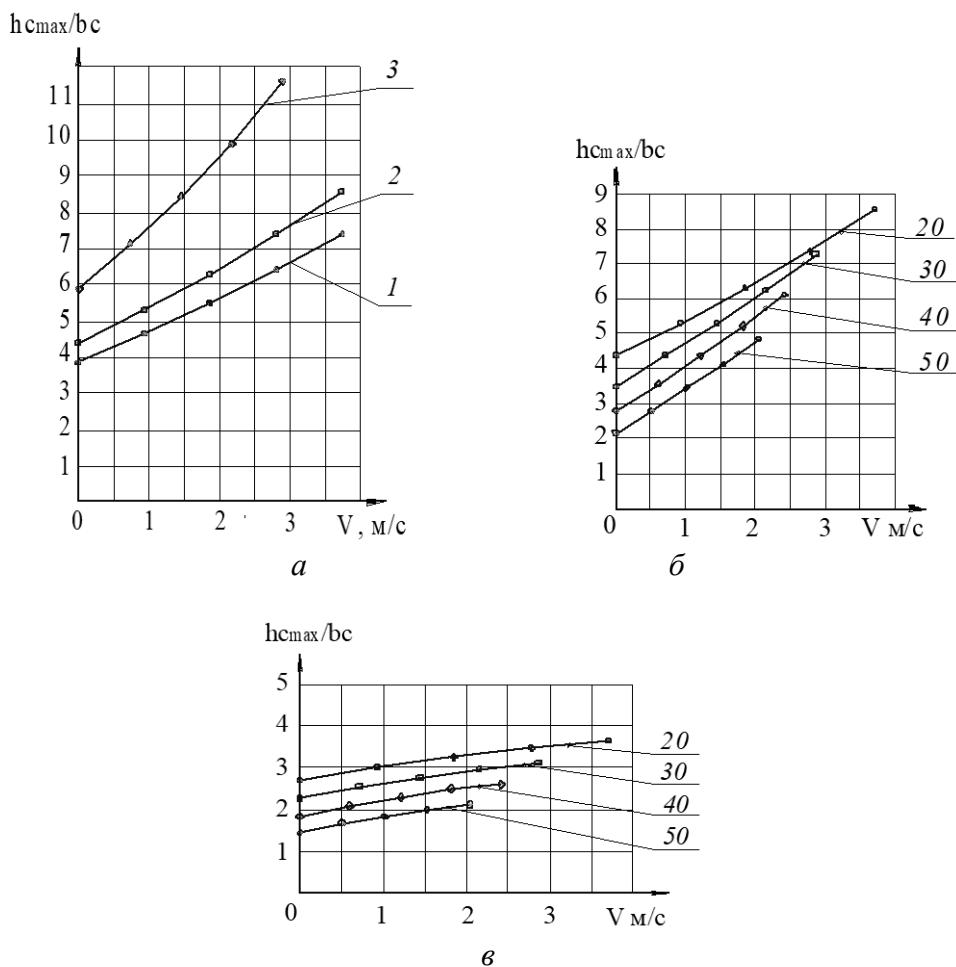


Рис. 6.12. Залежності відносної критичної глибини від швидкості різання долота: а – у верхньому ярусі з кутом різання 20° для тугопластичної глини (1), напівтвердого суглинку (2); твердого супіску (3); б, в – відповідно, у верхньому та нижньому ярусах для напівтвердого суглинку при різних кутах різання.

$$\frac{h_{c1}}{b_c} = \frac{\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} \cdot k_{nep} + q_v \right] \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{c \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \left(\frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) - \left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \cdot q_v \cdot \frac{\operatorname{ctg} \gamma}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p}}; \quad (6.32)$$

$$\frac{h_{c2}}{b_c} = \frac{\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} \cdot k_{nep} + q_v \right] \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\left(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi \right) \left[\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \cdot \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} + q_0}{3} \cdot k_{nep} + q_v \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 + c \right]}; \quad (6.33)$$

де

$$q_v = \frac{\gamma_{zp} \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p \cdot v^2}{g \cdot \sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)}.$$

Характер залежностей є близький до лінійного, тому, для практичного використання проведено їх апроксимацію для різних типів ґрунтів. Загальний вигляд апроксимованої залежності є наступним

$$\frac{h_c}{b_c} = a_v \cdot v + n_{\alpha_p}, \quad (6.34)$$

де a_v , n_{α_p} – коефіцієнти апроксимації (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Значення коефіцієнтів апроксимації для різних типів ґрунтів

Тип ґрунту	Кут різання, α_p , град.	Критична швид., $v_{кр}$, м/с	Коефіцієнти апроксимації			
			для верхнього (індекс 1) і нижніх (індекс 2) ярусів			
Супісок твердий	20	2,88	a_{v1}	$n_{\alpha p1}$	a_{v2}	$n_{\alpha p2}$
	30	2,23	1,4215	4,3252	0,2746	2,7071
	40	1,97	1,2099	3,2481	0,1903	2,378
	50	1,58	1,0913	2,3576	0,1678	1,8249
Напівтвердий суглинок	20	3,71	0,8088	1,8485	0,1381	1,449
	30	2,87	1,0378	3,2659	0,2499	2,4488
	40	2,42	0,9354	2,5216	0,2126	2,0973
	50	2,03	0,8292	1,9354	0,1914	1,6992
Тугопластична глина	20	2,03	0,6726	1,4461	0,1628	1,3328
	30	3,74	0,8754	2,9408	0,2451	2,3944
	40	2,89	0,8146	2,2023	0,2453	1,9544
	50	2,44	0,7415	1,6678	0,2203	1,6555
		2,05	0,6145	1,2509	0,1942	1,300

Аналіз розрахункових значень відносної глибини сколювання для ґрунтів показав, що зі збільшенням швидкості робочого органу, яка не перевищує критичну швидкість, маємо збільшення критичної глибини, а при критичній швидкості ці значення будуть максимальними.

6.5. Обґрунтування форми і параметрів вертикального стояка щодо руху в ґрунтовому потоці

Розпушений ґрунт, який сходиться з робочого органу в напрямку прохідних вікон кожного ярусу, направляється на клиновидний розсікач вертикального стояка, який розподіляє ґрунт у межах прохідного вільного простору [74]. Визначимо раціональну форму поперечного перерізу розсікача вертикального стояка (рис. 6.13).

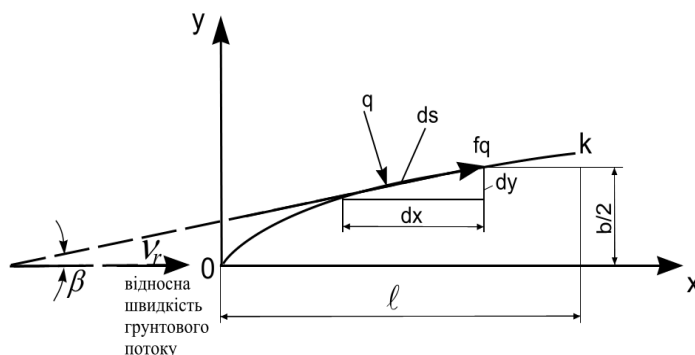


Рис. 6.13. Схема взаємодії розсікача з ґрунтовим потоком в поперечному перерізі

Визначимо форму поверхні розсікача з умови, що опір розтинанню ґрунтового потоку має бути мінімальним. Для цього виділимо елементарну площадку довжиною ds на кривій OK . Тоді елементарна сила динамічного опору ґрунтового потоку, його горизонтальна складова, враховуючи симетричність форми визначиться як

$$dW_o = 2 \left[q \frac{h_{кр}}{\sin \beta_{mp}} ds \cos(90^\circ - \beta) + fq \frac{h_{кр}}{\sin \beta_{mp}} ds \cos \beta \right] \sin \beta_{mp}, \quad (6.35)$$

де q – нормальний динамічний тиск ґрунтового потоку на розсікач;

$h_{кр}$ – критична глибина різання (висота ярусів);

β_{mp} – кут нахилу розсікача до горизонту;

β – кут нахилу дотичної кривої OK до напрямку відносного руху ґрунту (осі OX);

f – коефіцієнт тертя ґрунту по лобовій поверхні розсікача.

Якщо врахувати згідно [11], що

$$tg \beta = \frac{dy}{dx} = y'; \quad ds \cos \beta = dx, \quad (6.36)$$

то рівність (6.35) можна переписати у вигляді

$$dW_o = 2(f + y')qh_{кр}dx. \quad (6.37)$$

Нормальний динамічний тиск визначений у роботі [65] і описується наступним законом

$$q = \frac{\rho_c B_k \sin \beta_{mp}}{2 \int_0^l \sqrt{1 + (y')^2} dx} (v_r^2 (y')^2 + a_r y(x) y''), \quad (6.38)$$

де ρ_c – щільність ґрунтового потоку;

B_k – ширина ґрунтового потоку, що розтинається;

l – довжина носової частини розсікача;

a_r – прискорення ґрунтового потоку.

Для сталого режиму руху ($a_r = 0$) маємо

$$q = \frac{\rho_c B_k \sin \beta_{mp}}{2 \int_0^l \sqrt{1 + (y')^2} dx} v_r^2 (y')^2 \quad (6.39)$$

Після інтегрування виразу (6.7) з урахуванням (6.9) і симетричності поперечного перерізу отримаємо функціонал горизонтальної складової динамічного опору розтинанню ґрунтового потоку

$$W_o = \rho_c B_k h_{кр} v_r^2 \sin \beta_{mp} \int_0^l \frac{(f + y')(y')^2}{\int_0^l \sqrt{1 + (y')^2} dx} dx. \quad (6.40)$$

Визначимо криву $y(x)$ для раціональної форми профіля поперечного перерізу і динамічний опір розсікача для таких випадків: 1) відносно тонкого профіля, якщо $(y')^2 \ll 1,0$; 2) відносно не тонкого профіля, якщо $(y')^2 \gg 1,0$; 3) проміжних клиновидних профілів.

Для відносно тонкого профіля, при умові

$$\sqrt{1 + (y')^2} \approx 1, \quad (6.41)$$

функціонал динамічного опору (6.40) переписеться у вигляді

$$W_{\partial} = \frac{\rho_c B_k h_{kp} v_r^2}{l} \sin \beta_{mp} \int_0^l (f + y')(y')^2 dx \quad (6.42)$$

Рівняння Ейлера для функціонала (6.42) згідно [116] має вигляд

$$F_{y'y'} y'' = 0, \quad (6.43)$$

де $F = (f + y')(y')^2$ – підінтегральна функція функціоналу (6.12).

Рівняння (6.43) у розгорнутому вигляді перепишеться наступним чином

$$2(f + 3y')y'' = 0. \quad (6.44)$$

Звідки $y'' = 0$, отже

$$y = c_1 x + c_2, \quad (6.45)$$

де: c_1 і c_2 – сталі інтегрування, які визначаються із граничних умов:

$$y|_{x=0} = c_2 = 0; \quad y|_{x=l} = c_1 l = \frac{b}{2}; \quad c_1 = \frac{b}{2l}. \quad (6.46)$$

Тому

$$y = \frac{b}{2l} x; \quad y' = \frac{b}{2l} \quad (6.47)$$

Умова Лежандра $F_{y'y'} > 0$ для мінімуму функціонала (6.42) виконується, якщо $y' > 0$.

Таким чином, для відносно тонкого поперечного профіля розсікача із всіх можливих кривих екстремальми є прямі лінії (6.47).

В цьому випадку динамічний опір дорівнює

$$W_{\partial} = \rho_c B_k h_{kp} v_r^2 \sin \beta_{mp} \left(f + \frac{b}{2l} \right) \left(\frac{b}{2l} \right)^2 \quad (6.48)$$

Опір прямопропорційно залежить від параметрів ґрунтового потоку, від квадрату його відносної швидкості, а також від відношення $\frac{b}{2l}$ (рис. 6.44).

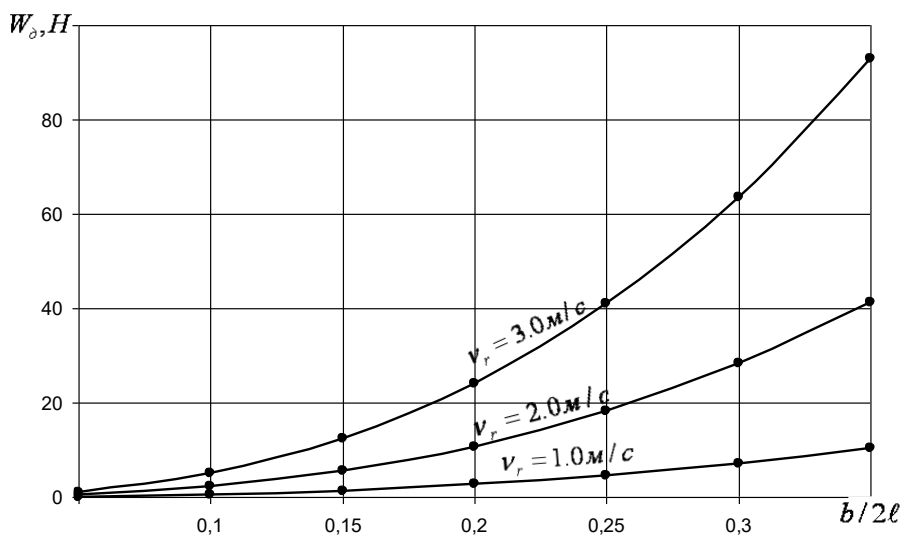


Рис. 6.14. Залежності для визначення динамічного опору розрізання ґрунтового потоку відносно тонкими профілями

Визначимо межу для визначення поняття відносно тонкого профілю, до якої відносна помилка інтерполяції моделі (6.40) не перевищує 5%

$$\frac{\sqrt{1+(y')^2} - 1}{\sqrt{1+(y')^2}} \leq 0,05; \quad y' \leq 0,329. \quad (6.49)$$

Таким чином, якщо відношення $\frac{b}{2l} \leq 0,329$ (кут загострення $2\beta \leq 36^\circ$), то профіль можна вважати відносно тонким і для розрахунку динамічного опору можна використовувати модель (6.48).

Для випадку відносно не тонкого профіля при умові, що

$$\sqrt{1+(y')^2} \approx y' \quad (6.50)$$

функціонал (6.40) перепишеться, наступним чином

$$W_d = \frac{\rho_c B_k h_{kp} v_r^2}{b/2} \sin \beta_{mp} \int_0^l (f + y')(y')^2 dx \quad (6.51)$$

Функціонал має вигляд аналогічний попередньому випадку, а це засвідчує, що для відносно не тонких профілів екстремальми також є прямі лінії (6.47).

Тоді, динамічний опір (6.51) дорівнює

$$W_{\partial} = \rho_c B_k h_{kp} v_r^2 \sin \beta_{mp} \left(f + \frac{b}{2l} \right) \frac{b}{2l} \quad (6.52)$$

Межа застосування моделі (6.52) визначиться на основі відносної помилки інтерполяції моделі (6.40), яка не перевищує 5%

$$\frac{\sqrt{1+(y')^2} - y'}{\sqrt{1+(y')^2}} \leq 0,05, \quad y' \geq 3,0 \quad (6.53)$$

Таким чином, якщо відношення $\frac{b}{2l} \geq 3,0$ (кут загострення $2\beta \geq 143^\circ$), маємо відносно не тонкий профіль, динамічний опір якого з достатньою для практики точністю визначається за моделлю (6.52) (рис. 6.15).

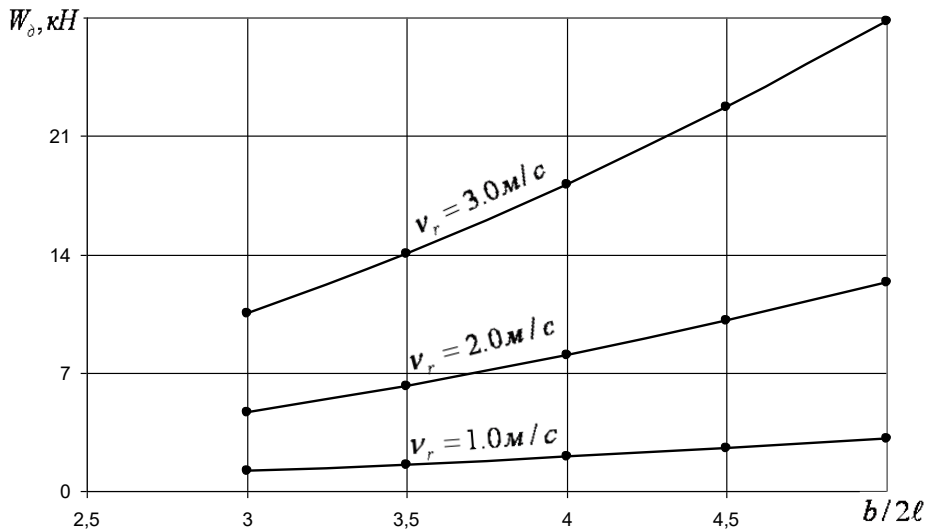


Рис. 6.15. Залежності для визначення динамічного опору розрізання ґрунтового потоку відносно не тонкими профілями

Для проміжних профілів, якщо $3,0 > \frac{b}{2l} > 0,329$ (кут загострення $143^\circ > 2\beta > 36^\circ$) для визначення динамічного опору ґрунтового потоку, необхідно використовувати загальну формулу (6.40) (рис. 6.16).

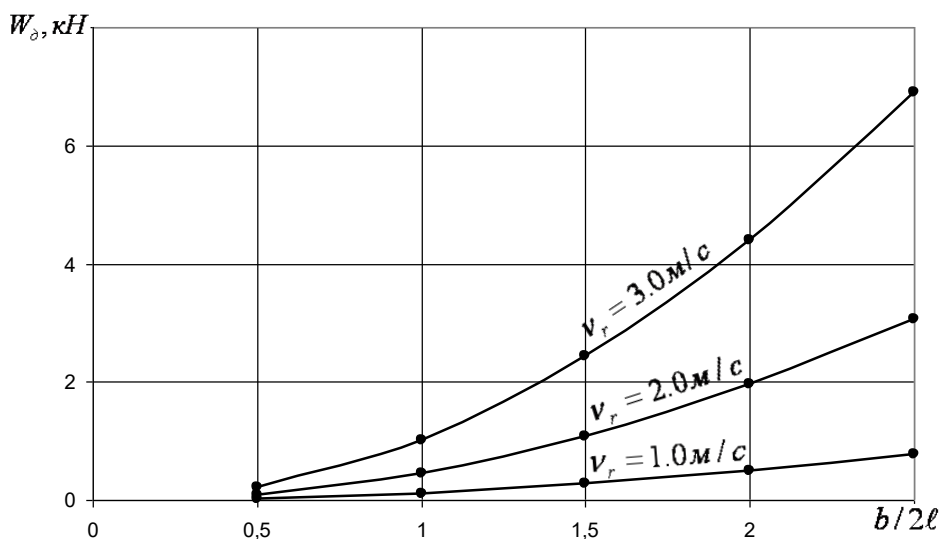


Рис. 6.16. Залежності для визначення динамічного опору розтинання ґрунтового потоку проміжними профілями

Аналіз рис. 6.14, 6.15, 6.16 показує, що динамічний опір зростає із збільшенням відношення $\frac{b}{2l}$ при заданій товщині ($b = \text{const}$), при чому, більш інтенсивне зростання має місце для відносно тонких профілів, але по абсолютній величині суттєво більший опір мають проміжні і відносно не тонкі профілі. Тому для зменшення динамічного опору багаторушним робочим органом необхідно застосовувати розсікачі з відносно тонкими профілями.

6.6. Обґрунтування раціональної компоновки робочих органів в різних умовах розробки ґрунту

Загальна компоновка знаряддя глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням ґрунторозпушувальних робочих органів в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

По ширині знаряддя рознесення ґрунторозпушувальних робочих органів проводиться згідно до теорії найбільших дотичних напружень сколу.

По довжині знаряддя рознесення ґрунторозпушувальних робочих органів визначається діапазоном, що обмежується принципом вільного проходження ґрунту між ярусами без підпирання верхнього ярусу нижнім та уникненням контакту ґрунту в зоні активного подрібнення.

Компоновка знаряддя повинна бути такою щоб забезпечувати здійснення робочого процесу з найменшою енергоємністю. Найбільш

значущою складовою енергоємністю робочого процесу багатoeлементними робочими органами є умови розробки ґрунту.

Конструкція багатoeлементних робочих органів з розташуванням ріжучих елементів в один ряд вимагає великих затрат енергії для розробки ґрунту, кожен ґрунторозробний орган працює при блокованому різанні ґрунту. Перевагою таких типів є відносно невеликі розміри.

Розміщення ріжучих елементів під кутом у плані призводить до збільшення габаритів, однак, така конструкція вимагає менших енерговитрат на робочий процес, оскільки, при блокованому руйнуванні ґрунту працює лише передній ґрунторозробний орган. Наступні робочі органи що розміщені під кутом до переднього ґрунторозробного органу працюють при напівблокованому різанні ґрунту.

При V-подібному розташуванні ріжучих елементів зменшення енергоємності процесу розробки ґрунту відбувається за рахунок того, що передній ґрунторозробний орган працює при блокованому різанні, а два наступних які розташовуються позаду при напівблокованому різанні ґрунту.

Робочі органи з дельта подібним розташуванням ріжучих елементів вимагають дещо більших енерговитрат для розробки ґрунту у порівнянні із V-подібним розташуванням, оскільки при блокованому різанні працює вже два ґрунторозробних органи, а задній ґрунторозробний орган працює при вільному різанні ґрунту.

Для знаходження інших варіантів раціональної розстановки ріжучих елементів необхідно здійснити визначення співвідношення зусиль за різними видами різання ґрунту.

З цією метою скористаємося відомими розрахунковими схемами взаємодії ножа із ґрунтовым середовищем [65; 79; 240; 241].

Для розрахунку зусиль різанню необхідно знати фізико-механічні властивості ґрунту, тиск (q) що діє на лобову площину різця по глибині, критичну глибину ($h_{кр}$); кут нахилу бокових площин ґрунтового елемента до горизонту (γ); кут зсуву ґрунту в поздовжній площині (ψ), кути, які утворюються боковою площиною сколювання з вертикальною площиною (ρ , δ , λ).

Дослідженнями [79; 17] встановлено, що найменші значення енергоємності блокованого різання знаходяться в межах кута різання $\alpha_p = 20...30^\circ$. Тому для подальших досліджень вибраний кут різання різців $\alpha_p = 30^\circ$.

Вихідні залежності для визначення необхідних значень зусиль описані в літературі [65; 79; 240; 241]. Щоб отримати загальне зусилля було здійснено інтегрування елементарних зусиль в межах від 0 до h_c . Після інтегрування і проміжних математичних перетворень отримано наступні залежності:

- для блокового способу

$$P_{\text{блок.}} = \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (b + \rho \cdot h \cdot \cot(\psi) + \rho \cdot h \cdot \cot(\alpha_p))}{\sin(\psi)} +$$

$$+ \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cot(\psi) + \cot(\alpha_p))}{\cos(\lambda)} -$$

$$- \frac{b \cdot h \cdot q_h \cdot \cos(\phi + \psi + \alpha_p) \cdot (\sin(\psi) + \cos(\psi) \cdot \tan(\phi_0))}{\cos(\phi) \cdot \sin(\alpha_p)};$$
(6.54)

- для напівблокового способу

$$P_{\text{нап.блок.}} = \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\psi)}{2} + \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (2 \cdot b + \rho \cdot h \cdot \cot(\psi) + \rho \cdot h \cdot \cot(\alpha_p))}{2 \cdot \sin(\psi)} +$$

$$+ \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cot(\psi) + \cot(\alpha_p))}{2 \cdot \cos(\lambda)} -$$

$$- \frac{h \cdot \cos(\phi + \psi + \alpha_p) \cdot (2 \cdot b \cdot q_0 \cdot \sin(\psi) + h \cdot q_0 \cdot \cot(\gamma) \cdot \sin(\psi) + 2 \cdot b \cdot q_h \cdot \cos(\psi) \cdot \tan(\phi_0))}{2 \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\alpha_p)};$$
(6.55)

- для вільного способу

$$P_{\text{віль.}} = \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (b + h \cdot \cot(\gamma))}{\sin(\psi)} -$$

$$- \frac{h \cdot q_0 \cdot \cos(\phi + \psi + \alpha_p) \cdot (\sin(\psi) + \cos(\psi) \cdot \tan(\phi_0)) \cdot (2 \cdot b + h \cdot \cot(\gamma))}{2 \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\alpha_p)}.$$
(6.56)

Для аналітичних порівняльних розрахунків, з метою витримання докритичноглибинних умов роботи для всіх варіантів, глибину різання приймаємо рівною найменшій з сукупності критичних глибин при найменшому співвідношенні ($b/h = 0,25$) у визначених для порівняння ґрунтах, $h = 0,3\text{м}$.

Результати аналітичних порівняльних розрахунків представлено на рис. 6.17, де приведено залежності відносних зусиль відносно блокового способу від співвідношення (b/h) для різних типів ґрунтів.

При блокованому різанні твердого суглинку на сталій глибині і з сталим кутом різання при співвідношенні ($b/h = 0,25$) загальне зусилля різання, що виникає при блокованому різанні на 30,1% складається з лобового зусилля і 69,9% з опору ґрунту руйнуванню в бічних розширеннях. Коли збільшимо

співвідношення у 2 рази ($b/h=0,5$) то зусилля лобового опору від загального зусилля складатиме 36,3% а при ($b/h=1$) загальне зусилля різання складатиме 45,9% лобового опору і 54,1% опору ґрунту розробки в бічних розширеннях, а при ($b/h=4$) зростає до 72,1%.

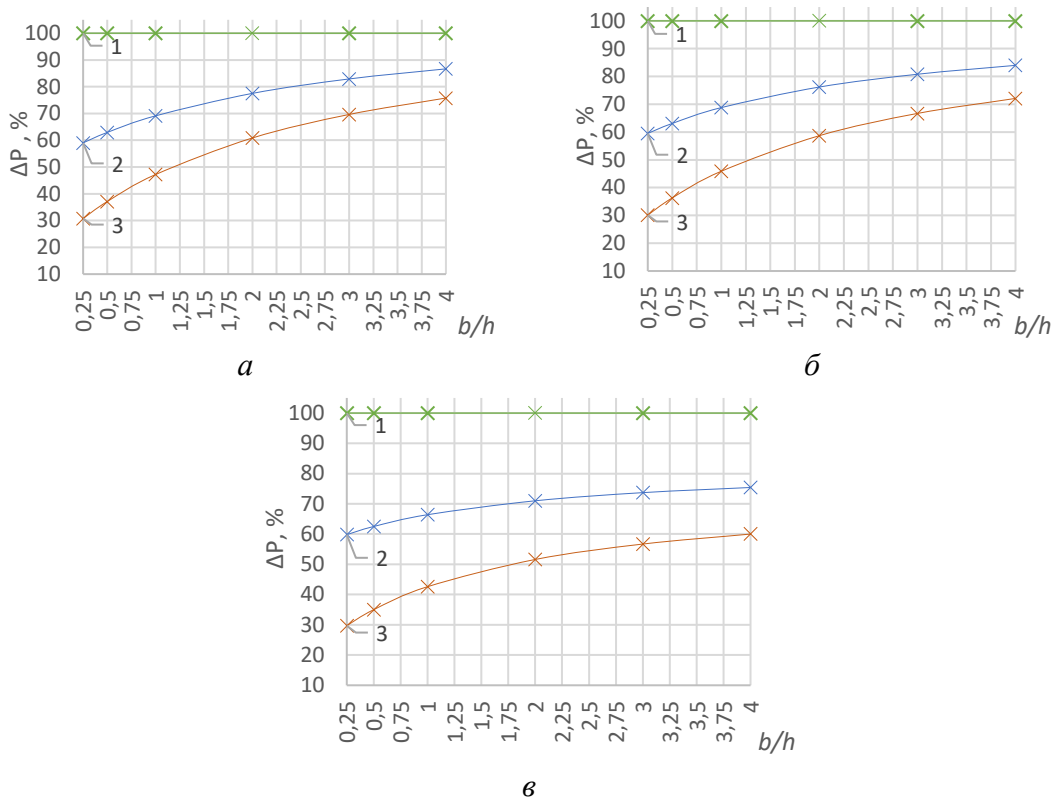


Рис. 6.17. Залежності відносного зусилля різання (ΔP) від співвідношення (b/h) різними способами різання в різних типах ґрунту: а) - тверда глина; б) - твердий суглинок; в) - твердий супісок; 1 – блоковане; 2 – напівблоковане; 3 – вільне

Для інших ґрунтів прослідковується та ж сама залежність яка описується тим, що при збільшенні співвідношення (b/h) опір ґрунту на лобову поверхню лемеша збільшує свій вплив на загальний опір, а опір ґрунту руйнуванню в бічних розширеннях прорізу зменшує свій вплив. В твердій глині при збільшенні ($b/h=0,25$) до ($b/h=4$) лобове зусилля збільшиться з 30,8% до 75,8%, а бічне зменшить свій вплив на загальне зусилля різання з 69,2% до 24,2%. В твердому супіску залежність проявляє себе аналогічно. При співвідношенні ($b/h=0,25$) лобове зусилля складає 26,7% від загального зусилля і зростає до 60% при зростанні співвідношення до ($b/h=4$). Загалом для попередньої оцінки просторової компоновки робочих органів можна

прийняти співвідношення по силовим затратам між блокованими, напівблокованими і вільними умовами розробки як $1 \times 0,75 \times 0,5$.

Згідно цього здійснено порівняльний аналіз характеристик робочих органів триярусних глибокорозпушувачів з умовною шириною захвату на 6 ґрунторозпушувальних елементів однакового розміру, табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Порівняльна характеристика глибокорозпушувачів з різним компонуванням

№ з/п	Тип та схема профілю	Розміщення робочих елементів в ярусі	Відносне зусилля розробки ґрунту, у.о.*	Повнота розпушення повного профілю		Питоме відносне зусилля повноти розпушення, у.о.*	
				загальна	структурна	Загальне	структурне
1	прямокутний (рис. 5.1, а)	рядне	18	1,04	1,00	17,3	18,0
2		шахове	15			14,4	15,0
3		клинове	15			14,4	15,0
4	трапецієвидний (рис. 5.1, б)	рядне	12	0,8	0,67	15,0	17,9
5		клинове	10,5			13,1	15,7
6	трикутний, рис. 5.1, в	рядне	9	0,63	0,50	14,3	18,0
7		клинове	7,5			11,9	15,0

Примітка: *у.о. – зусилля розробки ґрунту одним робочим органом, 1 – структурне розпушення, 2 – часткове розпушення сколом.

Тут коефіцієнт повноти розпушення (загального та структурного) – відношенням площі розпушеного ґрунту у фронтальній площині до площі умовного прямокутника розпушення у фронтальній площині (визначається загальною шириною та глибиною розпушення робочого органа). Коефіцієнт загального розпушення характеризує збільшення об'єму розпушеного ґрунту відносно початкового об'єму, а структурного – об'єм утворення необхідних структурних агрегатів в розпушеному об'ємі ґрунту відносно початкового об'єму.

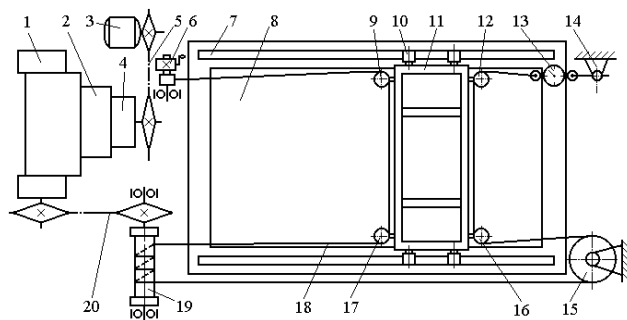
Згідно приведених даних найкращим з точки зору питомих витрат на структурне вологоакумулююче розпушення ґрунту буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в ярусі незалежно від форми утворених профілів розпушеного ґрунту. Якщо брати загальне розпушення ґрунту, то найкращим варіантом буде утворення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

Користуючись отриманими експериментально залежностями [93] побудовано графічні залежності тягового опору від глибини розпушення для триярусного варіанту з шириною захвату 2 м (рис. 6.18).

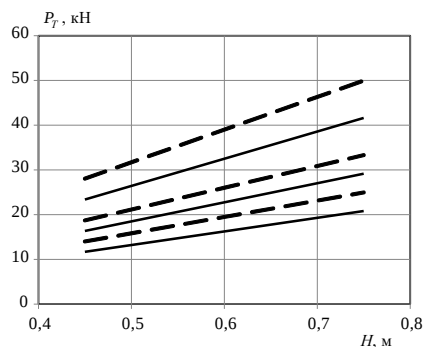
Загалом для робочого обладнання багоярусного глибокорозпушувача коефіцієнт загальної повноти розпушення поперечного профілю лежить в межах 0,63... 1,04, а коефіцієнт повноти структурного вологоакумулюючого розпушення лежить в межах 0,5...1,0. Значення коефіцієнтів зменшуються при зміні прямокутного профілю розпушення і наближенні його до трикутного.



a



б



в

Рис. 6.18. Тяговий опір розпушення: *a* - експериментальні зразки робочих органів розпушувача; *б* - схема приводу динамометричного візка: 1 - редуктор; 2 - коробка передач; 3 - електродвигун; 4 - ходозменшувач; 5, 20 - ланцюгові передачі; 6 - лебідка натягу троса; 7 - рейкова колія; 8 - ґрунтовий канал; 9, 12, 15, 16, 17 - направляючі блоки; 10 - ходові котки; 11 - візок; 13 - електронний динамометр; 14 - опора; 18 - тяговий трос; 19 - барабан; *в* - графічні залежності тягового опору: 1 - прямокутний профіль; 2 - трапецієвидний профіль; 3 - трикутний профіль; штрихова лінія - рядне розміщення робочих елементів в ярусі; суцільна лінія - клинове розміщення робочих елементів в ярусі

Дослідженнями визначено, що тяговий опір лежить в досить широких межах 11...50 кН. Для агрегування підходять тракторні тягачі з тяговою потужністю від 70 до 300 кВт. В усіх випадках найбільш вигідним за питомими показниками буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в плані кожного ярусу. Його ефективність відносно інших варіантів за тягою складе 12...17% виграшу.

6.7. Методика розрахунку конструктивних параметрів удосконаленого глибокорозпушувача

Основні параметри ярусних робочих органів для глибокого меліоративного розпушення ґрунту залежать від характеристик ґрунту.

Щодо інженерних розрахунків прийняті наступні позначення: ω – природна вологість ґрунту, %; $\omega_{\text{п}}$ – число пластичності; $\omega_{\text{т}}$ – межа текучості ґрунту; $\omega_{\text{р}}$ – границя розкочування ґрунту; $B_{\text{к}}$ – показник консистенції ґрунту; C – зчеплення ґрунту, кПа; φ , φ_0 – відповідно, кут зовнішнього та внутрішнього тертя ґрунту, град.; f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = \text{tg} \varphi$); $\gamma_{\text{р}}$ – питома вага ґрунту, кН/м³; $h_{\text{н}}$ – відношення висоти зони розтягу до висоти зони стиску при згині; $\varepsilon_{\text{р}}$ – відносна деформація розриву, %; $l_{\text{к}}$ – величина поперечника структурного ґрунтового агрегату, м; $R_{\text{к}}$ – радіус кінцевого поперечного перерізу робочих органів, м; b – ширина захвату робочих органів, м; l – довжина дуги робочих органів в перерізі, м; $V_{\text{агр}}$ – робоча швидкість розпушувального агрегату, м/с; a – довжина робочих органів, м; $\alpha_{\text{р}}$ – кут різання долота робочих органів, $\alpha_{\text{р}}=15-30^\circ$; θ – кут бокового сколу ґрунту, $\theta=40-50^\circ$; k – питомий опір різанню в ярусі, кПа; $e_{\text{н}}$ – пористість ґрунту; $\sigma_{\text{р}}$, $\sigma_{\text{с}}$ – граничні напруження відповідно, розриву та стиску ґрунту, кПа; h – глибина обробітку на один ярус, м; h_2 – глибина обробітку на нижній ярус, м; H – загальна глибина розробки, м; δ – величина просторового рознесення робочих органів по ширині агрегату, м; d – величина просторового рознесення робочих органів по довжині агрегату, м; g – прискорення вільного падіння, $g=9,81$ м/с²; ψ_2 – кут сколу ґрунту у нижньому ярусі, рад; q – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, $q=120000...150000$ кН/м³ [210]; C_q – коефіцієнт, який враховує зміну опору об'ємного зминання ґрунту при зміні швидкості, $C_q=5,3$ кН·с/м⁴ [210]; B – загальна ширина захвату ґрунторозпушувального агрегату, м; A – загальна довжина ґрунторозпушувального агрегату, м; j – кількість ярусів, шт.; m – кількість стояків з робочими органами, шт.; ψ – кут нахилу стояків, град.; $P_{\text{т}}$ – повний тяговий опір розпушувального агрегату, кН; $G_{\text{агр}}$ – сила тяжіння знаряддя разом з ґрунтом, що розробляється, кН.

Алгоритм визначення конструктивних параметрів буде наступним.

В залежності від технологічних потреб або фізико-механічних властивостей і функціонального призначення ґрунтових горизонтів вибирається просторова конфігурація робочих органів і максимальна глибина розробки (рис. 6.19).

В разі однорідності ґрунту, коли немає явно виражених ілювіальних горизонтів, глибина розробки приймається 0,4...0,6 м. На меліорованих землях, при наявності дренажних систем, з метою покращення функціонування останніх, глибина розпушення приймається меншою на 0,15...0,20 м за глибину закладання дрен

$$H = H_{dp} - d_{dp} - (0,15 \dots 0,2), \quad (6.57)$$

де H_{dp} – глибина закладання дренажу;
 d_{dp} – діаметр дренажної трубки.

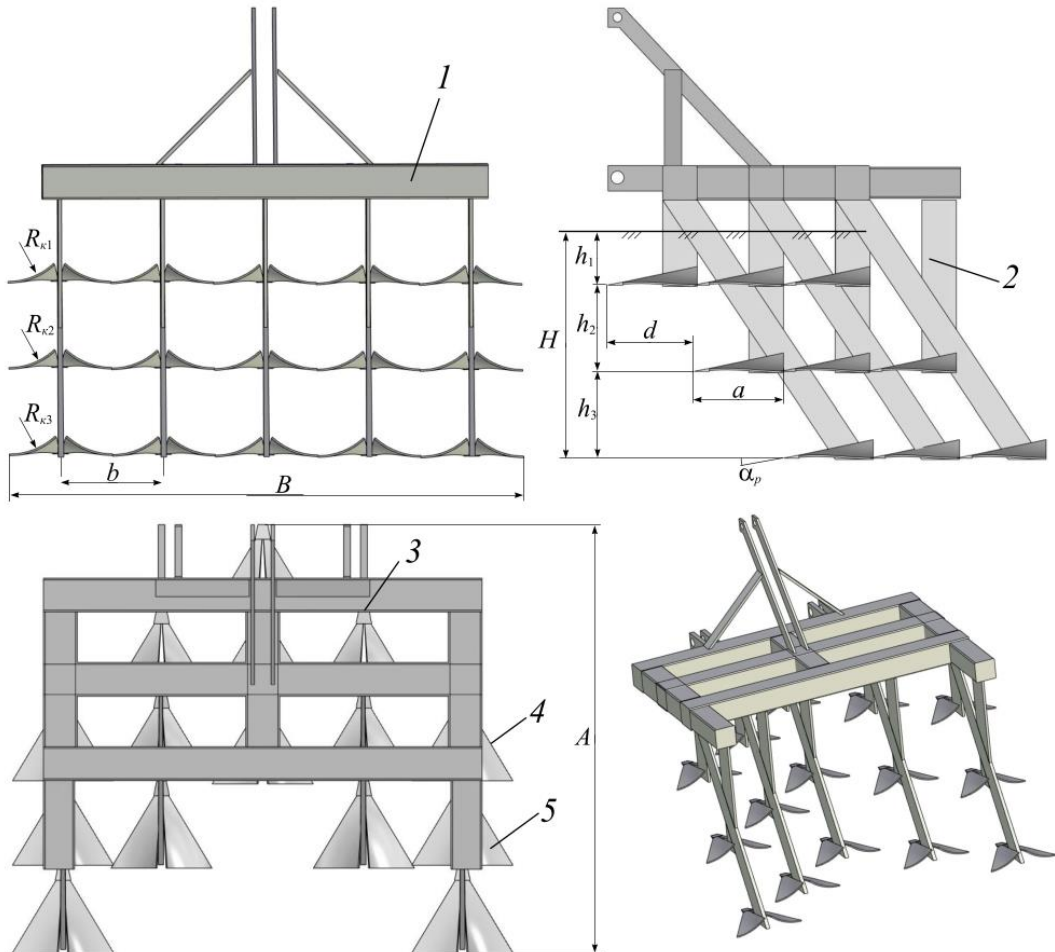


Рис. 6.19. Просторова конфігурація і конструктивні параметри робочих органів глибокорозпушувача

За стандартною методикою визначають природну вологість ґрунту з метою вибору числових значень фізико-механічних показників ґрунтів, які впливають на важкість їх розробки. Надалі у лабораторних умовах або за кореляційними залежностями визначають число пластичності, границі текучості та розкочування і показник консистенції [18; 19]

$$\omega_{п} = \omega - 8; \quad \omega_{т} = 14,8 + 1,2\omega_{п}; \quad \omega_{р} = \omega_{т} - \omega_{п}; \quad B_{к} = (\omega - \omega_{р})/\omega_{п}. \quad (6.58)$$

За числом пластичності визначають тип ґрунту, а за величиною B_k – його консистенцію. Знаючи дані показники, вибирають для кожного типу числові значення коефіцієнта зчеплення, кутів внутрішнього та зовнішнього тертя і питому вагу ґрунту [8, 18, 130].

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

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

$$k_h = 5,246 - 0,119 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,788; \quad (6.59)$$

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

$$k_h = 0,433 + 0,131 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,633; \quad (6.60)$$

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

$$k_h = 7,925 - 0,178 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = -4,306 + 5,269 \cdot \gamma_{\text{г/см}^3}; \quad (6.61)$$

Відповідно з вимогами [212], які висуваються до структури розпушеного ґрунту, за меншими значеннями рекомендованого діапазону задається величина поперечника структурного агрегату l_k .

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

$$R_k = l_k \left(\frac{1}{2\varepsilon_p} + 1 \right). \quad (6.62)$$

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

$$b = \frac{\pi}{2} R_k. \quad (6.63)$$

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

$$a = \sqrt{2\varepsilon_p \cdot L \cdot V_{azp} \cdot t_{1c}}. \quad (6.64)$$

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

$$z(x, y) = \frac{a}{x} R_k - \sqrt{\left(\frac{a}{x} R_k\right)^2 - \left(y \pm \frac{b}{2}\right)^2}. \quad (6.65)$$

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

$$d_{\max} = \frac{V_{azp} \cos \alpha_p}{2g} \left(V_{azp} \sin \alpha_p + \sqrt{2ga \sin \alpha_p + (V_{azp} \sin \alpha_p)^2} \right), \quad (6.66)$$

$$d_{\min} = \frac{h_2}{\operatorname{tg} \psi_2} - \sqrt{\frac{2R_{3M} \cos \phi (\operatorname{tg} \alpha_p + \operatorname{tg} \psi_2)}{b(q + C_q V_{azp}) \operatorname{tg} \alpha_p \operatorname{tg} \psi_2}}, \quad (6.67)$$

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

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

Висота ґрунтового шару на один ярус:

$$h = \frac{k_h + 1}{k_h} \frac{R_k}{36,23 \cdot e_n - 1,22} \leq \frac{9kl_k(1 + k_h) \sin \alpha_p}{2\pi \sigma_p k_h}. \quad (6.68)$$

Кут нахилу стояків (ψ) і необхідна їх кількість (m) з округленням до цілого:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{h}{d}; \quad m = B/(b + \delta). \quad (6.69)$$

Кількість ярусів з округленням до цілого розраховується залежно від загальної глибини розробки агрегату

$$j = H/h. \quad (6.70)$$

Тяговий опір глибокорозпушувача складається з опору переміщення робочого агрегату, опору розпушення ґрунту робочими органами та опору розсікача стояків:

$$P_T = G_{azp} \cdot f + j \cdot m [W_\delta + P_1], \text{ кН}, \quad (6.71)$$

де W_δ – динамічний опір розсікача стояків, P_1 – зусилля розпушення ґрунту робочим органом в середньому ярусі:

$$W_\delta = \rho_c b h_{kp} v_r^2 \sin \beta_{mp} \left(f + \frac{b_p}{2l} \right) \left(\frac{b_p}{2l} \right)^2; \quad (6.72)$$

$$P_1 = f \cdot \left[\frac{0,05 \sigma_m h^2}{(1 + E_c/E_p)^3} \cdot \sum_n \left(\frac{2}{\left(1 + \frac{1}{E_c/E_p} \right)^2} \right)^n + \frac{1}{4} \gamma a h l \cos \frac{l}{6R_k} \right]. \quad (6.73)$$

Максимальна швидкість руху розпушувального агрегату приймається відповідно до агротехнічних вимог з умови, щоб максимальна питома потужність на ширину захвату розпушувального агрегату становила не більше 35 кВт/м (див. п. 4.1).

$$V_{azp (м/с)} \leq \frac{35 \cdot B_{(м)}}{P_{T(кН)}}, \quad (6.74)$$

Орієнтовні значення параметрів робочих органів приведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Орієнтовні значення основних параметрів робочих органів

Ґрунтовий шар	Орний горизонт (<0,24 м)	Підорний горизонт (>0,24 м)
Кінцевий радіус, R_k , м	0,13...0,21	0,21...0,35
Ширина захвату, b , м	0,20...0,33	0,33...0,50
Довжина, a , м	при $V_{azp} < 2,5$ м/с при $V_{azp} > 2,5$ м/с	0,08...0,12 0,15...0,23 0,20...0,30
Кут різання долота, α_p , град.	25...30°	25...30°
Висота ярусу, h , м	0,15...0,18	0,07...0,15
Вільна зона між робочими органами, δ , м	0,12...0,15	0,06...0,10
Зміщення в нижніх ярусах, d , м	при $V_{azp} < 2,5$ м/с при $V_{azp} > 2,5$ м/с	– 0,11...0,14 0,12...0,33

6.8. Висновки до розділу

1. До основних характеристик ярусних робочих органів такого типу можна віднести наступне: конструкція рами з системою навіски, конструкція стояків, конструкція робочих органів, параметри просторового компонування.
2. Для удосконаленого глибокорозпушувача пропонується виконання робочих органів у формі спряження долота з клиново-радіальною розпушувальною поверхнею. Загальна кількість стадій подрібнення на таких робочих органах, для можливих орієнтовних конструктивних значень, лежить в межах 10-15 шт. Найбільш інтенсивне подрібнення ґрунту відбувається при глибині розробки в ярусі 150 мм та кінцевому радіусі 250 мм, а найменш інтенсивне – при глибині розробки в ярусі 150 мм та кінцевому радіусі 200 мм.
3. Значення відносної критичної глибини приблизно в 1,5 рази менші для асиметричного блокованого різання ніж для симетричного, тому раціональним є двостороннє симетричне встановлення радіальної частини робочого органу і визначення ширини долота з умов симетричного блокованого різання.
4. Дослідженнями визначено, що загальний тяговий опір лежить в досить широких межах 11-50 кН. Для агрегатування підходять тракторні тягачі з тяговою потужністю від 70 до 300 кВт. В усіх випадках найбільш вигідним за питомими показниками буде варіант з клиновим розміщенням робочих елементів в плані кожного ярусу. Його ефективність відносно інших варіантів за тягою складе 12-17% виграшу. Для зменшення динамічного опору багаторушним робочим органом необхідно застосовувати розсікачі стояків з відносно тонкими профілями.
5. Обґрунтовано конструктивні параметри (ярусність і горизонтальне зміщення робочих органів, їх кількість, форми ґрунторозсікача і робочих органів та їх розміри) глибокорозпушувачів. Ярусність конструкції визначається функціональністю ґрунтових шарів та відносною глибиною розушільнення; найбільш вигідним компонуванням глибокорозпушувача за питомими показниками буде 3-ярусний варіант з клиновим розміщенням робочих органів в плані кожного ярусу; значення кінцевого радіусу ґрунторозпушувальних робочих органів для верхніх протиерозійних шарів 0,18-0,22 м, для кореневмісних шарів – 0,15-0,18 м, для фільтраційних шарів – 0,22-0,25 м; розрахункові значення відносної глибини розушільнення для доліт крайніх визначальних стояків знаходяться відповідно в межах (при зміні кута різання $\alpha_p=50^\circ-20^\circ$): для тугопластичної глини 1,74-3,12; для напівтвердого суглинку 1,76-3,27; для твердого супіску 1,78-3,75; для напівтвердої глини 1,71-3,08.

7. ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО ГЛИБОКОГО РОЗПУЩЕННЯ НА ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

7.1. Загальна характеристика об'єктів

Порівняльні розрахунки були виконані за отриманими результатами 3-річних випробувань різних технологій та засобів глибокого розпушення на осушуваному масиві “Печалівка”, який знаходиться у користуванні ПСП “Мирне” Костопільського району Рівненської області на площі 25 га (рис. 7.1) [31; 113; 96], а також апробування розроблених технологій глибокого меліоративного розпушення ґрунту у виробничих умовах об'єктів, типових для Українського Полісся, ТОВ “СВК Горинь” та ПСП “Світанок” в Рівненській обл., (рис. 7.1 б, в)

Погодно-кліматичні, рельєфні, геологічні, гідрогеологічні, геоморфологічні та ґрунтові умови Рівненської області (табл. 7.1), є типовими для фізико-географічної області Західного (Волинського) Полісся України [62].

Таблиця 7.1

Основні типи ґрунтів Рівненської області (землі господарств із
сільськогосподарським виробництвом) [62]

Типи ґрунтів	Площа, тис.га
1. Опідзолені	285,6
2. Дерново-підзолисті	264,6
3. Болотні	229,1
4. Дернові оглеєні	130,6
5. Лучні та чорноземно-лучні	53,6
6. Чорноземи типові	42,0
7. Чорноземи і дерново-карбонатні ґрунти	39,2
8. Розмиті ґрунти та виходи корінних порід	1,5

Виробничі потужності ТОВ СВК «Горинь» розташовані поблизу сіл Новомиськ та Копиткове загальною площею 513 га де проводиться вирощування зернових (кукурудзи) та олійних (ріпак) культур. Ґрунтові умови характеризуються переважно темно-сірими опідзоленими чорноземами та суглинистими ґрунтами щільністю 1,43-1,56 г/см³ з вологістю 14-18% на глибині до 0,6 м. За довідковими даними залягання рівнів ґрунтових вод зафіксовано на глибині 0,75-2,0 м.

Виробничі потужності ПСП “Світанок” розташовані на території Костопільської денудаційної рівнини в межах осушувальної системи “Деражне-Постійне” з відкритою мережею каналів у сполученні з гончарним дренажем. Площа осушувальної системи становить 4564 га, площа гончарного дренажу 3365 га, площа сільськогосподарських угідь 3554 га.

Рельєф поверхні рівнинний. Ґрунти на системі дернові середньо-підзолисті, піщані. Зустрічаються легкі і важкі, сірі і брудно-сірі супіски.

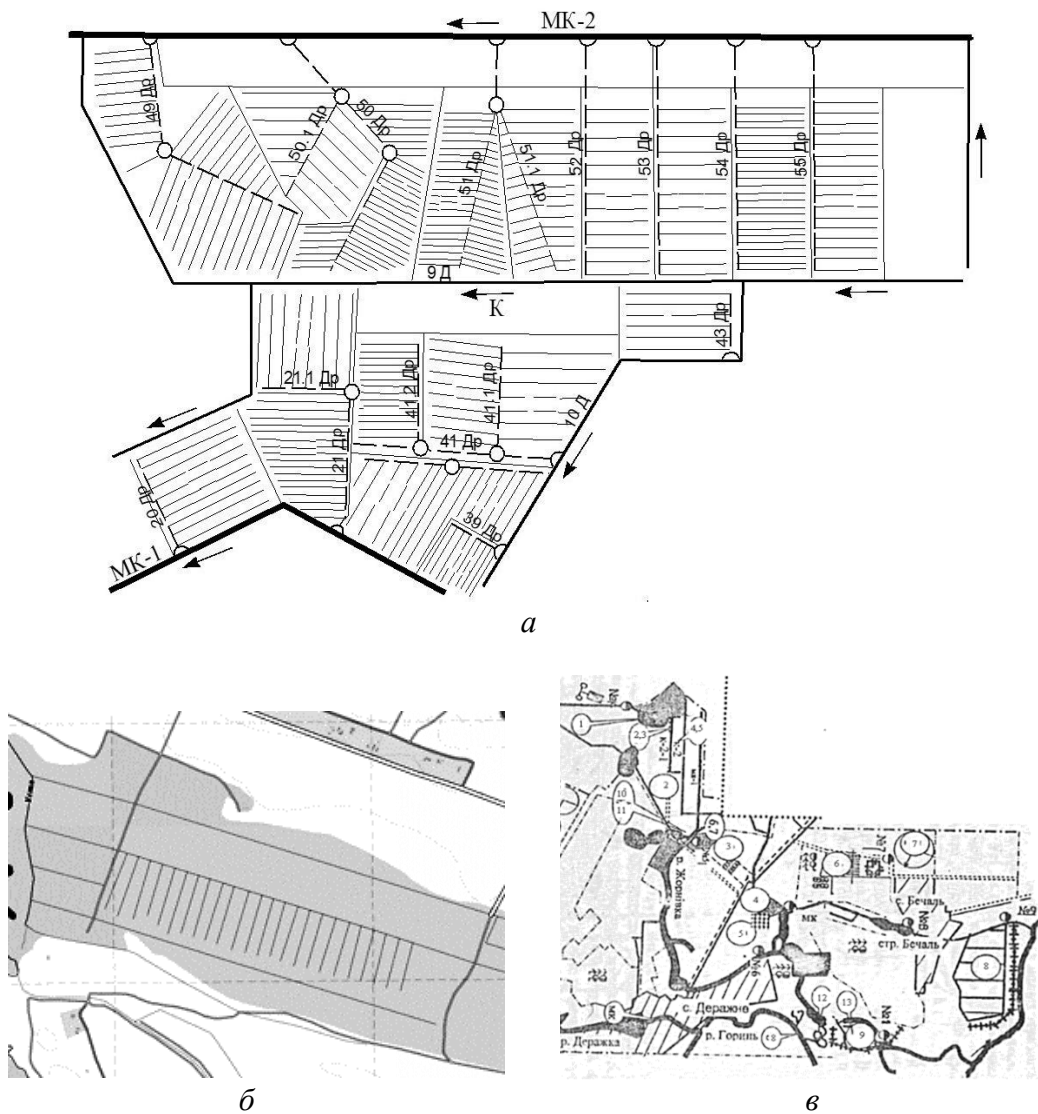


Рис. 7.1. Схеми осушуваних масивів: *а* – “Печалівка” в ПСП «Мирне»; *б* – «Новосілки» у ТОВ СВК «Горинь»; *в* – “Деражне-Постійне” в ПСП “Світанок”; МК-1, МК-2 – магістральні канали; К – канал; Др – дрени

Морфологічна будова та гранулометричний склад дерново-підзолистого глейового супіщаного ґрунту гідромеліоративної системи “Печалівка” характеризується неглибоким заляганням порід крейдяної системи, що, в свою чергу, перекриті четвертинними відкладеннями, які і є водотривами (табл. 7.2, 7.3).

Таблиця 7.2

Геологічна будова дерново-підзолистого ґрунту дослідного масиву
“Печалівка” [31; 113]

Опис порід	Глибина залягання, м		Потужність, м
	від	до	
Ґрунтово-рослинний шар, $K_f=0,6\pm0,1$ м/добу	0	0,3	0,3
Супіщано-суглинисте утворення 0,3...2,0, $K_f=0,13\ldots0,02$ м/добу 2,0...3,2, $K_f=0,3\ldots0,06$ м/добу 3,2...8,5, водотрив	0,3	8,5	8,2
Крейда тріщинувата, на початку інтервалу тріщини закальматовані	8,5	42	33,5
Піщаник з прошарками алевроліту	42	120	78

Таблиця 7.3

Гранулометричний склад дерново-підзолистого супіщаного ґрунту [31; 113]

Розмір фракцій, мм		Гранулометричний склад (%) за глибиною відбору зразків, см			
		0...30	30...50	50...90	90...120
Фізичний пісок	1...0,05	58,3	79,8	65,1	73,6
Пил	0,05...0,001	35,8	14,6	15,1	14,5
Мул	0,001...0,0001	5,1	3,9	18,4	11,9
Фізична глина	$\geq 0,01$	10,9	14,8	24,5	19,8

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

Ґрунтові умови: дерново-підзолисті глейові супіщані ґрунти з коефіцієнтом фільтрації орного шару ґрунту (0...20 см) – 0,13...0,4 м/добу, а на глибині 20 см і більше – 0,13...0,003 м/добу.

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

Профіль ґрунту впродовж багатьох років роботи осушувальної системи значних змін не зазнав.

Відповідно до сучасних умов та вимог оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів ГМР виконувалося за комплексом показників різної направленості (рис. 7.2).



Рис. 7.2 – Комплекс показників оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів глибокого розпушення

Вивчення впливу різних технологій (рис. 7.3, а-б) і засобів глибокого розпушення (рис. 7.3, г-е) на водно-фізичні властивості та агроеліоративний стан осушуваних мінеральних ґрунтів було вирішено шляхом проведення порівняльних виробничих випробувань за такими варіантами:

- 1 – щілинне розпушення;
- 2 – смугове розпушення;
- 3 – удосконалене суцільне розпушення
- 4 – контрольний варіант без розпушення.

Для об'єктивності порівняльної оцінки за різними технологіями розпушення визначався коефіцієнт повноти розпушення, який був приведений до об'єму ґрунту на масиві площею 1 га (100×100 м) потужністю 1 м (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Коефіцієнт повноти розпушення за різними варіантами

Варіанти розпушення \ Показники	Об'єм розпушеного ґрунту за один прохід, V_{cp} , м ³	Кількість проходів розпушувача, n_{cp}	Коефіцієнт повноти розпушення, R_c
Щілинне	11×2	50	0,11
Смугове	30	40	0,12
Суцільне удосконалене	93	67	0,62

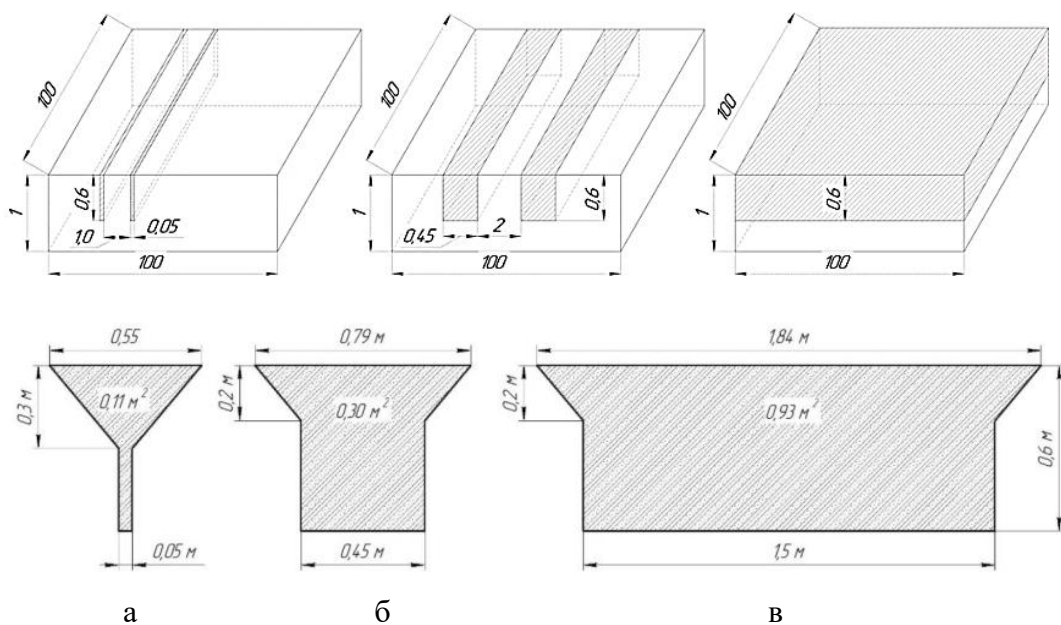


Рис. 7.3 – Схеми і засоби дослідження глибокого розпушення: а – щілинне розпушення; б – смугове розпушення; в – удосконалене суцільне розпушення; г – двохрядковий глибокорозпушувач (щілинне розпушення); д – одностяковий ярусний глибокорозпушувач (смугове розпушення); е – ярусний глибокорозпушувач (суцільне розпушення); є – ярусний глибокорозпушувач у виробничих умовах; ж – лабораторні дослідження просипання верхнього шару ґрунту при щілинному та ярусному розпушенні, відповідно

7.2. Методи оцінювання ефективності

Для порівняльного оцінювання ефективності застосування різних варіантів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на репрезентативному об'єкті для умов Західного Полісся України було здійснено експериментальні дослідження з використанням основних методів загальної теорії експерименту (аналітичний, експериментальний та статистичний), математичне моделювання та машинний експеримент із використанням сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій.

За контрольний (стандартний) варіант були прийняті ділянки досліджуваної дренажної системи, яка піддавалася тільки звичайній оранці без будь-якого додаткового обробітку. Сукупність чотирьох ділянок (трьох дослідних і однієї контрольної) склали схему польових досліджень. На достовірність і точність польових досліджень значною мірою впливають такі фактори: площа і форма ділянок, їх взаємне розташування на об'єкті досліджень, кількість повторюваностей досліджень та ін.

Планування польових ділянок було проведено до початку сільськогосподарських робіт і не заважало їх проведенню, що дало змогу розмістити всі ділянки разом у вигляді так званого “латинського квадрата”. Розташування варіантів було сплановано у формі латинського квадрата таким чином, щоб у кожному рядку і у кожному стовпчику квадрата був повний набір варіантів, але жоден з варіантів не повторювався би двічі ні у рядку, ні у стовпчику. За контрольний (стандартний) варіант були прийняті ділянки досліджуваної дренажної системи, яка піддавалася тільки звичайній оранці без будь-якого додаткового обробітку. Сукупність чотирьох ділянок (трьох дослідних і однієї контрольної) склали схему польових досліджень. Це забезпечувало репрезентативність (типовість) досліджень та їх необхідну адекватність результатів. Повторюваність дослідів була прийнята 4-кратною, тому загальна кількість польових ділянок разом з контрольними дорівнювала 16. Опрацювання експериментальних результатів здійснювалось за загальноприйнятими методами та методиками.

За отриманими експериментальними результатами було здійснено прогностні розрахунки на основі використання відповідного комплексу прогностно-імітаційних моделей, що включає модель клімату місцевості, моделі водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель, модель розвитку та формування врожаю вирощуваних культур, що реалізуються на основі довгострокового прогнозу [113; 157].

Для наближеної оцінювання екологічної стійкості досліджуваних заходів, ступеня врахування факторів екологічної надійності їх функціонування, в першу чергу з точки зору підтримання сприятливих природно-меліоративних та ґрунтових режимів у межах проектного терміну здійснювався розрахунок коефіцієнта екологічної надійності (k_n) функціонування меліоративної системи за сукупністю відповідних фізичних

показників екологічної ефективності (показники водного режиму, показники сольового режиму та продуктивності осушуваних земель). Екологічно оптимальним варіантом вважається той, для якого коефіцієнт екологічної надійності знаходиться в інтервалі значень $k_n = 0,5 \dots 1,0$ [113; 157].

7.3. Агротехнологічна ефективність

Глибоке розпушення приводить до істотного збільшення водопроникності ґрунту за усією глибиною розпушення, головним чином у підорному шарі. Ступінь розпушеності ґрунтів, зміна їх водно-фізичних властивостей та водопроникності залежать від застосованого способу та засобу глибокого розпушення. Так, при використанні щілинного розпушення щільність ґрунту відразу після розпушення в зоні нарізаних стояками щілин складала в орному шарі $1,4 \dots 1,45 \text{ т/м}^3$, а у підорному – $1,45 \dots 1,71 \text{ т/м}^3$ (у зоні проходження стояка).

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

Найкращі результати глибокого розпушення мінеральних ґрунтів досягнуті при застосуванні суцільного розпушення на основі використання багатоярусного глибокорозпушувача. При цьому щільність ґрунту в орному шарі зменшилась до $1,1 \dots 1,15 \text{ т/м}^3$, у підорному – до $1,2 \dots 1,3 \text{ т/м}^3$. Крім того, була доведена можливість прогнозувати і отримувати бажану структуру в будь-якому горизонті вертикального профілю розпушеного ґрунту в наслідок можливості регулювання параметрів робочого органу глибокорозпушувача. При цьому, на відміну від інших технологій, була досягнута оптимальна структура розпушеного ґрунту: в орному шарі 55...60% за масою ґрунтових агрегатів з розміром поперечника $10 \dots 50 \text{ мм}$ 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 $20 \dots 50 \text{ мм}$ – 70...80%, та сумарно агрегатів з поперечниками меншими за 20 мм і більшими за 50 мм – 20 ...30%.

Відповідно до зміни щільності ґрунту, змінювались пов'язані з нею, параметри його водопроникності.

Узагальнена порівняльна характеристика усереднених в часі (за терміном післядії) та просторі (за профілем ґрунту) значень основних показників водно-фізичних властивостей в шарі ґрунту 0,6 м за різними видами та варіантами його розпушення подані в табл. 7.5.

Вплив глибокого розпушення на агро меліоративні показники меліорованих ґрунтів визначається зміною їх водно-фізичних властивостей і також залежить від застосованої технології [89].

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

Таблиця 7.5

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

Показники Варіанти розпушення	Щільність (γ), т/м ³			Шпаруватість (A), %			Водопроникність (k_f), м/добу		
	абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю		абс. знач.	відх. від контролю	
		т/м ³	%		т/м ³	%		т/м ³	%
Без розпушення	1,45	—	—	42,2	—	—	0,12	—	—
Щілине	1,41	0,04	2,9	46,1	3,9	9,2	0,25	0,13	206
Смугове	1,32	0,13	8,9	47,3	5,1	12	0,36	0,24	296
Суцільне	1,15	0,30	21	54,9	12,7	30	0,53	0,41	443

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

Узагальнена порівняльна характеристика усереднених значень основних агро меліоративних показників шару розпушеного ґрунту 0,6 м щодо зміни запасу продуктивної вологи та за найбільш універсальним показником продуктивності вирощуваних культур щодо варіантів його розпушення наведена в табл. 7.6.

Таблиця 7.6

Порівняльна характеристика основних агроеліоративних показників шару ґрунту 0,6 м за варіантами розпушення

Групу 6,6 м за варіантами розпушення							
Варіанти розпушення	Показники	Запас продуктивної вологи (Wh), м³/га		Продуктивність культур за ККД ФАР, %			
		абсолют. значення, м³/га	відхилення від контролю		абсолют. значення, %	відхилення від контролю	
			м³/га	%		%	%
Без розпушення (контроль)		316	–	–	0,80	–	–
Щілине		594	278	49,0	0,88	0,08	10,0
Смугове		655	339	51,0	0,99	0,19	24,0
Суцільне		711	395	55,5	1,16	0,36	45,0

Термін ефективної технологічної післядії розглянутих способів глибокого розпушення осушуваного мінерального ґрунту склав відповідно: щілиного – 1 рік; смугового – 3 роки, суцільного – до 4 років (рис. 7.4).

Досліджувані технології та засоби глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів по різному впливають на урожай залежно від тепло- й вологозабезпеченості періодів вегетації та виду вирощуваних культур.

Порівняльна характеристика врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур на осушуваних мінеральних ґрунтах по роках досліджень у польовому експерименті за варіантами їх глибокого розпушення наведена в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

Порівняльна характеристика врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур за роками і варіантами розпушення

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

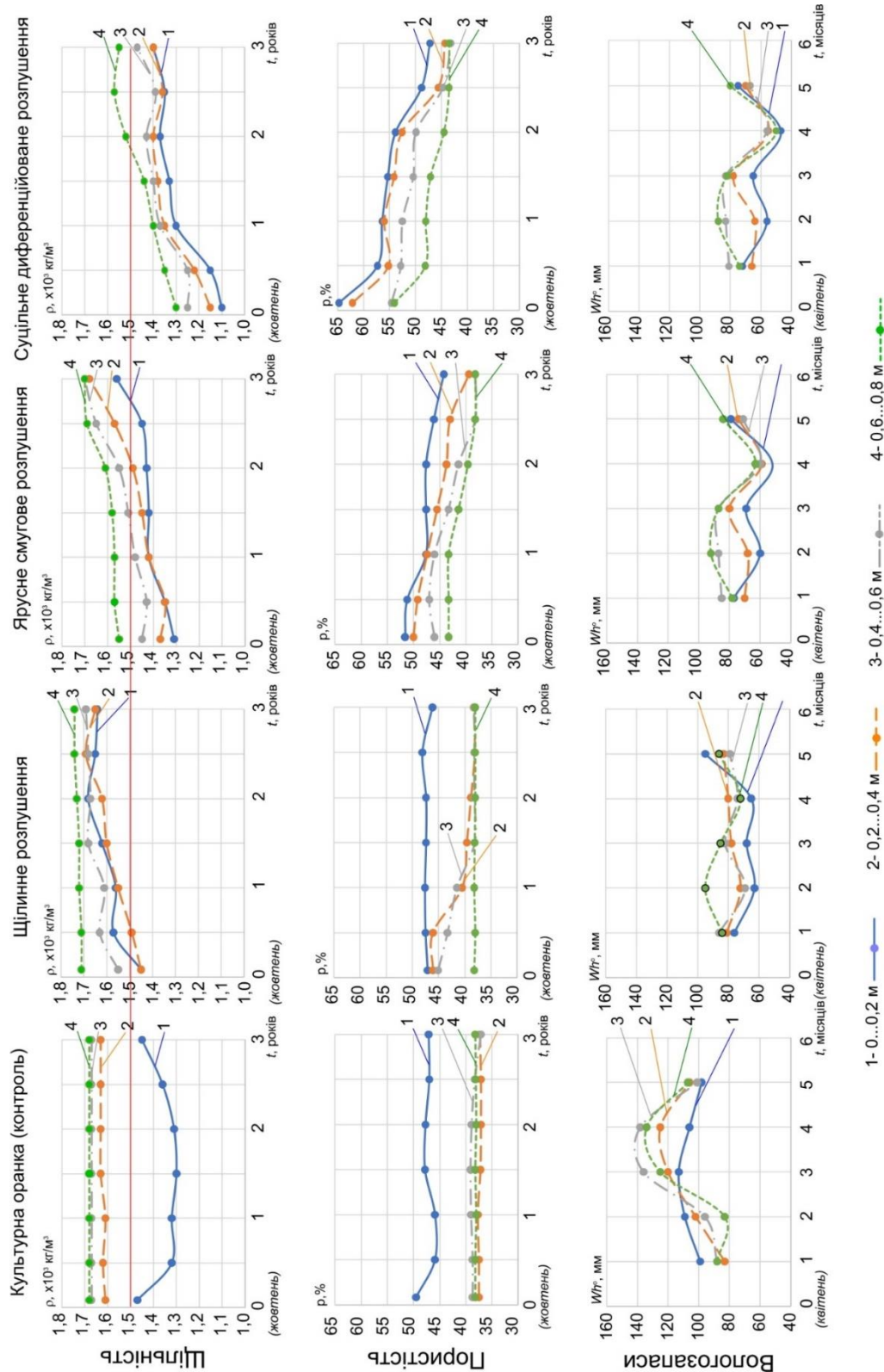


Рис. 7.4. Результати експериментальних досліджень післядії глибокого меліоративного розпушення

За отриманими експериментальними результатами було здійснено прогностичні розрахунки урожайності на основі використання відповідного комплексу прогностично-імітаційних моделей, що реалізуються на основі довгострокового прогнозу [122; 157].

Порівняльна характеристика прогностичного врожаю вирощуваних сільськогосподарських культур проектної сівозміни на осушуваних мінеральних ґрунтах за варіантами їх глибокого розпушення з урахуванням умов тепло- й вологозабезпеченості розрахункових років наведена в табл. 7.8. Наведені результати щодо врожаю культур як по роках досліджень, так і прогностичних їх значень адекватно відображають досягнутий ступінь поліпшення умов їх вирощування за варіантами глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів.

Таблиця 7.8

Прогностичний врожай вирощуваних культур проектної сівозміни за варіантами розпушення

№ з/п	Варіанти розпушення	Культури	Вид продукції	Урожай культур (ц/га) по розрахункових роках, р %					Прогностичний врожай, ц/га
				10	30	50	70	90	
1	Без розпушення (контроль)	Багаторічні трави	зелена маса	134,8	230,7	251,9	154,1	102,1	183,2
		Ярі зернові	зерно	12,9	22,0	30,1	27,8	18,6	23,6
		Озимі зернові	зерно	10,3	20,8	29,5	27,6	18,3	22,7
		Картопля	бульба	164,2	38,4	216,8	148,3	83,0	136,0
2	Щільне	Багаторічні трави	зелена маса	151,7	255,2	261,5	177,8	116,7	201,1
		Ярі зернові	зерно	14,5	24,7	32,4	29,3	20,5	25,6
		Озимі зернові	зерно	11,6	23,4	31,8	28,5	20,2	24,5
		Картопля	бульба	184,7	42,4	233,9	156,7	91,8	147,6
3	Смугове	Багаторічні трави	зелена маса	168,6	287,5	280,2	217,9	142,6	228,7
		Ярі зернові	зерно	16,1	28,8	36,6	32,4	23,8	29,0
		Озимі зернові	зерно	12,9	27,2	35,9	31,6	23,6	27,8
		Картопля	бульба	205,2	50,2	227,7	185,9	110,8	160,8
4	Суцільне	Багаторічні трави	зелена маса	209,6	331,7	318	263,9	173,1	269,2
		Ярі зернові	зерно	22,2	33,4	42,5	35,4	26,2	33,4
		Озимі зернові	зерно	17,8	31,5	41,4	34,9	26,2	32,0
		Картопля	бульба	262,2	58,7	267,7	231,6	126,5	194,9

Отримані результати щодо врожаю вирощуваних культур (багаторічні трави, ярі зернові, озимі зернові, картопля) адекватно відображають досягнутий ступінь поліпшення умов їх вирощування та забезпечують в

середньому їх прибавку за варіантами глибокого розпушення: щільне – 5...10%; смугове – 10...20%; суцільне (удосконалене) – 20...40%.

7.4. Енергетична ефективність

Основним завданням енергетичного аналізу аграрного виробництва є вивчення, кількісна оцінка, оптимізація потоків енергетичних витрат та управління ними в агросистемах. Енергетичні втрати на розпушення E_v включають витрати на амортизацію трактора та робочого знаряддя, витрати паливно-мастильних матеріалів, витрати праці людини.

Вирощування сільськогосподарської продукції забезпечує одержання первинної продукції, тобто енергії у вигляді органічної речовини.

Енергетична оцінка первинної сільськогосподарської продукції проводиться на основі обсягу виробництва господарсько-корисної продукції і її калорійності, тобто визначається енергетичний потенціал, що одержують при вирощуванні сільськогосподарських культур [184]

$$E_n = \sum_{i=1}^n O_{acp_i} K_i, \quad (7.1)$$

де E_n - енергетичний потенціал (калорійність) одержаної продукції, Дж;

O_{acp_i} – обсяг i -ої абсолютно-сухої речовини, кг/га;

K_i - калорійність i -ої абсолютно-сухої речовини, Дж/кг.

Показник енергетичної ефективності аграрного природокористування на осушених землях визначається як відношення енергетичного потенціалу E_n до енергетичних витрат E_v .

Показник енергетичної ефективності залежить від ґрунтово-кліматичних умов, ступеня техногенної завантаженості структури посівних площ і наявності науково обґрунтованих сівозмін.

Порівняльна характеристика енергетичної ефективності застосування різних технологій глибокого розпушення ґрунту за відповідними показниками представлена в табл. 7.9.

Таблиця 7.9

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

Показники Варіанти розпушення	Загальна енергія на розпушення, Дж/га	Витрата енергії на 1м³ розпушеного ґрунту, Дж/м³	Коефіцієнт енергетичного еквіваленту	Енергетична оцінка врожаю, Дж/га
Щільне	1286,8	7,39	6,12	7912,8
Смугове	3675,76	4,53	7,05	25898,1
Суцільне	4594,61	0,77	9,69	44500,4

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

Зведені результати застосування удосконаленої технології показують ефективність суцільного пошарового глибокого розпушення та представлені через графічні залежності фізичних, енергетичних та фільтраційних характеристик за коефіцієнтом повноти розпушування ґрунту R_c в досліджуваному масиві потужністю 0,6 м, (рис. 7.5).

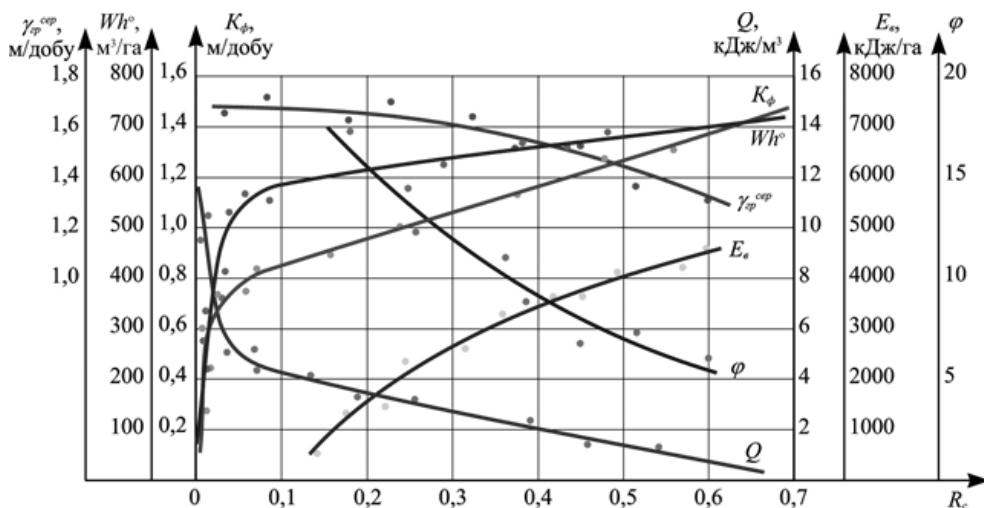


Рис. 7.5. Залежність фізичних, енергетичних та фільтраційних показників від повноти розпушення ґрунту R_c на дослідному масиві потужністю 0,6 м: $\gamma_{ср}$ – усереднена щільність ґрунту; $E_{ср}$ – інтегральний показник витрати енергії; Q – показник питомої витрати енергії на розпушення 1 м³; ϕ – коефіцієнт енергетичного еквіваленту (потенціалу) отриманої сільськогосподарської продукції; K_ϕ – коефіцієнт фільтрації; Wh° – максимальний запас продуктивної вологи активного шару ґрунту

7.5. Екологічна ефективність

Урахування екологічних факторів має виключне значення при виборі оптимального варіанту техніко-технологічного рішення щодо засобу та способу глибокого розпушення у меліоративному проекті з будівництва, реконструкції та експлуатації осушувальної системи, який забезпечує мінімум природоохоронних витрат та нанесення мінімальних збитків навколишньому природному середовищу.

За результатами досліджень, глибоке розпушення позитивно впливає на температурний режим ґрунту, особливо орного горизонту, де при підвищенні температури повітря максимальна температура в розпушеному ґрунті ставала на $0,1 \dots 0,5$ °C нижче, ніж без розпушення.

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

У тісному взаємозв'язку з температурним і водним режимом знаходиться випаровування вологи. Глибоке розпушення, порушуючи капілярний зв'язок у верхніх горизонтах, зменшує інтенсивність капілярного живлення й відповідно дещо зменшує її випаровування з поверхні ґрунту.

Згідно з [226], глибоке розпушення може бути механізмом, що також сприяє зменшенню випаровування інших парникових газів з поверхні ґрунту за рахунок стимулювання їх накопичення та поглинання глибоко в ґрунтовому масиві, а не у верхньому шарі ґрунту. При чому макроагрегати розпушеного ґрунту діаметром 2...8 мм характеризуються на 51% кращим поглинаючими властивостями (за сукупний 20-денний період), ніж макроагрегати ґрунту з діаметром до 2 мм.

Крім того, відповідно глибоке розпушення буде сприяти транслокаційним процесам переміщення ґрунтового органічного вуглецю у глибину масиву, які є одним із способів його секвестрації. Вимірювані норми секвестрації вуглецю ґрунтом складають від 50 до 1000 кг/га/рік. Глобальний потенціал секвестрації вуглецю становить $0,9 \dots 10,3$ Пг/рік, що може компенсувати від $1/4$ до $1/3$ річного збільшення атмосферного вуглекислого газу, що оцінюється в 3,3 Пг/рік. Сукупний потенціал секвестрації вуглецю ґрунтом за 25–50 років становить 30...60 Пг [243].

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

Порівняльна характеристика розрахункових значень величини сумарного випаровування та її транспіраційної складової на прикладі вирощування на осушуваних мінеральних ґрунтах багаторічних трав на зелену масу за варіантами розпушення наведена в табл. 7.10.

За таких змін клімату, що мають місце у сучасних умовах, кількість атмосферних опадів на території України змінилася неістотно, проте помітними стали зміни інтенсивності та характеру їх випадання. Підвищення температури повітря та нерівномірний розподіл опадів, які часто мають зливовий та локальний характер випадання у теплий період, не забезпечують

ефективне накопичення вологи ґрунту, що призводить до критичних умов формування їх водного режиму [160].

Таблиця 7.10

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

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

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

Узагальнені результати дослідження спільної дії дренажу та технологій глибокого розпушення щодо не розпушеного осушуваного мінерального ґрунту у критичних умовах при випадінні добових максимумів опадів різної забезпеченості на прикладі досліджуваного об'єкта наведено в табл. 7.11.

Таблиця 7.11

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

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

Примітка: K_i – коефіцієнт фільтрації ґрунту за варіантами дослідження, м/добу $h^0 = 0,6 \text{ м}$; t – час зниження рівня ґрунтових вод до безпечного рівня; Wh^0 – максимально можливий запас продуктивної

вологи розрахункового шару ґрунту), $\text{м}^3/\text{га}$; P_t – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм; P'_t – частина опадів добового максимуму опадів, що попадає в розпушений ґрунт; A_t – акумулююча ємність розпушеного ґрунту в зоні аерації, залежно від вихідної вологості; E'_A – частка опадів, що акумулюється в ґрунті

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

За результатами прогнозно-імітаційного моделювання з використанням відповідного комплексу моделей [122; 157] було визначено ефективність застосування удосконаленого суцільного розпушення впродовж вегетаційного періоду у поєднанні з різними способів водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів на прикладі досліджуваного об'єкта (ґрунт – супіщаний, площа – 10 га, культура – багаторічні трави на сіно) для розрахункового сухого за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації ($p = 70\%$).

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

Виконано експериментальне дослідження впливу збільшення акумуляційної здатності ґрунту за рахунок проведення його глибокого меліоративного суцільного розпушення на основі удосконалених енергоефективних та вологорегулюючих технологій і технічних засобів на ефективність використання атмосферних опадів й поливної води та, відповідно, умови вологозабезпеченості ґрунту в цілому при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав [143].

Експериментально встановлено, що при збільшенні акумуляційної здатності ґрунту на основі проведення його розпушення відбувається підвищення ефективності використання опадів й поливної води та зменшення величини інфільтрації [143].

Зміна акумуляційної здатності ґрунту до та після його розпушення може бути визначена аналогічним чином за зміною величини інфільтрації, що утворюється у нерозпушеному та розпушеному ґрунті, за однакових умов його використання (вироснувані культури, погодно-кліматичні умови, технології й режими зрошення тощо).

Тоді, показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту може бути визначений у відносному вигляді як

$$A_i = 100 - \left(\frac{Ih_i}{(P + m)} \cdot 100 \right), \% \quad (7.2)$$

де A_i – показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту за варіантами i до та після розпушення ґрунту, %;

Ih_i – величина інфільтрації за варіантами i до та після розпушення ґрунту, м³/га.

При підвищенні акумуляційної здатності ґрунту на основі проведення його глибокого розпушення відбувається зменшення величини інфільтрації та, відповідно, підвищення ефективності використання опадів і зрошувальної води в розпушеному ґрунті.

Вплив акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та зрошувальної води може бути визначений на основі відповідного коефіцієнта як

$$k_{A_i}^{P+m} = 1 - \left(\frac{Ih_{A_i}}{(P + m)} \right), \quad (7.3)$$

де $k_{A_i}^{P+m}$ – коефіцієнт ефективності використання опадів та зрошувальної води при акумуляційній здатності ґрунту A_i , що відповідає i -му варіанту до та після його розпушення ґрунту;

Ih_{A_i} – величина інфільтрації при акумуляційній здатності ґрунту A_i , що відповідає i -му варіанту до та після його розпушення, м³/га.

На підставі проведених лабораторних досліджень встановлено, що прогнозна величина інфільтрації може бути визначена:

– за короткотерміновим прогнозом у добовому перерізі

$$Ih_{\tau} = -9,58^2 + 0,003 \cdot P_{\tau}^2 + 0,036 \cdot WPh_{\tau-1}^2, R^2 = 0,66; \quad (7.4)$$

– за довготерміновим прогнозом у декадному перерізі

$$Ih_{\tau} = 0,0308 \left(P_{\tau}^2 / WPh_{\tau-1} \right) - \left(6 \cdot 10^{-8} \right) \left(P_{\tau}^2 / WPh_{\tau-1} \right)^2, R^2 = 0,68. \quad (7.5)$$

Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та зрошувальної води за розглянутими варіантами представлено в табл. 7.12.

Таблиця 7.12

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

Основні показники		Значення показників		Зміна, %
		варіант 1 при $WPh^0=200$ м ³ /га	варіант 2 при $WPh^0=400$ м ³ /га	
Сума опадів та зрошувальної води за вегетацію, м ³ /га	$P+m$	4986	4986	-
Середньозважений продуктивний запас вологи у ґрунті за вегетаційний період, м ³ /га	WPh_{cp}	149	190	+27,0
Частка середнього значення запасу вологи в ґрунті за вегетацію від запасу вологи в ґрунті на початку періоду	WPh_{cp}/WPh^0	0,75	0,95	+26,6
Тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію	$n(IW)$	0,7–0,8	0,9–1,0	+20,0 -30,0
Сума інфільтрації за вегетацію, м ³ /га	Ih	2980	1500	-49,6
Часка величини суми інфільтрації від суми опадів та зрошувальної води за вегетацію	$Ih/(P+m)$	0,60	0,30	-50,0
Показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %	A	40	70	+75,0
Коефіцієнт ефективності використання опадів та зрошувальної води	k_A^{P+m}	0,4	0,7	+75,0

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

- істотному підвищенню ефективності використання опадів та поливної води. Таке підвищення за відповідним коефіцієнтом становить +75% від його початкового значення;

- зменшенню величини інфільтрації, що забезпечує зменшення інтенсивності промивного режиму ґрунту та позитивно впливає на еколого-меліоративний стан земель;

- збільшенню тривалості підтримання сприятливого водного режиму (0,5–1,0) WPh^0 на 20–30% та підвищенню умов вологозабезпеченості ґрунту в цілому.

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

У розвиток результатів експериментального дослідження з використанням комплексу ієрархічно зв'язаних прогнозно-імітаційних моделей виконано оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів і поливної води у виробничих умовах для вологих періодів вегетації [143].

Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності осушуваних мінеральних ґрунтів до та після розпушення на умови їх вологозабезпеченості й ефективність використання опадів для умов вологих періодів вегетації на прикладі вирощування вологолюбивих багаторічних трав представлено у табл. 7.13.

Таблиця 7.13

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

Основні показники	Дуже вологий (p=10%) період вегетації			Вологий (p=30%) період вегетації		
	$WPh^0=350$ м ³ /га до розпушення	$WPh^0=550$ м ³ /га після розпушення	зміна, %	$WPh^0=350$ м ³ /га до розпушення	$WPh^0=550$ м ³ /га після розпушення	зміна, %
середньозважений продуктивний запас вологи у ґрунті за вегетаційний період, WPh_{cp} , м ³ /га	300	500	+66,7	270	450	+65,6
частка середнього значення запасу вологи в ґрунті за вегетацію від запасу вологи в ґрунті на початку періоду, WPh_{cp}/WPh^0	0,55	0,91	+65,5	0,49	0,82	+67,3
сума інфільтрації за вегетацію, Ih , м ³ /га	1765	1399	-20,7	1184	925	-21,9
частка величини суми інфільтрації від суми опадів за вегетацію Ih/P	0,37	0,29	-21,6	0,28	0,22	-21,4
показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, A , %	63,2	70,8	+12,0	71,8	78,0	+8,6
коефіцієнт ефективності використання опадів, k^p_A	0,63	0,71	+12,7	0,72	0,78	+8,3
коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної), K_v	0,38	0,47	+23,7	0,59	0,78	+32,2

Оцінювання виконано за зміною величини інфільтрації, яка утворюється у нерозпушеному та розпушеному ґрунті використовуючи такі показники:

WPh_{cp} – середньозважений продуктивний запас води у ґрунті за вегетаційний період, $m^3/га$; WPh_{cp}/WPh^0 – частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду; Ih – сума інфільтрації за вегетацію, $m^3/га$; Ih/P – частка величини суми інфільтрації від суми опадів за вегетацію; A – показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %; k_A^P – коефіцієнт ефективності використання опадів; K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної).

Підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його глибокого розпушення у воді періоди вегетації забезпечує:

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

За результатами прогнозно-імітаційного моделювання з використанням відповідного комплексу моделей [157] було визначено ефективність застосування удосконаленого суцільного розпушення впродовж вегетаційного періоду у поєднанні з різними способами водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів на прикладі досліджуваного об'єкта (ґрунт – супіщаний, площа – 10 га, культура – багаторічні трави на сіно) для розрахункового сухого за умовами тепло- й вологозабезпеченості періоду вегетації ($p=70\%$).

У табл. 7.14 наведено фрагменти узагальнених результатів за такими варіантами: 1 – попереджувальне шлюзування (ПШ); 2 – попереджувальне шлюзування з суцільним глибоким розпушенням (ПШ+ГР); 3 – попереджувальне шлюзування з суцільним глибоким розпушенням з післядією в 1 рік (ПШ+ГР+1р); 4 – зволожувальне шлюзування (ЗШ, підґрунтове зволоження).

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

Таблиця 7.14

**Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної
ефективності за варіантами досліджень**

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

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

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

Наведені дані засвідчують, що застосування різних засобів та способів глибокого розпушення забезпечує різні рівні екологічної надійності осушуваних мінеральних ґрунтів. При цьому застосування удосконаленого суцільного розпушення забезпечує коефіцієнт екологічної надійності меліорованого ґрунту на рівні 0,50...0,51 – *екологічного надійного* його значення, й тим самим забезпечує підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів.

7.6. Інвестиційно-економічна ефективність

За традиційним загальноприйнятим методом термін окупності капіталовкладень і витрат у агро-меліоративні заходи, пов'язані з реалізацією глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах, визначається за формулою

$$T = \frac{K}{ДЧД}, \quad (7.6)$$

де T – термін окупності капіталовкладень або поточних витрат на реалізацію глибокого розпушення, років;

K – капіталовкладення або загальні поточні витрати, пов'язані з проведенням розпушення ґрунту, грн/га;

ДЧД – додатковий чистий дохід або умовно чистий прибуток від реалізації глибокого розпушення, грн/га.

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

$$K = K_p + \sum B_d , \quad (7.7)$$

де K_p – витрати на проведення розпушення ґрунту, грн/га;

B_d – витрати, пов'язані зі збиранням отриманої додаткової продукції (прибавка врожаю) від глибокого розпушення, грн/га.

Термін дії для смугового та суцільного розпушення складає до трьох років, а для традиційного щільового – один рік.

Додатковий чистий дохід від проведення розпушення ґрунту визначається за формулою

$$ДЧД = \sum \Pi_d - K , \quad (7.8)$$

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

Порівняльна ефективність застосування різних варіантів глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах за результатами польових експериментів наведені в табл. 7.15, 7.16 .

Таблиця 7.15

Порівняльна ефективність застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах

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

Таблиця 7.16

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

№ з/п	Показник	Варіанти розпушення			
		Без розпушення	Щілинне	Смугове	Суцільне
1	Залишкова балансова вартість системи	12000	12000	12000	12000
2	Поточні витрати:	4528	4489	4193	4012
	- сільськогосподарські	4294	4196	3871	3602
	- експлуатаційні	234	293	322	410
	- амортизаційні	360	360	360	360
3	Валова продукція	4798	5228	5909	6913
4	Чистий дохід	270	739	1716	2901

Результати порівняльної економічної ефективності різних засобів та способів глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах по роках досліджень у польовому експерименті так і прогнозних їх значень свідчать, що всі розглянуті технології є рентабельними та економічно вигідними, оскільки термін їх окупності не перевищує один рік. При цьому застосування суцільного розпушення, на відміну від щілинного та смугового, дає змогу отримати найвищий рівень прибутку.

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

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

$$ІДІ_0 = \max_{\{i\}} (ІДІ_i) , i = \overline{1, n} , \quad (7.9)$$

за умови, що

$$\begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДТО_i \geq T_{np}. \end{cases} \quad (7.10)$$

де d_i – норма дисконту за варіантом проектного рішення;

T_{np} – прийнятний для інвестора дисконтний термін окупності вкладів.

Узагальнені результати з визначення економічної ефективності інвестицій при реконструкції та модернізації дренажних систем з

використанням різних технологій та засобів глибокого розпушення за відповідними методами і моделями, наведено в табл. 7.17.

Таблиця 7.17

Основні показники економічної ефективності інвестицій

№ з/п	Показник	Варіанти розпушення			
		Без розпушення	Щілинне	Смугове	Суцільне
1	Індекс прибутковості	0,59	1,03	1,95	3,06
2	Чистий дисконтований прибуток, грн/га	– 4908	377	11369	24708
3	Дисконтований термін окупності, років	–	27	9	5

Здійснені розрахунки з визначення порівняльної економічної ефективності та інвестиційного оцінювання різних варіантів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів підтверджують достатню доцільність їх застосування в проектах реконструкції та модернізації дренажних систем у зоні Західного Полісся України [91; 92; 95; 27; 28; 252].

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

Узагальнені результати порівняльного оцінювання ефективності удосконалених технологій і технічних засобів суцільного глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом з традиційним щілинним розпушенням ґрунту за комплексом різномірних показників складових загальної ефективності відносно варіанту без розпушення ґрунту наведено у табл. 7.18.

Застосування технології та технічного засобу глибокого багатоярусного суцільного розпушення осушеного мінерального ґрунту є високотехнологічною інноваційною розробкою та відповідає сучасним принципам адаптивного землекористування, яке, на відміну від трансформаційного, передбачає максимальне пристосування агро меліоративних заходів до природно-кліматичних та ґрунтових умов, оптимальне залучення в обіг природно-ресурсного потенціалу ландшафтів, розширене відтворення та охорону меліорованих земель.

Таблиця 7.18

Порівняльне оцінювання ефективності удосконалених технологій і технічних засобів суцільного глибокого меліоративного розпушення з традиційним щілинним розпушенням мінеральних ґрунтів за комплексом різнорідних показників

№ з/п	Показники ефективності	Зміна значень показників щодо варіанту без розпушення, %		Зміна значень показників удосконаленої технології щодо щілинного, %
		Традиційне щілинне розпушення	Удосконалене суцільне розпушення	
Агротехнологічні				
1	Щільність ґрунту	−3...−6	−24...−27	−21...−23
2	Шпаруватість ґрунту	+9...+10	+29...+32	+19...+23
3	Акумуляуюча ємність ґрунту	+51...+54	+165...+175	+111...+124
4	Продуктивність вирощуваних культур	+7...+13	+33...+65	+20...+58
5	Термін післядії розпушення, роки	1...3*	3...4*	+100...+300
Енергетичні				
6	Питомі затрати енергії на розпушення до зернистої структури 1 м³ ґрунту, Дж/м³	7,5...8,2*	0,8...0,9*	−88...−90
Вологореґулюючі				
7	Величина інфільтрації на осушуваних землях та її вплив на навантаження роботи дренажа	+9...+18	−21...−22	−30...−40
8	Тривалість відведення надлишкової води дренажем у критичних умовах перезволоження ґрунту	+8...−6	−5...−35	−13...−29
9	Величина живлення активного кореневмісного шару меліорованого ґрунту з рівня ґрунтових вод	+5...+15	−15...−36	−20...−51
10	Продуктивні запаси вологи в меліорованому ґрунті за рахунок підвищення ефективності використання опадів та поливної води	+27...+42	+86...+134	+44...+107
Екологічні				
11	Інтенсивність промивного водного режиму на осушуваних землях	+9...+18	−21...−22	−30...−40
12	Ризик відновлення та розвитку процесу вторинного засолення на зрошуваних землях	+5...+15	−15...−36	−20...−51
Економічні				
13	Термін окупності поточних витрат на розпушення ґрунту в умовах діючої меліоративної системи, роки	1*	1*	−
Інвестиційні				
14	Дисконтований термін окупності інвестицій у проєкт нового будівництва/реконструкції меліоративної системи із застосуванням розпушення ґрунту, роки	24...27*	5...7*	−71...−81

Примітка.* – фактичні значення показників ефективності розпушення ґрунту. Інтервал варіювання значень відображає множинні змінні природо-агро-меліоративні умови реальних об'єктів.

7.7. Висновки до розділу

1. Узагальнені результати оцінювання впливу підвищення акумуляційної здатності меліорованого мінерального ґрунту на основі удосконалених технологій і технічних засобів їх глибокого меліоративного суцільного

розпушення на ефективність використання опадів та поливної води показали, що збільшення акумуляційної здатності ґрунту сприяє:

- істотному підвищенню ефективності використання опадів та поливної води. Таке підвищення за відповідним коефіцієнтом становить +75% від його початкового значення;
 - зменшенню величини інфільтрації, що забезпечує зменшення інтенсивності промивного режиму ґрунту та позитивно впливає на еколого-меліоративний стан земель;
 - збільшенню тривалості підтримання сприятливого водного режиму ($0,5-1,0$) WPh^0 на 20–30% та підвищенню умов вологозабезпеченості ґрунту в цілому.
2. Удосконалені за енергоефективними та вологорегулюючими принципами технологія й засоби глибокого суцільного розпушення, на відміну від традиційних щільного та смугового розпушення, дають змогу пошарово поліпшити макроструктуру активного шару осушуваних мінеральних ґрунтів на достатню глибину щоб через їх щільність і шпаруватість, опосередковано впливати на їх водно-фізичні властивості, які формують водну, повітряну, теплову та інші складові природно-меліоративного режиму ґрунтового масиву, що в свою чергу, позитивно відображається на умовах розвитку агрокультур і їх урожайності.
 3. В цілому підвищення акумуляційної здатності ґрунту на основі його розпушення у *посушливі періоди вегетації* за рахунок підвищення ефективності використання опадів та поливної води сприяє покращенню умов їх вологозабезпеченості, що забезпечує підвищення продуктивності вирощуваних сільськогосподарських культур.
 4. Застосування різних засобів та способів глибокого розпушення забезпечує різні рівні екологічної надійності осушуваних мінеральних ґрунтів. При цьому застосування удосконаленого суцільного розпушення забезпечує коефіцієнт екологічної надійності меліорованого ґрунту на рівні $0,50-0,51$ – *екологічного надійного* його значення, й тим самим забезпечує підтримання сприятливого еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів.
 5. За результатами оцінювання різних технологій глибокого розпушення визначено, що порівняно з традиційними, удосконалені за енергоефективними та вологорегулюючими принципами технології та технічні засоби суцільного глибокого розпушення мають перевагу за всіма основними показниками: агротехнічними, водно-фізичними, енергетичними, технологічними, екологічними та економічними, зокрема, в 6-10 разів зменшилася питома енергоємність робочого процесу розпушення ґрунту, на 6-50% зросла вологоакумулююча здатність ґрунту та в середньому на 27% його вологозабезпеченість, на 20-30% підвищилася врожайність вирощуваних культур, а термін післядії зріс до 4 років. Збільшення вологоакумуляційної здатності розпушеного ґрунту

сприяє підвищенню ефективності використання опадів та зрошувальної води на 30-75%.

6. Удосконалені технології суцільного глибокого розпушення є рентабельним та інвестиційно вигідним адаптивним заходом з покращення вологозабезпеченості меліорованих мінеральних ґрунтів у змінюваних кліматичних умовах. (з окупністю 1 рік), що відповідає сучасним принципам адаптивного землекористування у змінюваних кліматичних умовах та може бути ефективною альтернативою дорогій реконструкції і модернізації існуючих дренажних систем.

ВИСНОВКИ

У роботі теоретично узагальнено наявні підходи й запропоновано нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами для підвищення їх вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану щодо сучасних змінюваних умов та вимог.

2. У розвиток науково-методичних засад щодо удосконалення глибокого меліоративного розпушення за співставленням дії природних і техногенних факторів на меліорований ґрунт показано, що наявні енергетична, продовольча та водна кризи, що загострюються в умовах змін клімату як на планетарному, так і регіональному рівнях, а також зростання вартості енергетичних ресурсів і незадовільний еколого-меліоративний стан осушуваних ґрунтів, зумовлюють необхідність зміни вимог для раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель, зміни підходів до функціонування водогосподарсько-меліоративних об'єктів та застосування ефективних адаптивних щодо змінюваних сучасних умов і вимог агро-меліоративних заходів, спрямованих на енергоефективне регулювання водного режиму, зарегулювання і акумуляцію вологи в ґрунтовому профілі в межах меліоративної системи, підвищення вологозабезпеченості ґрунтів, зокрема, шляхом удосконалення за енергоефективними та вологорегулюючими принципами технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів.

3. У розвиток науково-системних підходів до удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення в структурі меліоративної системи за енергоефективними та вологорегулюючими принципами на основі застосування системної методології встановлено, що визначальними чинниками цих принципів є врахування закономірностей енергетичного взаємозв'язку між параметрами технологічно-конструктивних структурних блоків складної природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи, таких як: фактори впливу на споживчі властивості глибокого меліоративного розпушення, макроструктура розпушеного ґрунту, водно-фізичні властивості ґрунтових шарів, водні потоки, вологоакумулююча та сорбційна здатність ґрунту, навантаження на дренаж, технологічний і робочий процес, конструкція робочих органів і ґрунторозпушувального агрегату в цілому, приріст врожайності агрокультур.

4. За результатами досліджень зміни параметрів макроструктури мінерального ґрунту при розпушенні на основі аналітичного та фізичного моделювання ймовірного просторового розміщення його макроагрегатів отримано закономірності впливу макроструктури ґрунтового середовища на

водно-фізичні властивості, згідно яких встановлено, що найвищі значення коефіцієнта розпушення спостерігаються при відносній вологості ґрунту 10-40%; найбільш енергетично доцільною для підвищення вологоакумулюючих властивостей є орієнтація на дрібногрудочковату структуру розпушеного ґрунту з макроагрегатами розміром 4-5 мм, а для забезпечення більш фільтраційних і частково акумулюючих показників ґрунту – на середньогрудочковату структуру з макроагрегатами розміром 6-25 мм. За експериментальним визначенням енергетичного коефіцієнта пропорційності для теорії Бонда, залежно від типу ґрунту, визначено, що питома енергоємність розпушення ґрунту є обернено пропорційною до розміру його макроструктури після розпушення і становить: для утворення дрібногрудочкової структури – 100-220 кДж/м³, для утворення середньогрудочкової – 50-130 кДж/м³.

5. За розробленими вологорегулюючими принципами обґрунтовано доцільність здійснення суцільного за площею але диференційованого за профілем та глибиною пошарового глибокого розпушення ґрунту до утворення дрібногрудочкової та середньо-, крупногрудочкової макроструктури ґрунту з урахуванням призначення ґрунтових шарів і формуванням різного профілю розпушеної смуги ґрунту, що дає змогу на основі вертикально-горизонтальної переорієнтації низхідних водних потоків шляхом збільшення акумуляційної здатності активного кореневмісного шару ґрунту внаслідок зміни його макроагрегатного стану і водно-фізичних властивостей вплинути на формування водно-повітряного режиму та досягти підвищення ефективності вологорегулювання в різні за умовами тепло- і вологозабезпеченості періоди вегетації зменшення кількості відведення надлишкової вологи та навантаження на дренаж у вологі періоди, а також підвищенням його вологозабезпеченості у посушливі, що забезпечує зростання врожайності вирощуваних агрокультур та сприятливий еколого-меліоративний стан осушуваного масиву.

6. За розробленими енергоефективними принципами обґрунтовано конструкцію удосконаленого глибокорозпушувача, що представляє собою раму з несучими стояками, на яких, для здійснення докритичноглибинної заблокованої розробки окремих шарів ґрунту поярусно закріплені робочі органи у вигляді спряження долота-леміша з увігнутими стріловидними ґрунторозпушувальними елементами змінної кривизни, через форму і параметри якої задається необхідна величина напруження і ступінь подрібнення розроблюваного ґрунту поступовим двостороннім розуцільненням макроагрегатної структури ґрунту згином та розтягом в кожному шарі окремо. Загальна компоновка глибокорозпушувача визначається просторовим рознесенням робочих органів в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

7. За удосконаленими науково-методичними підходами обґрунтовано технологічні параметри глибокого меліоративного розпушення осушуваних

мінеральних ґрунтів (кількість і глибина шарів, площа розпушення, форма профілю, величина макроагрегатів ґрунту) для здійснення суцільного глибокого меліоративного розпушення щодо різних ґрунтових умов та технологічних вимог: для меліорованих ділянок з частково працюючим дренажем, з непрацюючим дренажем, для посушливих періодів, з переуцільненими підорними шарами. Глибоке меліоративне розпушення для ділянок з частково працюючим дренажем є базовим, його суцільним по площі поля і по висоті прямокутного профілю розробки, верхній культурний шар розпушують до утворення середньо- та дрібногрудочкової структури у верхній його чверті та зернистої, дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а нижні шари розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину дещо меншу від глибини залягання дренажу. На відміну від базового, для ділянок з непрацюючим дренажем, розпушення здійснюють з трапецевидним або трикутним профілем розробки; для посушливих періодів у верхній чверті культурного шару здійснюють вертикальне щільювання; для ділянок з переуцільненими підорними шарами здійснюють взаємний обмін суміжних нижніх шарів по горизонтах залягання.

8. За удосконаленими науково-методичними підходами обґрунтовано конструктивні параметри технічних засобів глибокого меліоративного розпушення (ярусність і горизонтальне зміщення робочих органів, їх кількість, форми ґрунторозсікача і робочих органів та їх розміри) глибокорозпушувачів з урахуванням форми профілю розпушення, швидкості руху, водно-фізичних властивостей і відносної глибини розуцільнення ґрунту окремо в кожному шарі. Ярусність конструкції визначається функціональністю ґрунтових шарів та відносною глибиною розуцільнення; найбільш вигідним компонованням глибокорозпушувача за питомими показниками буде 3-ярусний варіант з клиновим розміщенням робочих органів в плані кожного ярусу; значення кінцевого радіусу ґрунторозпушувальних робочих органів для верхніх протиерозійних шарів 0,18...0,22 м, для кореневмісних шарів –0,15...0,18 м, для фільтраційних шарів –0,22...0,25 м; розрахункові значення відносної глибини розуцільнення для доліт крайніх визначальних стояків знаходяться відповідно в межах (при зміні кута різання $\alpha_r=50^\circ \dots 20^\circ$): для тугопластичної глини 1,74...3,12; для напівтвердого суглинку 1,76...3,27; для твердого супіску 1,78...3,75; для напівтвердої глини 1,71...3,08. При загальній ширині захвату робочих органів 2 м, для глибокого розпушення на 0,75 м та робочій швидкості 2 м/с або для розпушення на 0,25 м та швидкості 4 м/с, необхідно мати потужність технічних засобів 170-240 кВт для супіщаних ґрунтів і 390-440 кВт для суглинистих ґрунтів.

9. За результатами порівняльного оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за комплексом різнорідних технічних, технологічних, економічних,

екологічних, інвестиційних параметрів встановлено, що порівняно з традиційними, удосконалені за енергоефективними та вологорегулюючими принципами технології та технічні засоби суцільного глибокого розпушення мають перевагу за всіма основними показниками: агротехнічними, водно-фізичними, енергетичними, технологічними, екологічними та економічними, зокрема, в 6...10 разів зменшилася питома енергоємність робочого процесу розпушення ґрунту, на 6...50% зросла вологоакумулююча здатність ґрунту та на 27% його вологозабезпеченість, на 20...40% підвищилася врожайність вирощуваних культур, а термін післядії зріс до 4 років. Також доведено, що удосконалені технології суцільного глибокого меліоративного розпушення є рентабельним та інвестиційно вигідним адаптивним агротехнічним заходом з окупністю 1 рік, що відповідає сучасним принципам адаптивного землекористування у змінюваних кліматичних умовах та може бути ефективною альтернативою дорогій реконструкції і модернізації існуючих дренажних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація проектування та розрахунків водогосподарсько-меліоративних об'єктів [Електронне видання]: навч. посіб. / А.М.Рокочинський, В.О.Турченко, П.П.Волк, Р.М.Коптюк та ін.; за ред. проф. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2020. 257 с.
2. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту / М.С.Чернілевський, Ю.А.Білявський, Р.Б.Кропивницький, Л.І.Ворона. вид. 2-ге, допов. Житомир: Житомирський національний агроекологічний університет, 2012. 84 с.
3. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (резюме дослідження). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Під ред. Садогурської С.С. Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 32 с.
4. Антощенков Р.В. Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*. 2016. № 2. С. 105-112.
5. Аулін В.В., Тихий А.А. Модель взаємодії дисперсного середовища ґрунту з поверхнею робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*, 2014, вип. 27, 140-149 с.
6. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. – Рівне: РДТУ, 2001. – 367 с.
7. Баландинский В.Л. Динамическое разрушение прочных грунтов. Киев: Будівельник, 1972. 226 с.
8. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. К.: Будівельник, 1988. - 152 с.
9. Барвінський А.В., Тихенко Р.В. Оцінка і прогноз якості земель: підручник. Київ: Медінформ, 2015. 642 с.
10. Бойченко С. Г., Волощук В. М., Дорошенко І. А. Глобальне потепління та його наслідки на території України. *Український географічний журнал*. 2000. № 2. С. 59–66.
11. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. изд. 13-е. М.: Наука, 1986. 544 с.
12. Булгаков В. М. Самоорганізація ґрунтових структур / В. М. Булгаков, Б. А. Шелудченко. – К. : НАУ, 1998. – 58 с
13. Ветохин В.И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і*

- технологій для сільського господарства України: Зб. наукових праць. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2009, Вип. 13(27), Кн.2, С. 30-38.
14. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / В. І. Ветохін; Ін-т механізації та електрифікації сільськ. госп-ва. — Глеваха, 2010. — 40 с.
 15. Ветохін В.І. Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням аспектів процесу деформування ґрунту /Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць Кіровоградського національ. техніч. універ.. – Кіровоград: 2008. Вип. 20. – С.104-109
 16. Ветохін В.І. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт». Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Кіровоград, 2009. Вип. 22. С.119-124.
 17. Ветров Ю.А. Машины для специальных земляных работ: учебное пособие / Ю.А. Ветров, В.Л. Баладинский. Киев: Вища школа, 1980. 192 с.
 18. Ветров Ю.А. Закономерности энергоемкости резания грунтов / Ю.А. Ветров, Ю.П. Пристайло // Горные, строительные и дорожные машины: респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1979. – Вып. 27. – С. 3 – 9.
 19. Ветров Ю.А. Машины для земляных работ / Ю.А. Ветров; под общ. ред. Ю.А. Ветрова. – 2-е изд., дораб. и доп. – Киев : Высшая школа, 1981. – 384 с.
 20. Власенко В. М. Экологические требования к почвообрабатывающим орудиям и посевным машинам. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1993. №9. С. 14-16.
 21. Власюк Ю.Н., Нелюбова О.В. К вопросу о пористости сыпучей среды. *Вестник Приазовского государственного технического университета*: сб. научных трудов. Мариуполь: ПГТУ, 1995. Вып. 1. С. 217-219.
 22. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) / за ред. М.І. Ромашенка, М.А. Хвесика, Ю.О. Михайлова. К., 2015. 46 с.
 23. Водопроникнення ґрунту. Чизель-глибокорозпушувач ЧГ-40. Протокол № 01-18-2018 від 24 липня 2018 р. Функціональні випробування (фокус-тест) ЦВТ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2018.
http://www.ndipvt.com.ua/focus_tests/Chizel_ChG-40_waterpen.pdf

24. Водопроникнення ґрунту. Чизель-глибокорозпушувач ЧГ-40-02. Протокол № 01-17-2018 від 24 липня 2018 р. Функціональні випробування (фокус-тест) ЦВТ УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2018.
http://www.ndipvt.com.ua/focus_tests/Chizel_ChG-40-02_waterpen.pdf
25. Волик Б.А. Методика оцінки якості обробки ґрунту / Б.А.Волик, А.А.Колбасин, Г.В.Хотюн. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 2002. №1. С. 21–23.
26. Волик Б. А. Методика аналітичної оцінки якості розпушення ґрунту комбінованим агрегатом / Б. А. Волик, Г. В. Теслюк, А. М. Пугач // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2015. - Вип. 226. - С. 260-264.
27. Волк П.П., Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Підвищення ефективності функціонування дренажних систем у змінних кліматичних умовах за рахунок розпушення ґрунту. *Водні екосистеми у контексті євроінтеграції: реалії та перспективи*: матеріали міжнародної наук.-практ. конф. приуроченої до всесвітнього дня водних ресурсів, 21-22 березня 2019 р., Житомир: ЖНАЕУ, 2019. С. 61-64.
28. Волк П.П., Рокочинський А.М., Лук'янчук О.П. Шляхи підвищення ефективності використання осушуваних земель зони полісся з урахуванням змін клімату: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Вода для всіх», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 21 березня, Київ, 2019, С. 144-145.
29. Волк П.П., Рокочинський А.М., Тимейчук О.Ю. Теоретичні аспекти системної оптимізації створення та функціонування дренажних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 3(91). С. 3-21.
30. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. –М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.
31. Гавриш В.С. Науково-методичні рекомендації до застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України / В.С. Гавриш, В.Ф. Ткачук, П.І. Мендусь, Г.І. Сапсай та ін. Рівне, 2013. 46 с.
32. ГЕВР, 2015 р. Водні ресурси і забезпечення продовольчої безпеки і харчування. Доповідь групи експертів високого рівня з питань продовольчої безпеки та харчування Комітету з всесвітньої продовольчої безпеки Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, Рим, 2015.

33. Герасімов Є.Г., Рокочинський А.М., Герасимов Г.Г. Підвищення енергетичної та загальної ефективності закритої зрошувальної системи відповідно до сучасних умов та вимог. *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 3(91). С. 40-53.
34. Глиботорозпушувач: пат. 150082 Україна: МПК А01В 13/08, А01В 13/14. № u202104357; заявл. 26.07.21; опубл. 29.12.21, Бюл. №52. 4 с.
35. Гожик І., Ємельянова Ж., Трофімова І., Шерешевський А. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до змін клімату. Київ. 1998. 96 с.
36. Гошко О.В. Підвищення якості обробітку дерново-підзолистих ґрунтів Полісся // *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН*. №3, 1997. – С. 72-75.
37. Гришко В.В., Перебийніс В.І., Рабштина В.М. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління). Полтава: ВАТ «Видавництво «Полтава», 1996. 280 с.
38. Гудзь В. П., Лісовал А. П., Андрієнко В. О., Рибак М. Ф. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії: Підручник / за редакцією В. П. Гудзя.– К.: Центр учбової літератури, – 2007. – 408 с.
39. Гудзь В. П., Примак І. Д., Будьонний Ю. В., Танчик С. П. Землеробство: Підручник. 2-ге вид. перероб. та доп. / За ред. В. П. Гудзя. – К.: Центр уч. літератури, – 2010. – 464 с.
40. Гуков Я.С. Грицишин М.І. Погорілий Л.В. та ін. Концепція розроблення системи машин для виробництва сільськогосподарської продукції // *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН*. №9, 2002. – С. 48-50.
41. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-прінт, 1999. –280 с.
42. Гуков Я.С. Проблеми обробітку ґрунту і шляхи їх розв'язання // *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН*. №1, 1996. – С. 28-30.
43. ДБН. В 2.4-1-99 Меліоративні системи та споруди. – К., 1999. – 174 с.
44. Дубінець В.В. Аналіз стану використання осушених земель Житомирської області. Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб., Київ: КНУБА, 2017. Вип. 63, С. 140-146
45. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН*. №1, 2001. – С. 58-62.

46. Дяченко Л.А., Мороз М.С. Аналіз різних систем обробітку ґрунту. *Матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції «Інженер третього тисячоліття» (м. Ніжин, 19 листопада 2018 р.)*. ВП НУБіП України. Ніжин, 2018. С. 34-39.
47. Євтушенко Т.В. Відновлення родючості чорноземів типових Лісостепу України за застосування ґрунтозахисних технологій: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.03 / Євтушенко Тихін Вячеславович ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. - Київ, 2019. - 22 с.
48. Караєв О.Г. Проектування поверхонь робочих органів машин, які взаємодіють з ґрунтом / Караєв О.Г., Матковський О.І., Чижигов І.О., Рубцов Н.О. // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць, Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, Вип. 19. 2020, С. 70-78.
49. Карионов Ю. И. Оценка точности матрицы высот SRTM. *Геопрофи*. 2010. № 1. С. 48–51.
50. Киндерис З. Б. Осушение земель в условиях холмистого рельефа. М.: Колос, 1983. 175 с.
51. Коваленко П.І., Яцик М.В., Поляков В.П. Управління вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур на меліорованих землях з урахуванням динаміки факторів зовнішнього середовища //Меліорація і водне господарство. 1996. Вип. 82. С. 3-12.
52. Коваль А.Б., Мусійко В.Д., Лейченко Ю.Б. Основи синтезу компонувальної схеми універсальних землерийних машин безперервної дії // Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4.38 Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska): Politechnika Rzeszowska, 2015. – S. 263–268.
53. Кожушко Л.Ф. Удосконалення дренажних систем: монографія. Рівне: Вид-во РДТУ. 2001. 280 с.
54. Кожушко Л.Ф., Кравец С.В., Попроцкий В.Н. и др. Глубокое объемное рыхление тяжелых слабоводопроницаемых почв. - Ровно: ЦНТИ, 1990. - 16с.
55. Козаченко О.В. Проблеми ресурсозбереження у сільсько-господарських агрегатах: наукове видання. Харків: Торнадо, 2008. 272 с.
56. Козловський Б.І. Меліоративний стан осушуваних земель західних областей України: монографія. Львів: Євросвіт, 2005. 420 с.
57. Коковіхін С.В., Писаренко П.В., Грабовський П.В. Енергетична оцінка елементів технології вирощування пшениці твердої озимої в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал*. Вип. 77. Херсон: Грінь Д.С., 2011. 74-78 с. ISSN 2226-0099.

58. Коломієць М.В. Оптимізація обробітку ґрунтів лісостепу: наукові та прикладні аспекти // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №1, 1998. – С. 12-16.
59. Концептуальні основи плану управління посухами в Україні / М.В. Яцюк, Т.І. Адаменко, М.І. Ромащенко, Г.М. Цветкова, Ю.Т. Колмаз, М.І. Кульбіда, А.Л. Прокопенко, Р.В. Сайдак, О.О.Сидоренко. Київ. 2021. ISBN 978-617-8184-01-8.
<https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/424?show=full>
60. Коптюк Р.М., Будз М.Д., Рокочинський А.М. Вплив нерівномірності рельєфу на будівництво та реконструкцію осушувальних систем. *Меліорація і водне господарство* : міжвідом. темат. наук. зб. К. : Аграрна наука, 2011. Вип. 99. С. 98–102.
61. Коптюк Р.М., Рокочинський А.М. Оцінка меліоративної ефективності рельєфу місцевості в проектах будівництва та реконструкції осушувальних систем // Вісник національного університету водного господарства та природокористування: Зб. наук. праць. – Рівне, 2015. – Вип. 3 (71). – Ч.2. – С. 325-331.
62. Коротун С.І. Еколого-географічна оцінка стану меліорованих земель регіону (на прикладі Рівненської області) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: спец. 11.00.11 Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів / С.І.Коротун, – Рівне, 2007. – 20 с.
63. Кравец С.В. Принципы конструирования многоярусных рабочих органов для глубокой разработки талых грунтов / С.В.Кравец, В.Ф.Ткачук, А.Л.Романовский, А.А.Нечидюк. Строит. и дор. маш., 1994. №5. С. 15–18.
64. Кравець С.В. Визначення критичної глибини різання ґрунту боковими різцями (зубами) траншейних екскаваторів / С.В.Кравець, О.П.Лук'янчук, О.В.Косяк, О.О.Гапонов, Т.О.Янчик // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация раб. проц. строит. и дор. машин. Днепр: ГВУЗ ПГАСА, 2019. №107. С. 75...84.
65. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
66. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Рівне: НУВГП, 2008. 124 с.: ISBN 978-966-327-100-2
67. Кравець С.В., Кирикович В.Д., Блажієвський В.С. Визначення критичної глибини різання при напівблокованому різанні ґрунту. Вісник Націон.

ун-ту водного госп. та природокористування.: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2007, вип. 3(ч.2), с.220–225.

68. Кравець С.В., Кованько В.В., Лук'янчук О.П. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв: монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 322 с.
69. Кравець С.В., Лук'янчук О.П. Аналітичне моделювання еліптичного перерізу конструктивного елемента у вигляді конуса. *VI Міжнародна науково-практична конференція "Priority directions of science and technology development"*, 20-22 лютого, 2021, Київ, Україна. С. 223-225.
70. Кравець С.В., Лук'янчук О.П. Визначення максимальної глибини транспортування ґрунту на денну поверхню при багаторусній розробці. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції, 9-11 листопада 2020 р., Рівне: НУВГП, 2020. С.14-15. URL: [https://ep3.nuwm.edu.ua/19182/1/Tezu II VNTI Rivne 2020.zax.pdf](https://ep3.nuwm.edu.ua/19182/1/Tezu%20II%20VNTI%20Rivne%2020.zax.pdf)
71. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Хомич А.В. Конструкція та параметри двоярусного критичноглибинного розпушувача. *VI Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*, збірник тез, Житомир, 2020. С. 119-122.
72. Кравець С.В., Лук'янчук О.П. Аналіз математичної моделі впливу швидкості на процес глибокого різання ґрунтів. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація роб. проц. буд. і дор. машин. Збірник наукових праць*. Дніпропетровськ: ДВУЗ ПДАБА, 2018. Вип. 103. С. 62-68.
73. Кравець С.В., Лук'янчук О.П. Закономірності зміни щільності і напружень у ґрунті вздовж деформуючих камер багаторусного робочого органа. *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2009. Вип. 4 (48). С. 17-22.
74. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Косяк О.В. Визначення оптимальної форми і динамічного опору розсікача ґрунтового потоку. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2010. Вип. 1(49). С. 94-99.
75. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Косяк О.В. Удосконалення принципу створення землерийно-ярусних машин. *Вісник Харківського національного авт.-дор. університету*, Харків: ХНАДУ, 2013. Вип. 57. С. 30-35.
76. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Романовський О.Л., Косяк О.В.

- Визначення зусилля деформування ґрунту багатоярусними робочими органами. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація роб. проц. буд. і дор. машин. Збірник наукових праць.* Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 61-68.
77. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Савін Р.М. Вплив швидкості на процес глибокого різання ґрунтів. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація роб. проц. буд. і дор. машин.* Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 51-57.
78. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Хомич А.В. Вплив конструктивних параметрів двоярусного критичноглибинного розпушувача на зусилля опору різання ґрунту. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць.* Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 1(89). С. 177-189.
79. Кравець С.В., Скоблюк М.П., Стіньо О.В., Зоря Р.В. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі (наукові основи створення): Монографія / За загальною редакцією С.В. Кравця. Рівне: НУВГП, 2018. – 235 с. ISBN 978-966-327-384-6.
80. Кравець С.В., Стіньо О.В. Визначення критичної глибини різання при комбінованому поярусному руйнуванні ґрунту. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. «Интенсификация. раб. проц. строит. и дор. машин»,* вып. 72, – Дн-ск: ПГАСА, 2013, с.128–137.
81. Кушнарєв А. С. Механико-технологические основы обработки почвы / А. С. Кушнарєв, В. И. Кочев – К. : Урожай, 1989. – 144 с
82. Лещенко С.М., Сало В.М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2015, вип. 28. ISSN 2409-9392
83. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського нац. техн. ун-ту. 2018. Вип. 31. С. 10–20.
84. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І. Оцінка ефективності глибокого безполицевого обробітку ґрунту / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. - Вип. 50. - С. 3-11.
85. Липець Е., Медведєв В.В., Линдіна Т.Є. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №5, 2002.

– С. 11-15.

86. Ліщук Н.М. Оцінка стану земель меліоративного фонду Волинської області та обґрунтування способів його оптимізації / Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр. Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, Луцьк, 2012. № 9. С. 83-89.
87. Лозовіцький П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів: Підручник. Київ. 2014. 528 С.
88. Лук'янчук О.П. Робочий орган для глибокого диференційованого оструктурування ґрунту: матеріали XVIII наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя, 29-30 жовтня 2014 р., Тернопіль, 2014. С. 40-41.
89. Лук'янчук О.П., Волк П.П. Підвищення дренажності та рівномірності фільтрації по площі та профілю карт-чеків на основі глибокого розпушення ґрунтів рисових зрошувальних систем. *Рисові зрошувальні системи України: підвищення ефективності їх функціонування: колективна монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН В. А. Сташука, д.с.-г.н., проф., акад. НААН Р. А. Вожегової, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського. – Київ-Херсон-Рівне: НУВГП, 2023. С. 278-291. <https://ep3.nuwm.edu.ua/25344/1/Монографія%20по%20рису%202023%20zah.pdf>*
90. Лук'янчук О.П., Волк П.П., Рокочинський А.М. Необхідність та можливі підходи до удосконалення засобів глибокого розпушення меліорованих ґрунтів у змінних кліматичних умовах. *The Third International scientific congress of scientists of Europe. Proceedings of the III International Scientific Forum of Scientists "East-West"* (January 11, 2019). Premier Publishing s.r.o. Vienna. 2019. pp. 477-453. ISBN 978-3-903197-91-6.
91. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Адаптивний агро меліоративний захід для осушуваних мінеральних ґрунтів у змінюваних кліматичних умовах. *Матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євроінтеграція екологічної політики України»*. Одеса: Одеський державний екологічний університет. 2022. с. 321-324.
92. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Адаптивні заходи для раціонального використання водних ресурсів продуктивних земель в змінюваних природних умовах. *Стратегічні пріоритети розвитку науки, освіти та суспільства: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції* (Полтава, 22 червня 2022 р.): у 2 ч. Полтава: ЦФЕНД, 2022. Ч. 2. С. 18-19.
93. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Вдосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі системної методології. *Вісник НУВГП. Технічні*

- науки: зб. наук. праць. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 2(98). С. 158-167.
94. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Ефективність удосконаленого глибокого розпушення мінеральних ґрунтів як адаптивного агрономеліоративного заходу у змінюваних природних умовах. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «ІННОВАЦІЇ: теорія і практика»*. Кропивницький: Академія Прикладних наук. 2022. с. 66-68.
95. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Теоретичні передумови удосконалення глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за критерієм енергоефективності *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 3 (99). С. 3-13.
96. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М. Порівняльне оцінювання різних технологій глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах Західного Полісся України. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2022. Вип. 4 (100). С. 13-33.
97. Лук'янчук О.П. Аналіз критеріїв якості та енергоємності структурного розпушення ґрунтів. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2013. Вип. 1(61). С. 172-182.
98. Лук'янчук О.П. Аналіз тягового опору багатоярусного глибокорозпушувача при різній компоновці. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип. 1(93). С. 158-167. <https://doi.org/10.31713/vt1202112>.
99. Лук'янчук О.П. Моделювання структури розпушеного ґрунту для акумуляції та фільтрації ґрунтового стоку. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: збірник наукових праць*. Херсон: ХДАЕУ, 2022. Вип. 4. С. 52-57.
100. Лук'янчук О.П. Моделювання структури розпушеного ґрунту після дії криволінійним робочим елементом ярусного глибокорозпушувача. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2019. Вип. 2(86). С. 225-238.
101. Лук'янчук О.П., Косяк О.В. Результати експериментальних досліджень багатоярусного робочого органа укладача підземних комунікацій. *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Технічні науки*. Рівне: НУВГП, 2015. Вип. 2(70). С. 325-330.
102. Машины для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке [та ін.] ; під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. - Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. - 575 с.

- 103.Медведєв В. В. Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин / В.В. Медведєв, П.И. Слободюк, В.Ф. Пашенко. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1987, №3. – С. 6–8.
- 104.Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
- 105.Медведєв В.В. Структура ґрунту як екологічний чинник. Вісник ХНАУ. 2009. Вип. 3. С. 25-31.
- 106.Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). — Харьков: Изд. «13 типография», 2008. —406 с.
- 107.Медведєв В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В. Фізика ґрунту . Навчальний посібник . К.: Видавництво, 2018.- 289 с.
- 108.Медведєв В.В., Лактіонова Т.М., Почепцова Л.Г., Ламар Р. Інноваційні тенденції в обробі ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до VII з'їзду УТГА*. Книга перша. Харків, 2006. С. 79-94.
- 109.Медведєв В.В. Нормативи утворення і збереження структури ґрунту / В. В. Медведєв // Вісник аграрної науки. - 2010. - № 3. - С. 9-13.
- 110.Медведковський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. - К.: Урожай., 1988, - 206 с.
- 111.Медведковський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 208 с.
- 112.Мелиорация и использование осушенных земель / В. Е. Алексеевский, Н. И. Васюк [и др.] ; под ред. В. Е. Алексеевского. – Киев: Урожай, 1988. – 184 с.
- 113.Меліорація та облаштування Українського Полісся: колективна монографія / за ред. д.с-г.н., професора, акад. НААН Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член-кор. НААН В. А. Сташука, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. 932 с.
- 114.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)* / А.М. Рокочинський та ін. Рівне. 2008. 64 с.

- 115.Методичні рекомендації щодо екологічно оптимальних режимів меліорованих ґрунтів гумідної зони України / С. Т. Вознюк, А. М. Рокочинський, В. С. Мошинський, В. А. Сташук та ін. Рівне, 2005. 50 с.
- 116.Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. 380с.
- 117.Мольчак Я.А. Дождевой сток зоны избыточного увлажнения Украины (исследования и расчеты). Львов : Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 1984. 144 с.
- 118.Мошинський В.С. Методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель: монографія. Рівне: НУВГП, 2005. 250 с.
- 119.Мусійко В. Д. Масштабні ефекти при фізичному моделюванні процесів різання ґрунтів // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. Технічні науки. Рівне : НУВГП, 2015. Вип. 2 (70). С. 112–119.
- 120.Мусійко В.Д. Фізико-математичне моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії // Вісник НТУ. – К., 2015. – Вип. 1 (31). – С. 385–394.
- 121.Наказ № 108 від 16.04.2008 «Про затвердження Інструкції з організації та здійснення моніторингу зрошуваних та осушуваних земель» Державний комітет України по водному господарству [Електронний ресурс].
http://www.uazakon.com/documents/date_33/pg_gncnwm/index.htm
- 122.Науково-методичні рекомендації щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах / за заг. ред. В.А. Сташука, А.М. Рокочинського, П.П. Волка. – Рівне : НУВГП, 2021. – 113 с. ISBN 978-966-327-509-3.
- 123.Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 10. Украинская ССР. Книга 1. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 608 с.
- 124.Обґрунтування ефективної проектної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем : посібник до ДБН В.2.4-1-99 *Меліоративні системи та споруди (Розділ 3. Осушувальні системи)* / А. М. Рокочинський та ін. Рівне. 2006. 50 с.
- 125.Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. Киев: Наукова думка, 1987. –280с.

126. Олейник В.С. Водно-физические свойства переувлажнённых минеральных почв Западного Полесья УССР и их улучшение в условиях дренажа. Автореф. дисс....канд. с.-х. наук. Киев. 1974. 27 с.
127. Основні показники технічної експлуатації осушувальних систем і використання меліорованих земель Волинського обласного управління меліорації і водного господарства. Луцьк, 2009. 44 с.
128. Основні показники технічної експлуатації осушувальних систем і використання меліорованих земель Рівненського обласного управління меліорації і водного господарства. Рівне, 2009. 56 с.
129. Панов И.М. Почвообрабатывающая техника: состояние и проблемы развития // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №11, 2003. – С. 9-11.
130. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: монография. К.: Феникс, 2008, 266с. ISBN 978-966-651-621-6
131. Панченко А.Н. Повышение качества сплошной обработки почв почвообрабатывающими орудиями // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. Січень 1998. – С. 36-40.
132. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск: ДГАУ, 1999. 140 с.
133. Пастухов В.І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати. Харків: Ранок-НТ, 2003. 100 с.
134. Пащенко В. Ф. Математична модель напруженого стану ґрунту під впливом клину / В. Ф. Пащенко, В. В. Кім, М. С. Храмов // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2017. Вип. 6. С. 32-43.
135. Петренко Л.Р., Вітвіцький С.В., Булигін С.Ю., Богданович Р.П. Управління ґрунтовими режимами. Київ: НУБіП. 2017. 368 с.
136. Петроченко В. І. Дослідження процесу ступеневого різання ґрунтів робочими органами меліоративних машин / В. І. Петроченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2014. - Вип. 99(1). - С. 326-340.
137. Петроченко В.І., Гринько П.В., Музика О.П. Основні напрями вдосконалення робочих органів меліоративних розпушувачів / Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99. С. 291-305.
138. Пивовар В. Глибкорозпушувачі. Інформаційно-аналітична газета «Агробізнес Сьогодні». Механізація АПК, 2011. / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/847-hlybokorozpushuvachi.html>

139. Піковська О. В. Вплив мінімізації обробітку ґрунту на структурний стан чорнозему звичайного. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія*. 2013. Вип. 183(2). С. 193-197. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvna_u_agr_2013_183%282%29__35
140. Пліско І.В. Вплив добрив, способів обробітку та агрофізичних параметрів чорноземного ґрунту на врожай культур. *Вісник ХНАУ*. 2004. Вип. 6. С. 251-256.
141. Політика підвищення енергоефективності: передовий досвід. Аналіз існуючих оптимальних підходів до підвищення енергоефективності з метою пом'якшення зміни клімату та сталого розвитку. Женева, 2015, Видання ООН. 85 с. ISBN 978-92-1-362846-1. URL: https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/geee/pub/ECE_ENERGY_100_Rev.1_R.pdf (дата звернення: 15.07.2020).
142. Постельняк А. А. Оцінювання точності висот цифрових моделей рельєфу SRTM та ASTER GDEM. *Вісник геодезії та картографії*. – 2013. № 4. С. 17–21.
143. Приходько Н.В., Ричко Д.М., Лук'янчук О.П., Волк Л.Р., Волк П.П., Рокочинський А.М. Покращення вологозабезпеченості меліорованих угідь у змінюваних кліматичних умовах на основі підвищення вологоакумуляційної здатності ґрунту. В кн.: *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії: збірник наукових праць*. – Кропивницький-Херсон: ХДАЕУ, Вип. 6, 2024. – 174 с. С. 121-127.
144. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів № 932-р від 7.12.2016 р. <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/249573705> (дата звернення 29.04.2020).
145. Ратошнюк Т. М., Ратошнюк В. І., Мартинюк М. А. Еколого-економічні проблеми раціонального сільськогосподарського землекористування. *Стратегія розвитку України: науковий журнал* № 1 (2012). [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/SR/article/view/6128>.
146. Робочий орган вологоакумулюючого глибокорозпушувача: пат. 123601 Україна: МПК E02F 5/32, A01B 13/16, A01B 13/08, E02F 5/32. № u201711483; заявл. 23.11.17; опубл. 26.02.18, Бюл. 4. 4 с.
147. Робочий орган глибокорозпушувача для концентрованого акумулювання ґрунтової вологи: пат. 129959 Україна: МПК A01B 13/16, A01B 13/08, E02F 5/32. № u201804339; заявл. 20.04.18; опубл. 26.11.18,

Бюл. 22. 4 с.

- 148.Робочий орган глибокорозпушувача: пат. 122823 Україна: МПК А01В 13/16, А01В 13/08, Е02F 5/32. № u201708369; заявл. 14.08.17; опубл. 25.01.18, Бюл. 4. 4 с.
- 149.Робочий орган розпушувача для внесення меліорантів: пат. 117243 Україна: МПК Е02F 5/10, А01В 27/00. № u201612623; заявл. 12.12.16; опубл. 26.06.17, Бюл. 17. 4 с.
- 150.Робочий орган розпушувача-оструктурювача: пат. 104774 Україна: МПК А01В 13/16, А01В 13/08, Е02F 5/32. № a201204112; заявл. 03.04.12; опубл. 11.03.14, Бюл. 5. 4 с.
- 151.Робочий орган укладача-розпушувача: пат. 72964 Україна: МПК Е02F 5/10. № 2002097638; заявл. 24.09.02; опубл. 16.05.05, Бюл.5. 4 с.
- 152.Робочий орган укладача-розпушувача: пат. 76118 Україна: МПК Е02F 5/10. № 2006021608; заявл. 24.02.03; опубл. 17.07.06, Бюл.7. 4 с.
- 153.Розпушувач ґрунту: пат. 116000 Україна: МПК А01В13/16 А01В13/08, А01В35/22. № u201608985; заявл. 22.08.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. 9. 4 с.
- 154.Рокочинський А. М., Антонов О. Д., Шалай С. В. Інженерні вишукування для водогосподарського та природоохоронного будівництва : навч. посібник / за редакцією проф. А. М. Рокочинського. Рівне : НУВГП, 2010. 173 с.
- 155.Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М. та ін. Формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агро меліоративних умов/ Меліорація і водне господарство, № 1, 2020, с. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-231>
- 156.Рокочинський А.М., Турченко В.О., Волк П.П. та ін. Водопотреба супутніх культур на рисових зрошувальних системах / Меліорація і водне господарство, № 1, 2020, с. 102-111.
DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-232>
- 157.Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / за ред. акад. УААН М. І. Ромащенко. Рівне: НУВГП, 2010. 351 с.
- 158.Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М., Приходько Н.В. Формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агро меліоративних умов. *Меліорація і водне господарство*, 2020, (1), С. 76-85.

<https://doi.org/10.31073/mivg202001-231>.

- 159.Рокочинський А.М., Турченко В.О., Волк П.П., Лук'янчук О.П. Нові енергоощадні технології та засоби глибокого розпушення для ефективного використання зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Наукове забезпечення та практичний досвід ґрунтозберігаючого землеробства*: збірник матеріалів засідання Круглого столу, присвяченого Всесвітньому дню ґрунтів. Херсон: ІЗЗ НААН, 2020. 84-86 с.
- 160.Ромашенко М., Гусєв Ю., Шатковський А., Сайдак Р., Яцюк М., Шевченко А. та Матіаш Т. (2020). Вплив зміни клімату на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. Меліорація та управління водними ресурсами, (1), 5-22.
<https://doi.org/10.31073/mivg202001-235>.
- 161.Ромашенко 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. К. : Інститут гідротехніки і меліорації УААН. 2003. 46 с.
- 162.Ромм Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород. М.: Недра, 1985, 241 с.
- 163.Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні. Київ: ТОВ ВД "ЕКМО", 2007. 42 с.
- 164.Сакун В.А., Лобачевский Я.П. и др. Тенденции развития плугов и орудий для гладкой вспашки // Обз. инф. Сельскохозяйственные машины и орудия. Сер. 2, ЦНИИТЭИтракторсельмаш. 1989. Вып. 4.
- 165.Сало В. М. Оцінка показника кришення ґрунту при основному безполицевому обробітку / В. М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. - Кіровоград: КНТУ, 2006. - Вип. 36. - С. 35-40.
- 166.Сало В. Технічне забезпечення процесів глибокого розпушування ґрунту / В. Сало, С. Лещенко // Пропозиція: український журнал з питань агробізнесу. Інформаційний щомісячник. – 2015. – № 10. – С.122-124.
- 167.Сапсай Г.І., Бадинський Л.О., Величко С.В. Гідрологічна дія закритого дренажу при зміні його технічного стану: Монографія. Івано-Франківськ: НДІР, 2013. 128 с.
- 168.Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 115481, Україна. Комп'ютерна програма «Програмний комплекс з обґрунтування проєктних рішень при створенні та функціонуванні водогосподарсько-меліоративних об'єктів» / Коптюк Р. М., Рокочинський А. М., Волк П.

П. Дата реєстрації 27.10.2022 р.

169. Сельскохозяйственные мелиорации / Под ред. С.М. Гончарова, С.М. Коробченко. К.:Выща школа, 1985. – 382 с
170. Сисолін П., Сало В. Уніфіковані ґрунторозпушувачі для захисних систем землеробства // Техніка АПК: Науково-технічний журнал. №2, 2000. – С. 12-15.
171. Смирнов А. М., Алексеева Ю. С. Экспериментальные исследования влияния глубокого рыхления на работу дренажа. — Сборник трудов СевНИИГиМ, - Л., 1979, С.178-184.
172. Соколов В. О. Дослідження особливостей конструкції агромеліоративних розпушувачів шляхом аналізу запатентованих розробок / В. О. Соколов, М. О. Бублик, Л. А. Фризюк // Садівництво. 2012. Вип. 65. С. 229-234. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sadiv_2012_65_34
173. Спосіб визначення довжини лемеша: пат. 151279 Україна: МПК E02F 5/18. № u202200115; заявл. 13.01.21; опубл. 29.06.22, Бюл. №26. 4 с.
174. Спосіб глибокого розпушення ґрунту в посушливих регіонах: пат. 148115 Україна: МПК A01B 13/14, A01B 79/00. № u202008013; заявл. 15.12.20; опубл. 07.07.21, Бюл. 27. 4 с.
175. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі: пат. 61783 Україна, A01B79/00, № 2003043643; заявл. 22.04.03; опубл. 17.11.03; Бюл. №11. 4 с.
176. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі: пат. 70108 Україна, A01B79/00, № 20031212532; заявл. 26.12.03; опубл. 15.09.04; Бюл. №9. 4 с.
177. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліорованих землях: пат. 143375 Україна: МПК A01B 13/14, A01B 37/00, A01B 79/00. № u202000978; заявл. 17.02.20; опубл. 27.07.20, Бюл. 14. 4 с.
178. Спосіб глибокого розпушення ґрунту: пат. 147551 Україна: МПК A01B 13/14, A01B 37/00, A01B 79/00. № u202008018; заявл. 15.12.20; опубл. 19.05.21, Бюл. 20. 4 с.
179. Спосіб глибокого розпушення ґрунту: пат. 150485 Україна: МПК A01B 79/00, A01B 13/14, A01B 49/02. № u202105250; заявл. 16.09.21; опубл. 23.02.22, Бюл. №8. 4 с.
180. Спосіб різноглибинного механічного обробітку ґрунту: пат. 109646 Україна, A01B79/00, A01B 49/02, № u201602939; заявл. 22.03.16; опубл. 25.08.16, Бюл. №16. 4 с.

- 181.Ст. 32 ЗУ Про охорону земель зі змінами 2023 року №962-IV від 19.06.2003, редакція від 27.05.2021
https://urst.com.ua/pro_okhoronu_zemel/st-32
- 182.Ст. 7 ЗУ Про меліорацію земель (зі змінами 2023 року), №1389-XIV від 14.01.2000, редакція від 27.05.2021
https://urst.com.ua/pro_melioratsiiu_zemel/st-7.
- 183.Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. К.: Вища школа. Изд-во при КГУ, 1984. 128 с.
- 184.Стахів О.А. Енергетична оцінка ефективності аграрного природокористування на торфових ґрунтах Західного Полісся України: автореф. дис. ... канд. економічних наук, Київ, 2001. 20 с.
- 185.Стратегія зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року. Схвалено Кабінетом Міністрів України, 2019. № 688-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/688-2019-%D1%80#Text>
- 186.Тараріко Ю.О. Біоенергетична оцінка сільськогосподарського виробництва (науково-методичне забезпечення) / Ю. О. Тараріко, О. Ю. Несмашна, О. М. Бердніков, Л. Д. Глущенко, Г. І. Личук та ін. Київ: Аграрна наука, 2005. 200 с.
- 187.Тараріко Ю.О., Несмашна О.Є., Глущенко Л.Д. Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: Методичні рекомендації. К.: Нора-прінт, 2001. 60 с.
- 188.Тимчасові рекомендації з оптимізації водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції водогосподарсько-меліоративних об'єктів / А.М.Рокочинський, В.А.Сташук, Дупляк В.Д., Н.А. Фроленкова, П.П. Волк та ін. – Рівне, 2010. – 52с.
- 189.Тимчасові рекомендації з оцінки інвестиційних проєктів будівництва і реконструкції водогосподарських об'єктів та меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова, Р. М. Коптюк та ін. Рівне, 2013. 43 с.
- 190.Тимчасові рекомендації з прогновної оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проектах будівництва й реконструкції меліоративних систем / А. М. Рокочинський, В. А. Сташук, В. Д. Дупляк, Н. А. Фроленкова, Р. М. Коптюк та ін. Рівне, 2011. 54 с.
- 191.Тищенко С. С. Основи проектування адаптивних поверхонь робочих органів для диференціації процесів обробітку ґрунту : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / С. С. Тищенко / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. — К., 2011. — 40 с.

- 192.Ткачук В.Ф., Кравец С.В., Кравец Л.Б. Определение критической глубины резания грунта ножом. Горн., строит., дор. и мелиорат. машины: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1987. – Вып. 40. – С. 22–28.
- 193.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П. Агромеліоративний глибокорозпушувач. Водне господарство України: Науково-технічний часопис. 2005. №1/2. С.34-37.
- 194.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Рижий О.П. Агромеліоративні багатоярусні глибокорозпушувачі: Монографія. Рівне, 2011. 190 с.
- 195.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Степанюк А.А. Принцип побудови робочих поверхонь багатоярусних робочих органів для диференційованого розпушення. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукраїнський зб. наук. праць. Київ: КНУБА, 2005. Вип. 66. С. 60–64.
- 196.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Степанюк А.А., Хіміч О.В. Розподіл силових реакцій на ґрунторозпушувальній поверхні жолобовидного безвідвального типу. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2005. Вип. 3 (31). С. 373-378.
- 197.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Форсюк С.П., Музичук І.М. Визначення нормальних і тангенціальних напружень при згині анізотропних матеріалів. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2006. Вип. 2 (34). Ч. 2. С. 145-150.
- 198.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П. Подрібнення ґрунту робочими органами з певною кривизною Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту “Удосконалення будівельних, колійних та перевантажувальних машин”, Харків, 2008. Вип. 88. С. 63-69.
- 199.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Мельник А.В. Дослідження моделі подрібнення ґрунтової скиби на кривизні робочих поверхонь ґрунторозпушувача. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2008. Вип. 2 (42). Ч. 1. С. 374-380.
- 200.Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Форсюк С.П. Про деякі закономірності руйнування анізотропних матеріалів згином. Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2007. Вип. 3 (39). Ч. 2. С. 252-257.
- 201.Третяк Н.А., Третяк Р.А., Шашула Л.О. Зарубіжний досвід використання осушених земель для України. Економіка природокористування і охорони довкілля: Зб. наук. пр. К.: ДУ ІЕПСР НАН України, 2017. С. 148-155.

202. Турченко В.О., Рокочинський А.М., Лук'янчук О.П. Щодо можливості застосування глибокого розпушення при вирощуванні рису: матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Природа для води», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2018 р., Київ. 2018. С. 217-220.
203. Турченко В.О., Рокочинський А.М. Теоретичні та практичні аспекти системної оптимізації функціонування рисових зрошувальних систем на еколого-економічних засадах. *Вісник НУВГП. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2018. Вип. 1(81). С. 3-11.
204. Тютюнник Д.А. Глибокий обробіток в меліоративному комплексі на важких перезволожених ґрунтах // *Вісн. с.-г. науки*. 1977. № 11. С. 60-63.
205. Тютюнник Д.А. Методичні рекомендації щодо застосування глибокого розпушення на мінеральних суглинних ґрунтах, осушених гончарним дренажем. – К.: УкрНИИГіМ. - 1996. - 44 с
206. Хлапук М.М., Тищенко О.І. Підвищення ефективності і надійності осушувально-зволожувальних систем // *Вісник інженерної академії України*. 2003. Вип. 2. С. 57-65.
207. Хмара Л.А. Интенсификация рабочих процессов навесных рыхлителей // *Строительные и дорожные машины*. №9, 1993. С. 32-34.
208. Чернёнок В.Я., Брусиловский Ш.И., Глубокое рыхление осушаемых тяжёлых почв. М.: Колос, 1983. 63 с.
209. Шве́ц В.Б., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. Справочник по механике и динамике ґрунтов. Киев: Будівельник, 1987.
210. Шевченко И. А. Обоснование геометрических параметров ступенчатых рабочих органов глубокорыхлителей для почв юга Украины /И.А. Шевченко: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1987. 20 с.
211. Шевченко І.П., Коломієць С.С. Динаміка вертикального вологообміну ґрунтів при різних способах їх обробітку у системі контурно-меліоративного землеробства // *Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН*. №6, 1998. – С. 5-9.
212. Шелудченко Б. А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир, Полісся, 1992. – 249 с.
213. Юрчук В.П., Ветохін В.І. До питання обґрунтування форми профілю знаряддя для смугової основної обробки ґрунту // *Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійський державний агротехнічний університет*, Вип. 4. т. 44. Мелітополь: ТДАГУ, 2009. С. 3-8.
214. Яровенко В.В., Зінченко В.І., Женченко К.Г. Способи обробітку ґрунту і розміщення насіння бур'янів по шарах ґрунту // *Вісник аграрної науки*:

Науково-теоретичний журнал УААН. №8, 1997. С. 5-7.

215. Abdollahi Lotfollah, Munkholm Lars J. Tillage System and Cover Crop Effects on Soil Quality: I. Chemical, Mechanical, and Biological Properties. Soil Science Society of America Journal; Madison Vol. 78, Iss. 1, (Jan/Feb 2014); 262-270. doi:10.2136/sssaj 2013.07.0301
216. Adger W. N. Vulnerability: Global environmental change. 2006. V. 16, p. 268–281.
217. Agriculture and Climate Change: Policy Imperatives and Opportunities to Help Producers Meet the Challenge. 2019. Washington D.C., National Sustainable Agriculture Coalition. 70 P.
[https://sustainableagriculture.net/wp-content/uploads/2019/11/NSAC-Climate-Change-Policy-Position_paper-112019 WEB.pdf](https://sustainableagriculture.net/wp-content/uploads/2019/11/NSAC-Climate-Change-Policy-Position_paper-112019_WEB.pdf)
218. Ana V.F.A. Bertolino et al. Effects of plough pan development on surface hydrology and on soil physical properties in Southeastern Brazilian plateau / Journal of Hydrology №393 (2010) pp. 94–104. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.038
219. Andresen L. and Jostad H.P. "A constitutive model for anisotropic and strain-softening clay." Proc. Num. Mod. in Geomech. – NUMOG VIII, Rome, Italy, 2002. pp. 79-84.
220. Auler A. C. et al. Soil physico-hydric properties resulting from the management in integrated production systems / Rev. Ciênc. Agron., v. 45, n. 5 (Especial), p. 976-989, 2014
221. Behzad Shokati , Ahmad Gholamalizadeh Ahangar. Effect of conservation tillage on soil fertility factors: A review. International Journal of Biosciences. Vol. 4, No. 11, p. 144-156, 2014. ISSN: 2220-6655 <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.11.144-156>
222. Berhe F.T. et al. The effect of tillage practices on grain yield and water use efficiency. Catena 100 (2012) 128–138
223. Berntsen, R. & Berre, B. Fragmentation and energy efficiency in the preparation of seedbeds. In: Morrison, J.E. (Ed.). Proceedings of the 15th International Conference of the International Soil Tillage Research Organisation, ISTRO-2000, June 2000, P. Dyke, Texas Agricultural Experiment Station, Temple, Texas, USA.
224. Bista Prakriti, Norton Urszula, Ghimire Rajan and Norton Jay B. Greenhouse Gas Fluxes and Soil Carbon and Nitrogen Following Single Summer Tillage Even. International Journal of Plant & Soil Science 6(4): 183-193, 2015; DOI: 10.9734/IJPSS/2015/16234
225. Carlos Germán Soracco et al. Contribution of macroporosity to water flux of

- a soil under different tillage systems / Soil Processes and Properties, Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36 (4), Aug 2012. 1149-1155. DOI: 10.1590/S0100-06832012000400009
226. Chaplot V., Abdalla K., Alexis M., Bourennane H. and other. Surface organic carbon enrichment to explain greater CO₂ emissions from short-term no-tilled soils. Agriculture, Ecosystems and Environment, 203, 2015. p. 110–118.
 227. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (IPCC) [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/reports/> (дата звернення 29.04.2020).
 228. Climate change: Cereal harvests across the world 'fall by 10% in 50 years'
 <http://www.independent.co.uk/environment/climate-change-cereal-harvests-across-the-world-fall-by-10-in-50-years-a6799666.html>
 229. Conant R.T. et al. Impacts of periodic tillage on soil C stocks: A synthesis/ Soil & Tillage Research 95 (2007) 1–10. doi:10.1016/j.still.2006.12.006
 230. Corwin E.I., Clusel M., Siemens O.N., et al. Model for random packing of polydisperse frictionless // Soft Matter. 2010. №6. P. 2945–2959.
 231. Cristina Muñoz, Leandro Paulino, Carlos Monreal and Erick Zagal. Greenhouse Gas (CO₂ and N₂O) Emissions from Soils: A Review. Chilean journal of agricultural research. - VOL. 70 - Nº 3 - 2010: 485-497. DOI:10.4067/S0718-58392010000300016
 232. Czesław Waszkiewicz, Józef Kuczewski. Maszyny rolnicze. Cz. 1, Maszyny i urządzenia do produkcji roślinnej. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1998. ISBN 8302060526
 233. David A.N. Ussiri, Rattan Lal, Marek K. Jarecki. Nitrous oxide and methane emissions from long-term tillage under a continuous corn cropping system in Ohio. Soil & Tillage Research 104 (2009) 247–255
 234. Farzad Haghnazari et al. Factors affecting the infiltration of agricultural soils: review/ International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR) Vol. 6, No. 5, p. 21-35, 2015.
 235. Hajabbasi M. A. Soil Physical Properties Due to Different Tillage Systems in Dryland Regions of Northwestern Iran. Caspian J. Env. Sci. 2005, Vol. 3 No.2 pp. 89-97
 236. Hashash, Y.M.A. and Whittle, A.J. "Mechanism of load transfer and arching for brand excavations in clay." J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128, 3, 2002, pp. 187-197.

- 237.Juszczyk M., Výskalab M. & Zima K. Prospects for the use of BIM in Poland and the Czech Republic – Preliminary Research Result. *Procedia Engineering*, 123. 2015. P. 250–259.
- 238.Karlsrud, Kjell and Andresen, Lars, "Design and Performance of Deep Excavations in Sof Clays". International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 9. 2008.
- 239.Kovalenko P., Rokochynskiy A., Jeznach J., Koptiuk R., Volk P., Prykhodko N., Tykhenko R. Evaluation of climate change in Ukrainian part of Polissia region and ways of adaptation to it. *Journal of Water and Land Development*. 2019. Vol. 41 (IV–VI). P. 77–82. DOI: 10.2478/jwld-2019-0030
- 240.Kravets S.V. Determination of the critical depth of soil cutting for earthmoving machines. *Perspective trajectory of scientific research in technical sciences: Collective monograph / S.V.Kravets, O.P.Lukianchuk, A.A.Nechydyuk*. Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2021. p.p. 235-270.
<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/138>
- 241.Kravets S.V., Lukianchuk O.P., Kosiak O.V., Gaponov O.O. Determination of Critical Depth of Cutting Soil by Cutters with Building Excavators. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations*. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020, vol. 73, pp. 631-640. (Scopus, Q4). DOI: 10.1007/978-3-030-42939-3_62
- 242.La Scala Jr. N., Lopes A., Spokas K. et al. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model / *Soil & Tillage Research* 99, (2008), 108–118. doi:10.1016/j.still.2008.01.006
- 243.Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* Vol. 123, № 1-2, 2004. pp. 1–22.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- 244.Laziuta Mikchail, Kabulova Bajan, Gasanov Chalit. Research of soil tillage by advanced design slit ripper. *Agricultural Engineering. Research papers*, 2016, vol. 45, No. 2. Policy, vol. 59, 2016, pp. 152-164.
- 245.Lipiec J., Hatano R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth/ *Geoderma* 116 (2003) 107–136. doi:10.1016/S0016-7061(03)00097-1
- 246.Lukianchuk O.P. etc. Necessity and possible approaches to applying deep loosening when cultivating rice / O.P.Lukianchuk, V.O.Turcheniuk, N.V.Prykhodko, P.P.Volk, A.M.Rokochinskiy. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 2019, vol. 57(1). pp. 199-206. (Scopus, Q3)
https://www.researchgate.net/publication/333201525_Necessity_and_possible_approaches_to_applying_deep_loosening_when_cultivating_rice

247. Lukianchuk O.P., Ryzhyi O.P., Ihnatiuk R.M. Design of tiered operating unit for deep differentiated tillage *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2017, (4), pp. 43-48.
248. Lukianchuk O.P., Volk P.P., Rokochinskiy A.M., Ermolin A. Advanced deep loosening work equipment to improve rice fields. *The 13th International youth conference. Perspectives of science and education*, November 22, 2019. SLOVO\WORD, New York, USA. 2019. pp. 85-94. ISBN 978-1-77192-403-0
249. Lukianchuk O., Rokochinskiy A., Gritsevich M. Applying deep loosening to improve rice fields. *The 1th International scientific and practical conference «Topical aspects of modern science and practice»* (September 21-24, 2020). Frankfurt am Main, Germany 2020. pp. 362-365. DOI: 10.46299/ISG.2020.II.I.
250. Mangalassery S., Sjögersten S., Sparkes D. L., Mooney S. J., Examining the potential for climate change mitigation from zero tillage *The Journal of Agricultural Science* , Volume 153 , Issue 7 , September 2015 , pp. 1151-1173. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859614001002>
251. Mazhayskiy Y., Rokochynskiy A., Lukianchuk O., Volk P., Turcheniuk V., Chernikova O. Research of energy capacity of structural comminution in deep loosening of sandy and loamy soil. *Engineering for rural development: 20th International Scientific Conference*. vol. 20. pp. 57-62. DOI: [10.22616/ERDev.2021.20.TF013](https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF013)
252. Mazhayskiy Yu., Rokochynskiy A., Lukianchuk O., Turcheniuk V., Volk P., Chernikova O. Deep loosening as effective adaptive agromeliorative practice on drained mineral soil of European Polesie in variable climatic conditions. *Engineering for rural development: 19th International Scientific Conference*, Jelgava 20-22.05.2020. pp. 28-35.. DOI: [10.22616/ERDev2020.19.TF009](https://doi.org/10.22616/ERDev2020.19.TF009)
253. McHugh O.V. et al. Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands/ *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 19–36. doi:10.1016/j.still.2007.08.002
254. McHugh, Tammo S. Steenhuis, Berihun Abebe, Erick C.M. Fernandes. Performance of in situ rainwater conservation tillage techniques on dry spell mitigation and erosion control in the drought-prone North Wello zone of the Ethiopian highlands. / *Soil & Tillage Research* 97 (2007) 19–36. doi:10.1016/j.still.2007.08.002
255. Milton da Veiga et al. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a southern brazilian hapludox/ *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, núm. 4, agosto, 2008, pp.

256. Miriti J. M. et al. The effects of tillage systems on soil physical properties and water conservation in a sandy loam soil in Eastern Kenya/ *Journal of Soil Science and Environmental Management*. Vol. 4(7), pp. 146-154, November, 2013. DOI:10.5897/JSSEM2013.0395
257. Nidal H Abu-Hamdeh. Effect of Soil Manipulation and Other Field Parameters on Soil Physical Properties/Materials Science 12th ISCO Conference, Beijing 2002.
258. Nyéki et al. Effects of Soil Compaction on Cereal Yield/ *Cereal Research Communications* 45(1), pp. 1–22 (2017) DOI: 10.1556/0806.44.2016.056
259. Odey S. O. and S. I. Manuwa. 2016. Design steps of narrow tillage tools for draught reduction and increased soil disruption – a review. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 18(1): 91-102.
260. Odey S. O., Manuwa S. I., Ademosun O. C. Effect of Tractor Traffic and Moisture Content on Cone Index in a Crop-cultivated Land. *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO) Nigeria Symposium, Akure 2014 November 3 - 6, Akure, Nigeria*. 134 – 142.
261. Odey Simon O. and Manuwa, Seth I. Subsoiler Development Trend in the Alleviation of Soil Compaction for Sustainable Agricultural Production/= *International Journal of Engineering Inventions*. Volume 7, Issue 8, 2018. pp: 29-38. e-ISSN: 2278-7461, p-ISSN: 2319-6491
262. Odey Simon O., Ovat Friday A. and Okon Orok O. Draughts, Power Requirements and Soil Disruption of Subsoilers / *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* Volume 6, Issue 9, 2018, PP 24-38
263. Odey Simon Ogbeche. Overview of Engineering Problems of Soil Compaction and Their Effects on Growth and Yields of Crops. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2018, 5(9): 701-709 ISSN: 2394 - 658X
264. Ogbeche, O. S., M. S. Idowu, and E. Theophilus. 2018. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(3): 85–96.
265. Omonode Rex A., Smith Doug R., Gál Anita, Tony. Soil Nitrous Oxide Emissions in Corn following Three Decades of Tillage and Rotation Treatments. *Soil Fertility & Plant Nutrition*. Volume 75, Issue 1, 2011, P. 152-163. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0147>
266. Partington D., P. Brunner, S. Frei, C. T. Simmons, A. D. Werner, R. Therrien, H. R. Maier, G. C. Dandy, and J. H. Fleckenstein. Interpreting streamflow

- generation mechanisms from integrated surface-subsurface flow models of a riparian wetland and catchment. *Water Resour. Res.* 2013. 49. 5501–5519.
267. Reichert J.M. et al. Is chiseling or inverting tillage required to improve mechanical and hydraulic properties of sandy clay loam soil under long-term no-tillage? / *Geoderma* 301 (2017) 72–79
 268. Reclamation projects development improvement technology considering optimization of drained lands water regulation based on BIM / Rokochynskiy A., Jeznach J., Volk P., Turcheniuk V., Frolenkova N. & Koptiuk R. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*. 2019. 28 Issue 3(85). 432–443.
 269. Renato Márcio Nunes et al. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage / *Geoderma* 259–260 (2015) 149–155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>0016-7061/
 270. Rokochynskiy A. Necessity and ways to increase adaptive potential of dried land in changeable climatic conditions / A. Rokochynskiy, Y. Mazhayskiy, P. Volk, J. Yeznach, A. Volchak, A. Meshyk, O. Chernikova, N. Prykhodko *Engineering for rural development: 20th International Scientific Conference Proceedings*. Vol. 20. P. 63–73. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF015
 271. Rokochynskiy A., Kuzmych L., Volk P. et al. Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone : Handbook of Research IGI Global. 2023. 479 p. DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3, ISBN13: 978166848248, ISBN10: 166848248, EISBN13: 9781668482506
 272. Rokochynskiy A., Volk P., Frolenkova N., Prykhodko N., Gerasimov Ie., Pinchuk O. Evaluation of climate changes and their accounting for developing the reclamation measures in western Ukraine. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*. 2019. Vol. 28 (1). P. 3–13. DOI: 10.22630/PNIKS.2019.28.1.1
 273. Sainju UM (2016) A Global Meta-Analysis on the Impact of Management Practices on Net Global Warming Potential and Greenhouse Gas Intensity from Cropland Soils. *PLoS ONE* 11(2): e0148527. doi:10.1371/journal.pone.0148527
 274. Sasal M.C. et al. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas / *Soil & Tillage Research* 87 (2006) 9–18
 275. Schneider Florian et al. The effect of deep tillage on crop yield – What do we really know? *Soil and Tillage Research*, Volume 174, 2017, Pages 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.005>

276. Shah A.N., Tanveer M., Shahzad B. *et al.* Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. *Environ Sci Pollut Res* 24, 10056–10067 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
277. Smith Pete, Martino Daniel, Cai Zucong and other. Greenhouse gas mitigation in agriculture. March 2008. Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences 363(1492):789-813 DOI:10.1098/rstb.2007.2184
278. Snyder C.S. et al., Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. (2009), Pages 20. doi:10.1016/j.agee.2009.04.021
279. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas / *Soil & Tillage Research*, 87, (2006), pp. 9–18. doi:10.1016/j.still.2005.02.025
280. Strudley M.W. et al. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science / *Soil & Tillage Research* 99 (2008) 4–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.01.007>
281. Taguchi I., Kurashige M., Imai K. Effect of cubic container's wall or floor on random packing structures of spherical particles // *JSME. Intern. J. Ser. A*. 2006. V. 49, №2. P. 265–272.
282. Taguchi I., Kurashige M., Imai K. Effect of cubic container's wall or floor on random packing structures of spherical particles // *JSME. Intern. J. Ser. A*. 2006. V. 49, №2. P. 265–272.
283. Thierfelder C., Wall P.C. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration and soil water content in Zambia and Zimbabwe / *Soil & Tillage Research*, 105 (2009), 217–227. doi:10.1016/j.still.2009.07.007
284. Tony J. Vyn, Rex A. Omonode, Doug R. Smith, Anita Gal and Peter Hegymegi. Soil Sequestration and Gas Emissions of Carbon after 3 Decades of Tillage Systems for Corn and Soybean Production in Indiana, 17 th Triennial Conference of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO) Conference Proceedings, 2006, 26-38.
285. Tuzzin M. de Moraes et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil/ *Soil and Tillage Research*. Volume 155, 2016. PP 351-362. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>
286. Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture. World Bank, Washington, DC and FAO, Rome. 2014.
287. Unger Paul W., Kirkham Mary Beth, Nielsen D.C. Water Conservation for

- Agriculture. In book: Soil and Water Conservation Advances in the United States. Chapter: 1. pp.1-45. Soil Science Society of America. February 2010. DOI: 10.2136/sssaspecpub60.c1
288. Varsa E.C. et al. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn root growth and production. Soil and Tillage Research. Volume 43, Issues 3–4, 10. 1997, Pages 219-228 [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00041-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00041-X)
 289. Verbist K. et al. The influence of a compacted plow sole on saturation excess runoff/ Soil & Tillage Research 96 (2007) 292–302. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2007.07.002>
 290. Volk P., Rokochinskiy A., Shevchenko O., Koptiyuk R., Turchenyuk V., Volk L. (2021). The influence of the assessment of the terrain on the design solutions for water regulation on the drained lands of the Polesie zone. European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, Geoinformatics, May 2021, Volume 2021, p.1–6.
 291. Wells Larry G.; Stombaugh Timothy S.; Shearer Scott A. "Crop Yield Response to Precision Deep Tillage" Transactions of the ASAE (2005). American Society of Agricultural Engineers Vol. 48(3): 895–901. ISSN 0001–2351. https://uknowledge.uky.edu/bae_facpub/146
 292. William F. Simmons, Emerson D. Nafziger. Soil Management and Tillage: Illinois Agronomy Handbook, Chapter 10, 133-142, <http://extension.cropsciences.illinois.edu/handbook/>
 293. Yang R.Y., Zou R.P., Yu A.B. Effect of material properties on the packing of fine particles // J. Appl. Phys. 2003. V.94, №5. P. 3025–3034.
 294. Yang R.Y., Zou R.P., Yu A.B. Pore structure of the packing of fine particles // J. Colloid Interface Sci. 2006. V. 299. P. 719–725.
 295. Zhang-liu D.U., Tu-sheng REN, Chun-sheng H.U., Qing-zhong Zhang and Blanco-Canqui Humberto. Soil Aggregate Stability and Aggregate-Associated Carbon Under Different Tillage Systems in the North China Plain. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 2114-2123