

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛУК'ЯНЧУК ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

УДК 631.62:631.312.5

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ
ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ

06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (технічні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Подані до захисту наукові положення є моїм власним напрацюванням і всі використані ідеї, наукові результати, цитати супроводжуються належними посиланнями на їх авторів та джерела опублікування, всі частини тексту дисертації, під час написання яких використовувалися технології штучного інтелекту, перевірені та відредаговані мною особисто.



О. П. Лук'янчук

Науковий консультант:

Рокочинський Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор

Рівне-2025

АНОТАЦІЯ

Лук'янчук О. П. Науково-практичні засади вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (технічні науки) – Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, 2025.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-практичної проблеми з удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами як адаптивного агро меліоративного заходу щодо сучасних змінюваних умов та вимог для підвищення їх вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану на основі системного розгляду енергетичного взаємозв'язку між параметрами різномірних за природою структурних елементів підсистем меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи.

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 та зумовлює необхідність застосування ефективних адаптивних заходів для підвищення вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів, зокрема, удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів.

Тому, було проаналізовано і досліджено сучасний стан осушувальних мінеральних ґрунтів, обґрунтовано необхідність, принципи та шляхи удосконалення глибокого меліоративного розпушення для поліпшення

еколого-меліоративного стану ґрунтів та регулювання їх водного режиму.

В результаті системного аналізу енергетичного взаємозв'язку між різнорідними 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 напрямку потоків енергії від робочих органів з вертикально-висхідних до всього масиву відразу на горизонтально-диференційовані по шарах ґрунту.

У розвиток положень теорій подрібнення і просторового розміщення макроагрегатів ґрунту при його розпушенні обґрунтовано підходи щодо прогностного оцінювання його результуючих характеристик на основі аналітичного моделювання ймовірного просторового їх розміщення з непрямым використанням гіпотези Кеплера про найщільніше пакування однорозмірних куль у тривимірному просторі.

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 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. Залежно від типу ґрунту, питома енергоемність розпушення ґрунту є обернено

пропорційною до розміру його макроструктури після розпушення і становить: для утворення дрібногрудчоватої структури – 100-220 кДж/м³, для утворення середньогрудчоватої – 50-130 кДж/м³.

Розроблено вологорегулюючі принципи удосконалення технологій глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом на основі переорієнтації водних потоків у ґрунтовому масиві на вертикально-горизонтальні з акумуляцією вологи в розпушеному ґрунті для підвищення його вологозабезпеченості.

Обґрунтовано доцільність здійснення суцільного за площею але диференційованого за профілем та глибиною пошарового глибокого розпушення ґрунту до утворення вологоакумулюючої дрібногрудчоватої макроструктури ґрунту та фільтраційної середньо-, крупногрудчоватої макроструктури ґрунту з урахуванням призначення ґрунтових шарів і формуванням різного профілю розпушеної смуги ґрунту, прямокутного – для легких ґрунтів, трапецевидного – для середніх ґрунтів та трикутного – для важких ґрунтів.

Розроблено енергоефективні принципи удосконалення пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення на основі горизонтальної пошарової диференціації потоків техногенної енергії з почерговою горизонтальною докритичноглибинною неблокованою розробкою окремих шарів ґрунту поступовим двостороннім розуцільненням макроагрегатної структури ґрунту згином та розтягом робочими органами.

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 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.

Удосконалено метод обґрунтування технологічних параметрів глибокого меліоративного розпушення щодо переходу, на відміну від традиційного, до суцільного за площею але диференційованого за профілем і глибиною пошарового макроагрегатного розуцільнення шарів ґрунту з урахуванням їх (дрібно-, середньо- або крупно-) грудочкуватої структури та водно-фізичних властивостей.

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 переуцільненими підорними шарами.

Удосконалено метод обґрунтування конструктивних параметрів пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення щодо застосування, на відміну від найбільш поширених традиційних пасивних технічних засобів, ярусно-клинової просторової конфігурації робочого обладнання та розрахунку робочих органів з урахуванням форми і пошаровості профілю розпушення, водно-фізичних властивостей, швидкості руху і відносної глибини розуцільнення окремо в кожному шарі ґрунту.

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 відотною глибиною розуцільнення; найбільш вигідним компонованням глибокорозпушувача за питомими показниками буде 3-ярусний варіант з клиновим розміщенням робочих органів в плані кожного ярусу.

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 в середньому на 27% його вологозабезпеченість, на 20-40% 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%. Удосконалені технології суцільного глибокого меліоративного розпушення є рентабельним та інвестиційно вигідним адаптивним 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.

Ключові слова: глибоке меліоративне розпушення, вологозабезпеченість, енергоефективність, технологія, технічні засоби.

ANNOTATION

Lukyanchuk O. P. Scientific and practical principles of improving technologies and technical means of deep reclamation loosening of drained mineral soils. Dissertation is presented for the scientific degree of Doctor of Engineering Sciences on specialty 06.01.02 – Agricultural Melioration (Engineering Sciences). National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, 2025.

The dissertation work is devoted to solving the current scientific and practical problem of improving technologies and technical means of deep land reclamation loosening according to energy-efficient and moisture-regulating principles as an adaptive agrotechnical measure for modern changing conditions and requirements to increase moisture supply and improve the ecologically and reclaimed state of drained mineral soils based on a systematic consideration of the energy relationship between the parameters of heterogeneous elements of subsystems in a complex natural-technical, ecological-economic land reclamation system.

One of the main problems in the water management of Ukraine, given the global scale of the food, water and energy crises, is the problem of the deficit of natural moisture supply, which is the main factor limiting the productivity of agricultural lands and the potential of agricultural production on lands with a regulated water regime and necessitates the use of effective adaptive measures to increase moisture supply and improve the ecologically and reclaimed state of drained mineral soils, in particular, improving technologies and technical means of deep loosening of drained mineral soils.

Therefore, the current state of draining mineral soils was analyzed and researched, the need, principles and ways to improve deep reclamation loosening were substantiated to improve the ecologically reclaimed state of soils and regulate their water regime.

As a result of a systematic analysis of the energy relationship between disparate elements of complex natural-technical, ecological-economic drainage and reclamation systems according to the parameters of their technological and constructive structural blocks (parameters of technical means of deep loosening, methods of changing the state of the soil and its water-physical properties), approaches to the implementation of energy-efficient and moisture-regulating principles of improving technologies and technical means of deep reclamation and loosening of drained mineral soils have been identified, which consist in the direct inclusion of the entire soil massif in the scheme of intensification of the vertical transfer of surface runoff into drainage with its primary accumulation in the soil and the removal through the drainage of only its residues; as well as changing the direction of energy flows from the working bodies from vertically ascending to the entire massif immediately to horizontally differentiated along the soil layers.

In the development of the theories of crushing and spatial arrangement of soil macroaggregates during its loosening, approaches to the predictive assessment of its resulting characteristics based on analytical modeling of their probable spatial arrangement with indirect use of Kepler's hypothesis about the densest packing of one-dimensional spheres in three-dimensional space are substantiated.

The patterns of the influence of the macrostructure of the soil environment on its water-physical properties were obtained, according to which it was established that the highest values of the loosening coefficient are observed at a relative soil humidity of 10-40%; the most energetically expedient for increasing moisture-accumulating properties is the orientation towards a fine-lump structure of loosened soil with macroaggregates of 4-5 mm in size, and to ensure more filtration and partially accumulative soil indicators – towards a medium-lump structure with macroaggregates of 6-25 mm in size. Depending on the type of soil, the specific energy intensity of soil loosening is inversely proportional to the size of its macrostructure after loosening and is: for the formation of a fine-lump structure – 100-220 kJ/m³, for the formation of a medium-lump structure – 50-130 kJ/m³.

Moisture-regulating principles for improving technologies for deep reclamation loosening of mineral soils with a regulated water regime have been developed based on the reorientation of water flows in the soil massif to vertical-horizontal with the accumulation of moisture in the loosened soil to increase its moisture supply.

The feasibility of implementing continuous in area but differentiated in profile and depth layer-by-layer deep soil loosening to form a moisture-accumulating fine-lump soil macrostructure and a filtration medium- and large-lump soil macrostructure, taking into account the purpose of soil layers and the formation of a different profile of the loosened soil strip, rectangular for light soils, trapezoidal for medium soils, and triangular for heavy soils, has been substantiated.

Energy-efficient principles for improving passive technical means of deep land reclamation loosening have been developed based on horizontal layer-by-layer differentiation of technogenic energy flows with alternate horizontal subcritical-depth unblocked development of individual soil layers with gradual bilateral loosening of the soil macroaggregate structure by bending and stretching with working bodies.

The design of an improved deep cultivator is substantiated, which is a frame with supporting uprights, on which working elements are fixed in tiers in the form

of a combination of a chisel-share with concave arrow-shaped working elements of variable curvature, the shape and parameters of which set the required amount of stress and the degree of grinding of the developed soil in each layer separately. The general layout of the deep cultivator is determined by the spatial separation of the working elements in three mutually perpendicular directions.

The method of substantiating the technological parameters of deep land reclamation loosening has been improved with respect to the transition, in contrast to the traditional one, to continuous in area but differentiated in profile and depth layer-by-layer macroaggregate loosening of soil layers, taking into account their (fine, medium or coarse) lumpy structure and water-physical properties.

Technological parameters (number and depth of layers, loosening area, profile shape, size of soil macroaggregates) for continuous deep reclamation loosening for various soil conditions and technological requirements are substantiated: for reclaimed areas with partially functioning drainage, with non-functioning drainage, for arid regions, with over-compacted subsoil layers.

The method of substantiating the design parameters of passive technical means of deep land reclamation loosening has been improved in terms of the use, in contrast to the most common traditional passive technical means, of a tiered-wedge spatial configuration of working equipment and the calculation of working bodies taking into account the shape and layering of the loosening profile, water-physical properties, speed of movement and relative depth of loosening separately in each soil layer.

The design parameters (tiering and horizontal displacement of working elements, their number, shapes of the soil cutter and working elements and their sizes) of deep cultivators are substantiated. The tiering of the design is determined by the functionality of the soil layers and the relative depth of loosening; the most advantageous layout of the deep cultivator in terms of specific indicators will be a 3-tier version with a wedge-shaped arrangement of the working elements in the plan of each tier.

It was established that compared to traditional ones, technologies and technical

means of continuous deep loosening, improved according to energy-efficient and moisture-regulating principles, have an advantage in all main indicators: agrotechnical, water-physical, energy, technological, environmental and economic, in particular, the specific energy intensity of the soil loosening process decreased by 6...10 times, the moisture-accumulating capacity of the soil increased by 6...50% and its moisture supply by an average of 27%, the yield of cultivated crops increased by 20...40%, and the after-effect period increased to 4 years. An increase in the moisture-accumulating capacity of loosened soil contributes to an increase in the efficiency of using precipitation and irrigation water by 30...75%. Improved technologies for continuous deep land reclamation loosening are a cost-effective and investment-friendly adaptive measure with a payback period of 1 year, which meets modern principles of adaptive land use in changing climatic conditions and can be an effective alternative to expensive reconstruction and modernization of existing drainage systems.

Keywords: deep reclamation loosening, moisture supply, energy efficiency, technology, technical means.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Монографії, розділи в монографіях:

1. Ткачук В. Ф., Лук'янчук О. П., Рижий О. П. Агромеліоративні багатоярусні глибокорозпушувачі : монографія. Рівне : НУВГП, 2011. 190 с. ISBN 978-966-327-167-5. URL: <http://search.nbuv.gov.ua/publ/REF-0000274202> (8,6 а.а.; особистий внесок: проведено детальний аналіз конструкцій агрономеліоративних глибокорозпушувачів, підготовлено розділи 1-4, 5,1 а.а.).

2. 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. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/3203/1/126not_all_zah.pdf (14,6 а.а.; особистий внесок: проведено аналіз критеріїв якості та вагомості параметрів енергоємності структурного розпушення ґрунтів, підготовлено розділ 6,

підрозділи 1.5, 8.9, 1,1 а.а.).

3. Турченко В. О., **Лук'янчук О. П.**, Заєць В. В. Способи і засоби глибокого розпушування осушуваних мінеральних ґрунтів Західного Полісся. *Меліорація та облаштування Українського Полісся* : колективна монографія / за ред. Я. М. Гадзала, А. М. Рокочинського. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. С. 636–646. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/15540> (38,0 а.а.; особистий внесок: проведено аналіз моделі робочого процесу розпушення, розроблена конструкція розпушувача, підрозділ 21.3, 0,4 а.а.).

4. **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.с.-г.н., проф., акад. НААН Р. А. Вожегової, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського. Київ-Херсон-Рівне : НУВГП, 2023. С. 278–291. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/25344> (19,2 а.а.; особистий внесок: опрацьовані показники ефективності глибокого розпушення на зрошувальних ґрунтах, підрозділ 10.2, 0,6 а.а.).

5. **Лук'янчук О. П.**, Рокочинський А. М. Удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі системної методології. **Лук'янчук О. П.**, Рокочинський А. М., Волк П. П., Турченко В. О., Коптюк Р. М. Удосконалене глибоке розпушення як ефективний адаптивний агроеліоративний захід на осушуваних землях. *Підвищення ресурсного потенціалу Українського Полісся* : **монографія** / за ред. д.с.-г.н., проф. В. С. Мошинського, д.т.н., проф. А. М. Рокочинського та ін. Рівне : НУВГП, 2024. С. 432–457. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/30397> (36,0 а.а.; особистий внесок: опрацьовано системні підходи до обґрунтування принципів удосконалення глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агроеліоративного заходу, розділи 18, 19; 1,2 а.а.).

Публікації у наукових виданнях іноземних держав та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

6. **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. (Scopus, Q3) URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/summary/69-04/8688-04-2017-lukianchuk> (0,3 a.a.; особистий внесок: виконано порівняльну оцінку різних підходів до обґрунтування основних параметрів глибокорозпушувачів, 0,2 a.a.).

7. **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) URL: https://www.researchgate.net/publication/333201525_Necessity_and_possible_approaches_to_applying_deep_loosening_when_cultivating_rice (0,4 a.a.; особистий внесок: опрацьовані показники ефективності застосування різних технологій глибокого розпушення, 0,3 a.a.).

8. **Lukyanchuk O.** Experimental Determination of the Relationship between Soil Structure Parameters and Indicators of Water Saturation and Filtration. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics* 70 (2023), pp. 89–100. (Scopus, Q4) DOI: <https://doi.org/10.2478/heem-2023-0006> (0,5 a.a.).

9. 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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_62). (0,5 a.a.; особистий внесок: виконано обґрунтування параметрів напівблокованої розробки ґрунту, 0,3 a.a.).

10. 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. (Scopus). DOI: 10.22616/ERDev2020.19.TF009 (0,3 a.a.; особистий внесок: виконано оцінювання показників макроструктури ґрунту після розпушення, 0,2 a.a.).

11. 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. (Scopus). DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF013 (0,3 a.a.; особистий внесок: виконано оцінку енергоємності процесу розпушення ґрунту, 0,2 a.a.).*

12. **Lukianchuk O. P.**, Rokochynskiy A. M., Volk L. R., Volk P. P., Kovalchuk N. S. The influence of deep loosening on the ecological and meliorational state of drained mineral soils / Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, Volume 1254(1), 012106. (Scopus) DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012106 (0,4 a.a.; особистий внесок: виконано оцінювання впливу глибокого розпушення на еколого-меліоративний стан осушуваних мінеральних ґрунтів за комплексом показників, 0,2 a.a.).

13. **Lukyanchuk O.**, Turcheniuk V., Koptiuk R. Improvement Deep Loosening as an Effective Adaptive Agromeliorative Practice. Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone : Handbook of Research / Anatoliy Rokochynskiy, Lyudmyla Kuzmych, Pavlo Volk, et al. IGI Global, 2023. pp. 222–242 (Scopus) DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3 (0,9 a.a.; особистий внесок: обґрунтовано застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного заходу, 0,7 a.a.).

14. **Lukyanchuk O.** Energy Intensity of Structural Grinding of the Soil by Deep Loosening. Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone : Handbook of Research / Anatoliy Rokochynskiy, Lyudmyla Kuzmych, Pavlo Volk, et al. IGI Global, 2023. Pp. 243–257 (Scopus) DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3 (0,7 a.a.).

Публікації у фахових виданнях України:

15. Ткачук В. Ф., **Лук'янчук О. П.**, Форсюк С. П., Музичук І. М. Визначення нормальних і тангенціальних напружень при згині анізотропних матеріалів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2006. Вип. 2 (34). Ч. 2. С. 145–150. (0,3 а.а.; особистий внесок: розроблено і опрацьовано математичну модель зміни напружень при згині ґрунтової скиби, 0,2 а.а.).

16. Ткачук В. Ф., **Лук'янчук О. П.**, Рижий О. П. Методика визначення основних параметрів ярусних глибокорозпушувачів. *Вісник НУВГП : зб. наук. праць*. 2006. Вип. 2 (34). Ч. 2. С. 151–160. (0,5 а.а.; особистий внесок: здійснено аналіз вагомості впливу параметрів робочого процесу на параметри конструкції глибокорозпушувачів, 0,3 а.а.).

17. Ткачук В.Ф., **Лук'янчук О.П.**, Форсюк С.П. Про деякі закономірності руйнування анізотропних матеріалів згином. *Вісник НУВГП : зб. наук. праць*. 2007. Вип. 3 (39). Ч. 2. С. 252–257. (0,3 а.а.; особистий внесок: розроблено математичну модель закономірності подрібнення ґрунтової скиби, 0,2 а.а.).

18. Ткачук В. Ф., **Лук'янчук О. П.**, Мельник А. В. Дослідження моделі подрібнення ґрунтової скиби на кривизні робочих поверхонь ґрунторозпушувача. *Вісник НУВГП : зб. наук. праць*. 2008. Вип. 2 (42). Ч. 1. С. 374–380.

URL:

<https://scholar.google.com/scholar?cluster=1473834118393645158&hl=en&oi=scholar> (0,3 а.а.; особистий внесок: визначено та проаналізовано показники структурного подрібнення ґрунтової скиби, 0,2 а.а.).

19. Кравець С.В., **Лук'янчук О.П.**, Романовський О.Л., Косяк О.В. Визначення зусилля деформування ґрунту багатоярусними робочими органами. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних і дорожніх машин : зб. наук. праць*. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 61-68. <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/140870> (0,3 а.а.; особистий внесок: проаналізовано закономірності зміни щільності ґрунту в процесі його

пошарової розробки, 0,2 а.а.).

20. Кравець С. В., **Лук'янчук О. П.**, Савін Р. М. Вплив швидкості на процес глибокого різання ґрунтів. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних і дорожніх машин* : зб. наук. праць. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 51–57. URL: <http://smm.pgasa.dp.ua/article/view/66906> (0,3 а.а.; особистий внесок: проаналізовано вплив швидкості на процес глибокого різання ґрунтів, 0,1 а.а.).

21. Кравець С. В., **Лук'янчук О. П.**, Косяк О. В. Визначення оптимальної форми і динамічного опору розсікача ґрунтового потоку. *Вісник НУВГП* : зб. наук. праць. 2010. Вип. 1 (49). С. 94–99. (0,3 а.а.; особистий внесок: визначено та проаналізовано вплив форми поперечного перерізу вертикального ґрунторозсікача на його динамічний опір, 0,1 а.а.).

22. **Лук'янчук О. П.** Аналіз критеріїв якості та енергоємності структурного розпушення ґрунтів. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. 2013. Вип. 1 (61). С. 172–182. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1042> (0,5 а.а.).

23. Кравець С. В., **Лук'янчук О. П.**, Косяк О. В. Удосконалення принципу створення землерийно-ярусних машин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2013. Вип. 57. С. 30–35. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/322?mode=full> (0,3 а.а.; особистий внесок: проаналізовано недоліки конструкцій існуючих багатоярусних робочих органів з точки зору енергоємності процесу, 0,1 а.а.).

24. Кравець С. В., **Лук'янчук О. П.** Аналіз математичної моделі впливу швидкості на процес глибокого різання ґрунтів. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних і дорожніх машин* : зб. наук. праць. Дніпропетровськ : ДВУЗ ПДАБА, 2018. Вип. 103. С. 62–68. URL: <http://srd.pgasa.dp.ua:8080/xmlui/handle/123456789/7695> (0,3 а.а.; особистий внесок: розроблено апроксимаційні моделі впливу швидкості на процес глибокого різання ґрунтів, 0,2 а.а.).

25. **Лук'янчук О. П.** Моделювання структури розпушеного ґрунту після дії

криволінійним робочим елементом ярусного глибокорозпушувача. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки.* 2019. Вип. 2 (86). С. 225–238. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/16625> (0,6 а.а.).

26. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Хомич А. В. Вплив конструктивних параметрів двоярусного критичноглибинного розпушувача на зусилля опору різання ґрунту. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки.* 2020. Вип. 1 (89). С. 177–189. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/19309> (0,6 а.а.; особистий внесок: проаналізовано аналітичні моделі зміни сил опору різання ґрунту двоярусного критичноглибинного розпушувача, 0,3 а.а.).

27. Лук'янчук О. П. Аналіз тягового опору багаторярусного глибокорозпушувача при різній компоновці. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки.* 2021. Вип. 1 (93). С. 158–167. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/22648> (0,5 а.а.).

28. Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М. Вдосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі системної методології. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки.* 2022. Вип. 2 (98). С. 92–109. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/24919>. (0,8 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано науково-методичні підходи до удосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення мінеральних ґрунтів, 0,5 а.а.).

29. Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М. Теоретичні передумови удосконалення глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за критерієм енергоефективності. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки.* 2022. Вип. 3 (99). С. 3–13. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/25729> (0,5 а.а.; особистий внесок: формалізовано і проаналізовано складові ланцюга енергетичних перетворень від робочих органів глибокорозпушувача до приросту врожаю, 0,3 а.а.).

30. 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 НУБГП.*

Сер. Технічні науки. 2022. Вип. 4 (100). С. 13–33. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/25841> (0,9 а.а.; особистий внесок: опрацьовані показники ефективності різних технологій глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах, 0,5 а.а.).

31. Лук'янчук О. П., Степанюк Б. І. Визначення раціонального компонування ґрунторозробного обладнання за побудою 3d-моделей елементів тіл сколу ґрунту. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки. 2024. Вип. 1 (105). С. 3–17. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/31525> (0,7 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано залежності для опору переміщення ґрунторозпушувача, 0,4 а.а.).*

32. Лук'янчук О. П., Степанюк Б. І., Форсюк С. Л. Експериментальне дослідження зміни зусилля різання залежно від умов розробки ґрунту. *Вісник НУБГП. Сер. Технічні науки. 2024. Вип. 2 (106). С. 3–13. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/32394> (0,5 а.а.; особистий внесок: здійснено планування експерименту та обґрунтовано фактори, 0,2 а.а.).*

Публікації апробаційного характеру:

33. Лук'янчук О. П. Робочий орган для глибокого диференційованого оструктурення ґрунту. *Матеріали XVIII наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 29–30 жовтня 2014 р., Тернопіль, 2014. С. 40–41. URL: <https://drive.google.com/file/d/1KFwXZm3zixaOSknepb0h0ZKAKxOeN7Vn/view?usp=sharing> (0,1 а.а.).*

34. Турченко В. О., Рокочинський А. М., Лук'янчук О. П. Щодо можливості застосування глибокого розпушення при вирощуванні рису. *Природа для води : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2018 р., Київ, 2018. С. 217–220. URL: <https://drive.google.com/file/d/1iB8-1JN6jCgDzogXBZF82d7fssdFrohM/view> (0,2 а.а.; особистий внесок: опрацьовано моделі та показники застосування глибокого розпушення на зрошувальних ґрунтах, 0,1 а.а.).*

35. **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. *East–West : The Third International scientific congress of scientists of Europe*. Proceedings of the III International Scientific Forum of Scientists (January 11, 2019). Premier Publishing s.r.o. Vienna, Austria. 2019. Pp. 477–453. ISBN 978-3-903197-91-6. URL: https://drive.google.com/file/d/1ThPXypw-KTkI5JnO-DP56OsHcYQvN1pv/view?usp=drive_link (0,3 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано критерії системного підходу до удосконалення глибокого розпушення, 0,1 а.а.).

36. Волк П. П., Рокочинський А. М., **Лук'янчук О. П.** Шляхи підвищення ефективності використання осушуваних земель зони Полісся з урахуванням змін клімату. *Вода для всіх : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 21 березня, Київ, 2019.* С. 144–145. URL: <https://igim.org.ua/2019/03/22/міжнародна-науково-практична-конфер-8/> (0,1 а.а.; особистий внесок: опрацьовано показники ефективності глибокого розпушення як адаптивного заходу, 0,05 а.а.).

37. 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. URL:

https://drive.google.com/file/d/1oP2jAYxS3yjms11BXBRbiyCJeG2t56tQ/view?usp=drive_link (0,2 а.а.; особистий внесок: опрацьовано показники впливу різних технологій глибокого розпушення на функціонування дренажних систем, 0,05 а.а.).

38. **Lukianchuk O. P., Volk P. P., Rokochinskiy A. M., Ermolin A.** Advanced deep loosening work equipment to improve rice fields. *Perspectives of science and education : The 13th International youth conference, November 22, 2019.*

SLOVO\WORD, New York, USA. 2019. Pp. 85–94. ISBN 978-1-77192-403-0.
URL:

https://drive.google.com/file/d/1U_Wq1d3R2Exli3VfF4uVn_tEBdhCzShW/view?usp=sharing (0,4 а.а.; особистий внесок: опрацьовано ефективність глибокого розпушення на зрошувальних ґрунтах, 0,2 а.а.).

39. 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*: зб. матеріалів засідання Круглого столу, присвяченого Всесвітньому дню ґрунтів. Херсон: ІЗЗ НААН, 2020. С. 84–86. URL: https://drive.google.com/file/d/1BDX6Dv4S1C47g16GozF1Nimq_TmXdY7X/view?usp=sharing (0,1 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано принципи удосконалення глибокого розпушення в умовах змін клімату, 0,05 а.а.).

40. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Хомич А. В. Конструкція та параметри двоярусного критичноглибинного розпушувача. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*: VI Всеукраїнська науково-практична конференція: зб. тез. Житомир, 2020. С. 119–122. URL: <https://zhatk.zt.ua/wp-content/uploads/2023/03/zbirnik-tez-zhitomir-2020.pdf> (0,1 а.а.; особистий внесок: опрацьовано аналітичні моделі тягового опору глибокорозпушувача, 0,05 а.а.).

41. **Lukianchuk O.**, Rokochinskiy A., Gritsevich M. Applying deep loosening to improve rice fields. *Topical aspects of modern science and practice*: The 1st International scientific and practical conference (September 21–24, 2020). Frankfurt am Main, Germany, 2020. Pp. 362–365. URL: <https://isg-konf.com/topical-aspects-of-modern-science-and-practice-en/> (0,2 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано параметри глибокого розпушення на зрошувальних ґрунтах, 0,1 а.а.).

42. 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* : зб. тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Полтава, 22 червня 2022 р.) : у 2 ч. Полтава : ЦФЕНД, 2022. Ч. 2. С. 18–19. URL: <https://www.economics.in.ua/2022/07/2.html> (0,1 а.а.; особистий внесок: опрацьовано вагомість впливових факторів агрономеліоративного заходу, 0,05 а.а.).

43. Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М. Адаптивний агрономеліоративний захід для осушуваних мінеральних ґрунтів у змінюваних кліматичних умовах. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали Четвертої Всеукраїнської науково-практичної конференції. Одеса : Одеський державний екологічний університет, 2022. С. 321–324. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/10913/1/Збірник%20матеріалів%20конференції%20Екополітика%202022.pdf> (0,2 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано застосування глибокого розпушення як основи адаптивного заходу, 0,1 а.а.).

44. Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М. Ефективність удосконаленого глибокого розпушення мінеральних ґрунтів як адаптивного агрономеліоративного заходу у змінюваних природних умовах. *Інновації: теорія і практика* : матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. Кропивницький : Академія Прикладних Наук, 2022. С. 66–68. URL: <https://apn.biz.ua/publication/51> (0,1 а.а.; особистий внесок: опрацьовано показники ефективності глибокого розпушення у змінюваних природних умовах, 0,05 а.а.).

45. Лук'янчук О., Гнатишин М. Енергоємність подрібнення при розробці супіщаних і суглинистих ґрунтів. *Інновації: теорія і практика* : матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. Кропивницький : Академія Прикладних Наук, 2022. С. 111–113. URL: <https://apn.biz.ua/publication/82> (0,1 а.а.; особистий внесок: опрацьовано показники енергоємності подрібнення ґрунту при його розпушенні, 0,05 а.а.).

46. Лук'янчук О. П. Моделювання структури розпушеного ґрунту для

аккумуляції та фільтрації ґрунтового стоку. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії* : зб. наук. праць. Херсон : ХДАЕУ, 2022. Вип. 4. С. 52–57. URL: https://drive.google.com/file/d/1s-CbBe3AptBf7kVNk93nRn992c7hgZs/view?usp=drive_link (0,3 а.а.).

47. Лук'янчук О. П., Гапонюк М. М., Кузьмич А. А., Волк П. П., Коптюк Р. М., Рокочинський А. М. Удосконалення технологій водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів. *Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні* : зб. тез XI міжнародної науково-практичної онлайн-конференції, присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2023 р. Київ : Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2023. С. 83–84. URL: <https://doi.org/10.31073/mivg2023>. (0,1 а.а.; особистий внесок: розкрито підходи до удосконалення технологій глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, 0,05 а.а.).

48. Лук'янчук О. Шляхи підвищення енергоефективності глибокого розпушення ґрунту за формалізацією перетворень його складових. *ІННОВАЦІЇ: теорія і практика* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Кропивницький : Академія Прикладних Наук, 2023. С. 22–23. URL: <https://apn.biz.ua/publication/125> (0,1 а.а.).

49. 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 вологоаккумуляційної здатності ґрунту. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії*: зб. наук. праць. Кропивницький-Херсон : ХДАЕУ, 2024. Вип. 6. 174 с. С. 121–127. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_04_06_24.pdf (0,3 а.а.; особистий внесок: опрацьовані моделі зміни показників вологозабезпеченості при розпушенні осушуваних мінеральних ґрунтів, 0,1 а.а.).

50. Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М., Волк П. П. Принципи

адаптивного вдосконалення глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом. *Управління та моніторинг ґрунтів: сучасні вимірювання та поствоєнне відновлення* : зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій Всесвітньому Дню ґрунту 2024 (World Soil Day 2024), 4 грудня 2024 року. Одеса : ІКОСГ НААН, 2024. С. 82–86. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/02/Збірник-матеріалів-конференції-04-грудня-2024-року.pdf> (0,2 а.а.; особистий внесок: обґрунтовано принципи удосконалення технологій глибокого розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом, 0,1 а.а.).

Патенти на винаходи та корисні моделі:

51. Глибкорозпушувач: пат. 150082 Україна: МПК А01В 13/08, А01В 13/14. № u202104357; заявл. 26.07.21; опубл. 29.12.21, Бюл. № 52. 4 с. (Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М., Волк П. П.).

52. Спосіб глибокого розпушення ґрунту: пат. 150485 Україна: МПК А01В 79/00, А01В 13/14, А01В 49/02. № u202105250; заявл. 16.09.21; опубл. 23.02.22, Бюл. № 8. 4 с. (Лук'янчук О. П., Рокочинський А. М., Волк П. П.).

53. Спосіб регулювання водного режиму осушуваних мінеральних ґрунтів: пат. 154112 Україна: МПК Е02В11/00, А01В13/14. № u202301213; заявл. 23.03.23; опубл. 11.10.23, Бюл. № 41. 4 с. (Рокочинський А. М., Волк П. П., Гапонюк М. М., Лук'янчук О. П., Волк Л. Р., Коптюк Р. М., Приходько Н. В., Кузьмич А. А.).

54. Ґрунторозпушувач: пат. 157731 Україна: МПК А01В13/08, А01В13/14. № u202401060; заявл. 28.02.24; опубл. 20.11.24, Бюл. № 47. 4 с. (Лук'янчук О. П.).

**Тематичні плани науково-дослідних робіт за держбюджетною і
госпдоговірною тематиками**

Виконавець держбюджетної науково-дослідної роботи: «Розробка і створення багатоярусних агромеліоративних енергозберігаючих засобів розпушення ґрунтів» (№ державної реєстрації 01054001484), 2005-2007 р.р., МОН України.

Виконавець держбюджетної науково-дослідної роботи: «Забезпечення сталого розвитку меліорованих агроландшафтів Полісся в умовах змін клімату на основі адаптивних заходів» (№ державної реєстрації 0121U109614), 2021-2022 р.р., МОН України.

Виконавець держбюджетної науково-дослідної роботи: «Забезпечення продовольчої безпеки країни у воєнний та повоєнний періоди шляхом інтенсифікації агровиробництва на меліорованих землях Полісся» (№ державної реєстрації 0123U101922), 2023-2025 р.р., МОН України.

Відповідальний виконавець держбюджетної науково-технічної роботи «Розроблення ресурсозберігаючих технологій для підвищення рівня агровиробництва на меліорованих землях Українського Полісся» (№ державної реєстрації 0123U104213), 2023-2024 р.р., МОН України

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	– 28
ВСТУП	– 29
1. СУЧАСНИЙ СТАН ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ, НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ЩОДО СУЧАСНИХ ЗМІНЮВАНИХ УМОВ ТА ВИМОГ	– 39
1.1. Аналіз еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів щодо змінюваних умов та вимог	– 39
1.2. Аналіз можливості застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агрономеліоративного заходу щодо змінюваних умов та вимог	– 50
1.3. Обґрунтування необхідності та шляхів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення щодо змінюваних умов та вимог	– 57
1.4. Висновки до розділу	– 76
2. НАУКОВІ СИСТЕМНІ ПІДХОДИ ДО УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 78
2.1. Вихідні передумови	– 78
2.2. Аналіз структурно-ієрархічного взаємозв'язку різнорідних складових осушувальної природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи із застосуванням глибокого меліоративного розпушення	– 80
2.3. Теоретичне обґрунтування принципів удосконалення глибокого меліоративного розпушення на основі технічних складових меліоративної системи	– 84
2.4. Обґрунтування енергетичного взаємозв'язку принципів енергоефективності та вологорегулювання у складі природно-	

технічної еколого-економічної меліоративної системи	– 88
2.5. Зміна підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів осушуваних меліоративних систем	– 95
2.6. Висновки до розділу	– 98
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	– 103
3.3. Експериментальне дослідження енергетичної ефективності величини макроструктури розпушеного ґрунту щодо його вологоємності	– 113
3.4. Експериментальне дослідження енергоємності структурного подрібнення ґрунту при розпушенні	– 119
3.5. Висновки до розділу	– 127
4. ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ВОЛОГОРЕГУЛЮЮЧИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПРИНЦИПІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ	– 129
4.1. Вихідні передумови	– 129
4.2. Характерні ознаки основних тенденцій розвитку сучасних агротехнологій та конструкцій глибокорозпушувачів	– 130
4.3. Шляхи реалізації вологoreгулюючих та енергоефективних принципів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення	– 142
4.4. Висновки до розділу	– 148
5. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ	– 151
5.1. Вихідні передумови. Узагальнена технологічна схема	

удосконаленого глибокого меліоративного розпушення	– 151
5.2. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з частково працюючим дренажем	– 155
5.3. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з непрацюючим дренажем	– 157
5.4. Глибоке меліоративне розпушення для посушливих регіонів	– 160
5.5. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з переущільненими підорними шарами	– 162
5.6. Висновки до розділу	– 164
6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ	– 166
6.1. Вихідні передумови	– 166
6.2. Обґрунтування форми поверхні робочого органу та параметрів робочого процесу розпушення ґрунту	– 166
6.3. Визначення відносної критичної глибини в ярусі щодо ширини долотоподібної частини робочого органу	– 178
6.4. Аналіз впливу швидкості руху на відносну критичну глибину розробки ґрунту долотоподібною частиною робочого органу	– 185
6.5. Обґрунтування форми і параметрів вертикального стояка щодо руху в ґрунтовому потоці	– 190
6.6. Обґрунтування раціональної компоновки робочих органів в різних умовах розробки ґрунту	– 196
6.7. Методика розрахунку конструктивних параметрів удосконаленого глибокорозпушувача	– 203
6.8. Висновки до розділу	– 209
7. ПОРІВНЯЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ НА ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЗАХІДНОГО	– 211

ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

7.1. Загальна характеристика об'єкта	– 211
7.2. Методи оцінювання ефективності	– 216
7.3. Агротехнологічна ефективність	– 217
7.4. Енергетична ефективність	– 223
7.5. Екологічна ефективність	– 225
7.6. Інвестиційно-економічна ефективність	– 237
7.7. Висновки до розділу	– 244
ВИСНОВКИ	– 246
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	– 250
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	– 252
ДОДАТКИ	– 290

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АПК – агропромисловий комплекс;
ВБ – водний баланс;
ГПВ – гранична польова вологостійкість;
ГМР – глибоке меліоративне розпушення;
ДС – дренажна система;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МС – меліоративна система;
НСР_{0,5} – найменша суттєва різниця;
НУВГП – Національний університет водного господарства та природокористування;
ОС – осушувальна система;
ПВ – повна вологостійкість;
ПМР – природно-меліоративний режим;
ПР – проектне рішення;
ПТС – природно-технічна система;
РГВ – рівень ґрунтових вод;
РШГ – розрахунковий шар ґрунту;
САПР – система автоматизованого проектування;
ТЕП - техніко-економічні показники;
ЧДД – чистий дисконтований дохід

ВСТУП

Актуальність теми. 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 різноманітних 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 осушуваних мінеральних ґрунтів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно переліку основних пріоритетних напрямів наукових досліджень відповідно до постанови КМ України від 30.04.2024 р. №476: «Інноваційні технології збереження та збалансованого використання природних (мінерально-сировинних, земельних, ґрунтових, водних та біотичних) ресурсів»; розпорядження КМ України від 14.08.2019 р. №688-р «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року»; у межах науково-дослідних робіт НУВГП за держбюджетною тематикою (2005-2024 рр.): «Розробка і створення багаторусних агро меліоративних енергозберігаючих засобів розпушення ґрунтів» (№01054001484), «Забезпечення сталого розвитку меліорованих агроландшафтів Полісся в умовах змін клімату на основі адаптивних заходів» (№0121U109614), «Забезпечення продовольчої безпеки країни у воєнний та повоєнний періоди шляхом інтенсифікації агровиробництва на меліорованих землях Полісся» (№0123U101922), «Розроблення ресурсозберігаючих технологій для підвищення рівня агровиробництва на меліорованих землях Українського Полісся» (№0123U104213) (довідка Національного університету водного господарства та природокористування, №17н-24 від 17.11.2024).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є 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.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**:

- обґрунтувати необхідність та шляхи удосконалення глибокого

меліоративного розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів відносно змінюваних сучасних умов і вимог;

- розвинути науково-системні підходи щодо удосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення в структурі меліоративної системи і встановити визначальні чинники принципів енергоефективності та вологорегулювання;

- дослідити параметри макроструктури розпушеного мінерального ґрунту як основного чинника для прогнозного оцінювання його результуючих характеристик;

- розробити вологорегулюючі принципи удосконалення технологій глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів;

- розробити енергоефективні принципи удосконалення технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів;

- удосконалити науково-методичні підходи до обґрунтування технологічних параметрів глибокого меліоративного розпушення за розробленими принципами;

- удосконалити науково-методичні підходи до обґрунтування конструктивних параметрів технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за розробленими принципами;

- оцінити загальну ефективність удосконалених технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів.

Об’єкт дослідження: складні взаємопов’язані явища та процеси впливу технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення на макроагрегатний стан осушуваних мінеральних ґрунтів, їх водно-фізичні властивості та ефективність вологорегулювання.

Предмет дослідження: науково-методичні підходи до удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за енергоефективними та вологорегулюючими принципами на основі застосування системної методології, методи обґрунтування їх параметрів.

Методи досліджень. Використання підходів системної методології щодо обґрунтування принципів енергоефективності та вологорегулювання як характеристик різнорідних за природою структурних елементів у складній

природно-технічній еколого-економічній меліоративній системі з математичним моделюванням їх енергетичного взаємозв'язку. Аналітичне та експериментальне фізичне моделювання макроструктури ґрунтового середовища. Експериментальне дослідження енергоємності розпушення ґрунту. Використання систем автоматизованого проектування для інжинірингу та моделювання конструкції робочого обладнання технічних засобів, спеціалізованих комп'ютерних програмних засобів для опрацювання результатів аналітичних і експериментальних досліджень із застосуванням загальноприйнятих методів математичної статистики, теорії імовірності й кореляційного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів дослідження полягає у розробці науково-практичних засад удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, зокрема, *вперше*:

- розроблено науково-методичні підходи до удосконалення технологій глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів за вологорегулюючими принципами на основі вертикально-горизонтальної переорієнтації низхідних водних потоків шляхом збільшення акумуляційної здатності активного кореневмісного шару ґрунту, що дасть змогу підвищити ефективність його вологорегулювання в різні за умовами тепло- і вологозабезпеченості періоди вегетації відповідно до змінюваних сучасних умов та вимог;
- розроблено науково-методичні підходи до удосконалення пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за енергоефективними принципами на основі вертикально-горизонтальної диференціації потоків техногенної енергії для здійснення докритичноглибинної неблокованої розробки окремих шарів ґрунту поступовим двостороннім розуцільненням макроструктури ґрунту згином та розтягом робочими органами;
- науково обґрунтовано комплекс різнорідних технічних, технологічних, економічних, екологічних, інвестиційних параметрів ефективності технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у їх системному взаємозв'язку відповідно змінюваних сучасних умов та вимог;

удосконалено:

- науково-методичні підходи до обґрунтування технологічних параметрів глибокого меліоративного розпушення щодо переходу, на відміну від традиційного щільного, до суцільного за площею але диференційованого за профілем та глибиною пошарового макроагрегатного розуцільнення шарів ґрунту для урахування водно-фізичних властивостей їх (дрібно-, середньо- або крупно-) грудочкуватої структури;
- науково-методичні підходи до обґрунтування конструктивних параметрів пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення щодо застосування, на відміну від найбільш поширених традиційних стоякових і периметрових технічних засобів, ярусно-клинової просторової конфігурації робочого обладнання та долото-радіальної клиноподібної форми робочих органів для урахування форми профілю розпушення, швидкості руху, водно-фізичних властивостей і відносної глибини розуцільнення ґрунту окремо в кожному шарі;

набули подальшого розвитку:

- теоретичні засади обґрунтування адаптивного агро меліоративного заходу щодо осушуваних мінеральних ґрунтів на основі вдосконалення технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за вологорегулюючими і енергоефективними принципами для поліпшення їх еколого-меліоративного стану відповідно до змінюваних сучасних умов і вимог;
- теоретичні засади вдосконалення глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі розгляду за системною методологією енергетичного взаємозв'язку природних і техногенних чинників вологорегулювання та енергоефективності як різномірних елементів складної меліоративної природно-технічної еколого-економічної системи;
- теорія подрібнення ґрунту щодо модельного відтворення макроструктури осушеного мінерального ґрунту після розпушення у вигляді сукупності різнорозмірних куль зі змінною геометрією їх просторового розміщення для визначення його волорегулюючих і енергетичних характеристик.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Обґрунтовано доцільність переходу від традиційних технологій

щільного та смугового розпушення до суцільного, диференційованого за профілем і глибиною, пошарового енергоефективного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, 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 зменшенням 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. За результатами апробації у виробничих умовах Рівненської області зростання врожайності становило близько 20-22% (Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи ТОВ «СВК Горинь» від 04.10.2024 № 1/14-10).

2. Обґрунтовано сукупність технологічних рішень щодо ефективного застосування глибокого меліоративного розпушення для підвищення вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліоративного стану осушуваних мінеральних ґрунтів у різних умовах, захищені патентами України на корисні моделі: №150485, №154112.

3. Розроблені нові ярусні конструкції енергоефективних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення з розширеними можливостями щодо створення сприятливих умов для вологоакумулювання у функціональних шарах ґрунту та зменшення до 40% питомих енергетичних затрат, які захищені патентами України на винаходи та корисні моделі: №150082, №157731.

4. Розроблено спосіб регулювання водного режиму осушуваних мінеральних ґрунтів, що полягає в акумуляції частини води на спаді весняної повені шляхом поєднання здійснення попереджувального шлюзування на осушувальних каналах провідної мережі та глибокого суцільного розпушення на землях меліоративної системи. Даний спосіб забезпечує акумуляцію більшої частини атмосферних опадів та збільшує вологозапаси ґрунту за рахунок вологоутримування в його верхніх та нижніх шарах у межах

осушувальної системи впродовж вегетаційного періоду в інтервалі 0,8-1,2 м, що підвищить ефективність роботи регулювання водного режиму мінеральних ґрунтів у різні за вологозабезпеченістю періоди вегетації на 30-90% (Довідка Регіонального офісу водних ресурсів у Рівненській області, №50/1 від 24.01.2025).

5. Основні результати наукової роботи для апробації в умовах виробництва були використані і відображені у «Науково-методичних рекомендаціях щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах». Рівне: НУВГП, 2021. 114 с., що розглянуті й затверджені науково-технічною радою Національного університету водного господарства та природокористування (протокол № 142 від 23.04.2021), а також технічною Радою ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «ДІПРОМІСТО» імені Ю. М. Білоконя (протокол № 1 від 05.06.2021) (Довідка Державного агентства водних ресурсів України, №1065/9/13/11-25 від 24.02.2025).

6. Науково-методичні розробки та результати досліджень впроваджені у навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування для забезпечення теоретичних знань та набуття практичних навичок з проектування технологій водорегулювання та глибокого меліоративного розпушення, створення та конструювання багатоярусних технічних засобів за відповідними спеціальностями при викладанні наступних освітніх компонент: 133 «Галузеве машинобудування» (галузь знань 13 «Механічна інженерія»): «Наукові основи створення землерийно-ярусних машин», «Теорія руйнування робочих середовищ», «Меліоративні машини та обладнання для водного господарства»; 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» (галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»): «Водна інженерія та водні технології»; 208 «Агроінженерія» (галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство): «Меліоративні машини та обладнання для водного господарства» (Довідка Національного університету водного господарства та природокористування №011-07 від 15.11.2024 р.).

Особистий внесок здобувача. Унаслідок узагальнення статистичних даних, теоретичних та експериментальних досліджень інших науковців здобувачем особисто: розроблено та сформульовано основні положення

дисертаційної роботи щодо наукових підходів і методів удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за енергоефективними та вологорегулюючими принципами; складено та описано математичну модель енергетичного взаємозв'язку різнорідних елементів у підсистемі «осушуваний ґрунт – технологія розпушування – робочий орган – вологорегулювання» в складі меліоративної системи; запропонована зміна напрямів водних і енергетичних потоків у схемі вологорегулювання в ґрунті; запропоновано і опрацьовано модельне відтворення макроструктури розпушеного ґрунту; обґрунтовано перехід з рівномірного на поступове подрібнення макроструктури ґрунту при його розпушенні згином; розраховано значення коефіцієнта пропорційності щодо енергоемності процесу за теорією подрібнення Бонда для різних ґрунтів; удосконалено науково-методичні підходи до обґрунтування енергоефективних параметрів вологорегулюючих технологій та конструкцій технічних засобів пасивного типу для їх здійснення.

Дисертація є самостійною науковою працею. Усі наукові результати, викладені у роботі, отримані автором особисто та є його науковим доробком. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які становлять індивідуальний внесок автора.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та результати досліджень представлялися та обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських конференціях: XVIII науковій конференції ТНТУ ім. І.Пулюя (Тернопіль, 2014 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Природа для води» (м. Київ, 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Вода для всіх» (м. Київ, 2019 р.), The III-th International Scientific Forum of Scientists "East–West" (Vienna, Austria, 2019 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Водні екосистеми у контексті Євроінтеграції: реалії та перспективи» (м. Житомир, 2019 р.), The 13-th International youth conference «Perspectives of science and education», New York, USA, 2019 р.), Круглому столі «Наукове забезпечення та практичний досвід ґрунтозберігаючого землеробства» (м. Херсон, 2020 р.), VI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь (м. Житомир, 2020 р.), The I-th International scientific and practical conference «Topical aspects of modern

science and practice». (Frankfurt am Main, Germany, 2020 p.), Міжнародній науково-практичній конференції «Стратегічні пріоритети розвитку науки, освіти та суспільства» (м. Полтава, 2022 p.), IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Євроінтеграція екологічної політики України» (м. Одеса, 2022 p.), XI Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції «Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні» (м. Київ, 2023 p.), III та IV Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інновації: теорія і практика» (м. Кропивницький, 2022 p., 2023 p.), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (2023 p.), IV та VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії» (м. Херсон, 2022 p., 2024 p.), Міжнародній науково-практичній конференції «Управління та моніторинг ґрунтів: сучасні вимірювання та поствоєнне відновлення» (м. Одеса, 2024 p.).

Публікації. Основні результати та висновки дисертації знайшли відображення у 54 наукових працях, загальний обсяг яких становить 132,4 а.а., з них особисто автору належить 18,8 а.а. Зокрема: 5 монографій (2 у співавторстві, 3 колективні), 9 наукових публікацій у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus (з них: 4 – статті у періодичних наукових журналах, 3 – в матеріалах міжнародних конференцій, 2 – розділи книжкових видань), 18 публікацій у фахових виданнях України, 18 публікацій апробаційного характеру, 4 патенти України на винаходи та корисні моделі.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел з 277 найменувань і 6 додатків. Повний обсяг роботи складає 333 сторінки, в тому числі 251 сторінка основного тексту, що вміщує 55 рисунків і 38 таблиць, список використаних джерел на 38 сторінках та 44 сторінки додатків.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТІВ, НЕОБХІДНІСТЬ ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ЩОДО СУЧАСНИХ ЗМІНЮВАНИХ УМОВ ТА ВИМОГ

1.1. Аналіз еколого-меліоративного стану осушуваних 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 [186].

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 [76].

Основним способом осушення перезвожених 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 [152; 189; 44; 115; 107; 157; 190]. Тому, дренаж є необхідною, але недостатньою умовою поліпшення водного режиму перезвожених земель. Один дренаж, без

проведення додаткових агро меліоративних заходів щодо збільшення водопроникності надренажних 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 [186].

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%, в Австралія – 10,1%, Великобританія – 35,5%) [134]. Загальна площа осушених земель в Україні складає близько 3 млн. га або 7,1% в складі сільськогосподарських угідь, найбільше – в зоні Полісся України.

За природним ландшафтом Українське Полісся займає північну частину України. Це 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. Простягається зона з заходу на схід на 750 км, площа її становить понад 113 тис. кв.км (19 % території України) [108].

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 дренаваністю, 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 лісостепоного 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 дренаваність характеризується густиною річної мережі, її глибиною, похилами поверхні землі, водопроникністю ґрунтів та порід, що її

підстиляють. 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 [108]. 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 [108].

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 [36].

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 2015-17 р.р. 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 [36].

Таблиця 1.1 – Динаміка зміни стану осушуваних земель Житомирської області, га [36]

Роки \ Стан	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. і ін. у 2013 р., 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) [154; 117; 118]. Фактично такий же розподіл зафіксований у 2022 році (14%; 55%; 31%) [35, с. 163].

Таблиця 1.2 – Розподіл осушуваних земель Волинської області за меліоративним станом [117]

Райони	Осушуваних земель, га	Стан, 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	16563	1254
Турійський	28583	11076	15495	2012
Шацький	9951	2794	5015	2142
Всього	319881	98833	186436	34612

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 [154; 186].

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

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 [113; 75].

Таблиця 1.3 – Розподіл осушуваних земель Рівненської області за меліоративним станом [118]

Райони	Осушуваних земель, га	Стан, га		
		сприятливий	задовільний	незадовільний
Березнівський	22526	4542	11765	6219
Володимирецький	30613	10900	13857	5856
Гощанський	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 значній кількості систем, де рівні ґрунтових вод залягають на неприпустимих глибинах, спостерігаються процеси вторинного заболочування. Ці землі вимагають реконструкції дренажної мережі. На переважачій їх більшості, через неспроможність відкритої мережі забезпечити оптимальні строки відведення надлишкових вод. Загалом реконструкції (відновлення) осушувальної мережі вимагають 31,371 тис. га меліорованих земель [35].

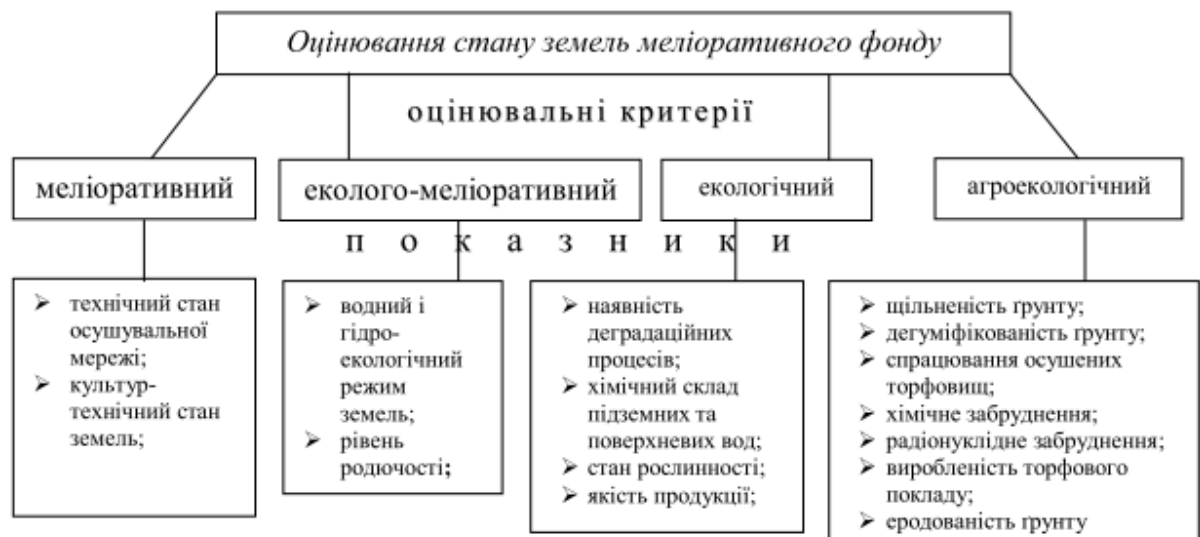


Рисунок 1.1 – Критерії оцінки стану меліорованих земель [113, 75]

До основних *водно-фізичних характеристик* ґрунтів відносять: щільність твердої фази ґрунту, пористість, водопроникність, повна вологоємність, гранична польова вологоємність, висота капілярного підняття [76; 125].

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

Таблиця 1.4 – Найбільш розповсюджені значення водно-фізичних властивостей осушуваних ґрунтів [155]

Ґрунти	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% [167; 8].

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 [8].

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.

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 [3], що в повній мірі корелюється з проголошеними Генеральною Асамблеєю ООН цілями щодо подвоєння до 2030 року глобального показника енергетичної ефективності [131].

Таблиця 1.5 – Величина оптимальної щільності ґрунтів для різних сільськогосподарських культур [101]

Ґрунти	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

Аграрне виробництво в умовах України, в тому числі на меліорованих землях, ускладнюється наявними природно-кліматичними, ґрунтовими та ін. умовами [202; 269]. 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 [186]. 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 [28].

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 перспективи 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 агресурсного потенціалу з одночасним його збереженням [108].

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°C з можливим збільшенням кількості опадів для всієї території України на 11%, а в північній та західній частині України навіть на 15-21%, дод. А.

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, дод. А [49].

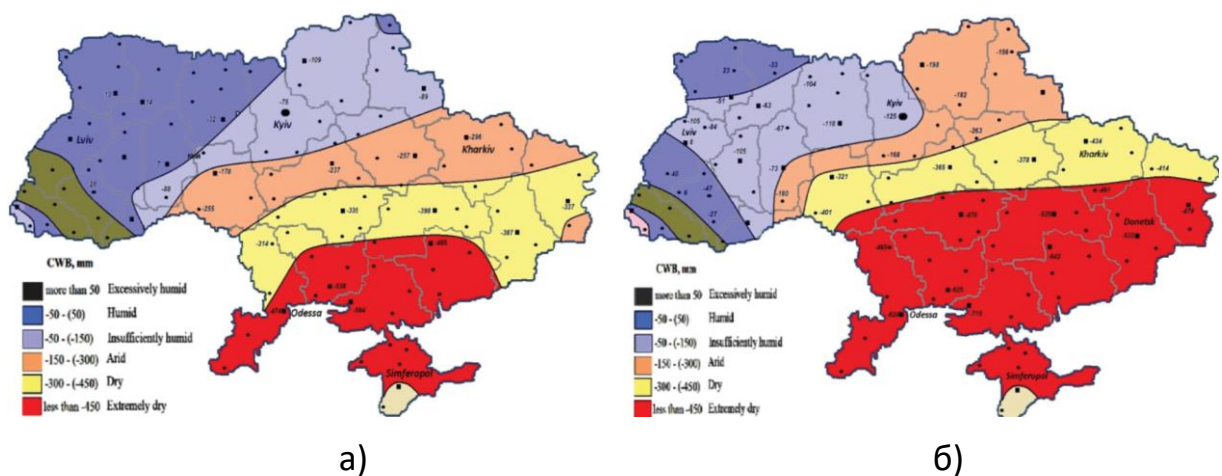


Рисунок 1.2 – Середньо- та довгостроковий прогноз умов природного вологозабезпечення території України за річним кліматичним водним балансом: а) – 2050 рік; б) – 2100 рік [49]

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 незадовільних 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. Аналіз можливості застосування глибокого меліоративного розпушення як адаптивного агротехнічного заходу

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.С. 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 [46]. В.С. Мошинського [110] 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 [27; 108] 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 [27].

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. 1.6).

У дерново-підзолистому глинисто-піщаному ґрунті також спостерігається значне збільшення щільності в ілювіальних горизонтах (на $0,15 \text{ т/м}^3$), а на глибині 0,2...0,3 м різниця не перевищує НСР_{05} . 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 [27].

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 $0,18 \text{ т/м}^3$, порівняно з не ущільненим ґрунтом, і сягати $1,3...1,4 \text{ т/м}^3$. При цьому різко погіршується водно-повітряний режим, у 3...4 рази зростає твердість, у 3...5 разів зменшується водопроникність ґрунту.

Таблиця 1.6 – Вплив осушення на щільність перезволожених мінеральних ґрунтів Західного Полісся [116]

Генетичний горизонт	Глибина відбору зразків, м	Щільність, т/м ³			Загальна шпаруватість, %			Твердість, т/м ²		
		осуше ний	не осуше ний	НСР ₀₅ , т/м ³	осуше ний	не осуше ний	НСР ₀₅ , %	осуше ний	не осуше ний	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	—

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. 1.6).

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 [27].

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. 1.6).

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 [116]. 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. 1.7).

Як видно з табл. 1.7. при зменшенні активного шару волого обміну ефективність використання води 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. 1.8).

Таблиця 1.7 – Коефіцієнт використання ґрунтових вод [155]

Глибина залягання ґрунт. вод	Шар активного вологообміну, м							
	Легкі ґрунти				Важкі ґрунти			
	<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 1.8 - Потужність кореневого шару [155]

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 [27].

Таким чином, водно-фізичні властивості дерново-підзолистих ґрунтів і після дренажу залишаються в цілому несприятливими, а тому потребують обов'язкового застосування супутніх з дренажем агроеліоративних 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 агроеліоративних 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. [108; 191; 41].

Зміна природніх 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 [114; 108], 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 [108; 133].

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 [201; 212; 213].

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 [114; 255; 260; 256; 214; 261].

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 [114].

З поміж іншого, за рекомендаціями П.П.Волка, це можливо здійснити на підставі розробки комплексу адаптивних агротехнічних 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 [114; 255].

1.3. Обґрунтування необхідності удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення щодо змінюваних умов та вимог

Згідно статті 7 Закону України «Про меліорацію земель» [168] *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 агрометеліоративних заходів відносять також поглиблення підорного шару, глибоку оранку, кротування, вапнування ґрунту тощо [168; 76].

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 [217], підвищення

вбираючої здатності ґрунтів для прискорення відводу води з поля [76; 250; 207; 258; 271; 273].

Можливість застосування глибокого меліоративного розпушення як ефективного агро меліоративного заходу на дерново-підзолистих оглеєних ґрунтах у Західному регіоні України доведено дослідженнями проведеними С.М. Перехрестом, І.Ф. Підпалим, В.С. Олійником, Д.А. Тютюнником, В.П. Кубишкіном та ін. [114; 108]. 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, відігравало 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 [277; 267; 216; 211; 218; 252; 225; 209].

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 [80; 229].

Глибоке розпушення, яке виконують при закладанні дренажу, називають *капітальним*. Це розпушення виконують у відносно погано водопроникних

грунтах, 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 підшви, що утворюється в результаті ущільнення ґрунтів сільськогосподарською та транспортною технікою.

Залежно від гідрологічних, ґрунтових та інших умов традиційно розглядають і застосовують *суцільне, смугове або щільне розпушення (щільювання)* [114].

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.

Щільювання – 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 необроблюваних ґрунтах повинно бути виконане розділення пласта. При цьому дернину перед оранкою дискують у два сліди навхрест важкою дисковою бороною для кращого оберту пласта. Внесення добрив і вапна призначають за необхідності згідно агрохімічних даних.

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. 6.2).

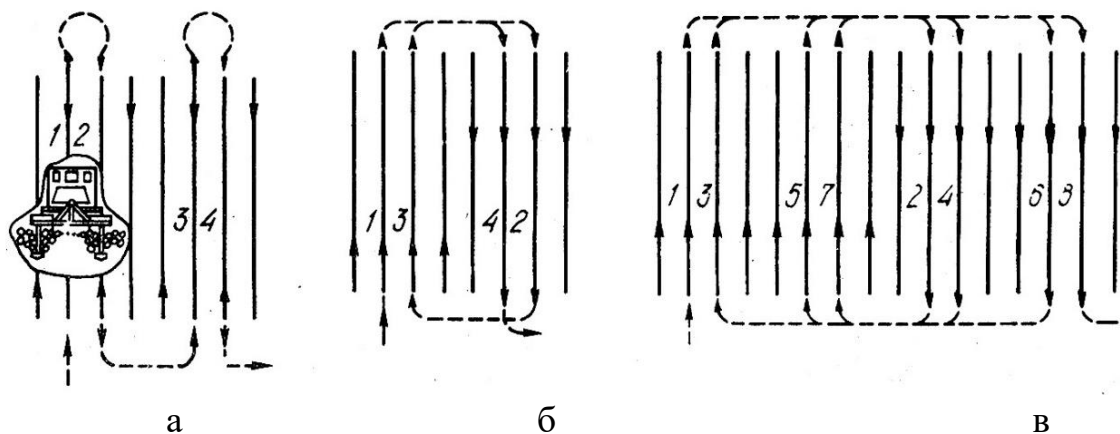


Рисунок 1.3 – Технологічні схеми руху розпушувача: а – човникова; б – загінна; в – перехресна; 1-8 – номери проходів

У умовах поперемінних періодів посухи і надмірної вологості такі технології можуть викликати суттєві негативні екологічні наслідки через посилення промивного режиму земель. При надлишку вологи 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 дрена, 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

грунту до відповідних нормативних (або рекомендованих) кількісних показників, визначених галузевими вимогами. Характеризується *коефіцієнтами розпушення, повноти, структурності, різнозернистості розпушення, додатковою вологоємністю ґрунту та енергетичною ефективністю.*

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

За А.М.Зеленіним 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 [15]

$$k_p = \frac{V_p}{V}. \quad (1.1)$$

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 [15].

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 поперечному перерізі $F_p + F_n$ [193]

$$k_n = \frac{F_p}{F_p + F_n}. \quad (1.2)$$

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 [103], якою є *коефіцієнт структурності k_c* – відношення за масою ґрунтових агрегатів "цінних" розмірів C до сумарної маси агрегатів інших розмірів B

$$k_c = \frac{C}{B}. \quad (1.3)$$

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 [197].

Нова методика оцінки структурності ґрунту була запропонована кафедрою сільськогосподарських машин Дніпропетровського державного аграрного університету [122]. 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 і характеризує розміри агрегатів, які утворюються після проходження розпушувача. Він являє собою відношення середньо статистичних 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 , приведеного 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.

$$i = \frac{\sqrt[3]{hbk_L}}{D_{\kappa}}. \quad (1.4)$$

Ступінь подрібнення i для отримання агрономічноцінних структурних агрегатів 2...10 мм [70] повинен становити 200...2000 [122].

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

$$k_{зep} = \frac{D_{60}}{D_{10}}. \quad (1.5)$$

Теоретично оптимальне значення $k_{зep} \rightarrow 1$ при $2 < D_{60} < 10$ мм. У реальних умовах бажаним значенням буде $k_{зep} = 9...16$, хоча прийнятним значенням варто вважати значення $k_{зep} = 10...70$ [122; 22]. 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 [122]. 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_k

$$K_n = \frac{S}{S_k}. \quad (1.6)$$

Для визначення кратності подрібнення через технологічні параметри приймемо припущення, що утворені усереднені ґрунтоагрегати є правильної 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

$$K_n = \frac{S}{S_k} = \frac{h \cdot L}{l_{к.сер}^2}, \quad (1.7)$$

де h, L – відповідно, висота і ширина поперечного перерізу ґрунтової скиби; $l_{к.сер}$ – лінійний розмір усередненого ґрунтоагрегату.

Додаткова вологосмність 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 [27]

$$\Delta Wh_p^0 = Wh_p^0 - Wh_n^0, \quad (1.8)$$

де ΔWh_p^0 – показник додаткової вологосмності 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

$$E_e = \frac{E_n}{E_e}, \quad (1.9)$$

де E_n – енергетичний потенціал вирощеної продукції, Дж; E_v – 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 [105]. Питаннями енергетичної оцінки ефективності аграрного природокористування на осушених землях займалась О.А. Стахів [170]. 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 [27].

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, електро-хімічних ефектів;
 - комбіновані;
- за агрегуванням: навісні, напівнавісні, причіпні;
- за компонуванням: рядні, ярусні, комбіновані;
- за кількістю робочих елементів: 1-, 2-, багатоелементні;

- за формою робочого елемента: полицеві, долотовидні, дискові, ножові.

Активні глибокорозпушувачі відносяться до імпульсно-силових машин. При розпушенні ґрунтів вони використовують різні види вібрації і ударних навантажень на ґрунт. Робочий орган активного глибокорозпушувача розробляє ґрунт за рахунок потоку енергії, що надходить від автономного джерела, що дозволяє використовувати додаткову коливальну енергію для зменшення енергоємності розпушування ґрунту. Але є виправдано для поверхневих розпушувачів і на малих швидкостях переміщення розпушувача. Зі зростанням швидкості переміщення тягового засобу і збільшенні глибини ефект від вібраційних робочих органів значно зменшується, а енерговитрати значно підвищуються в порівнянні з пасивними робочими органами [68].

Робочий орган *пасивного глибокорозпушувача* розробку ґрунту і поздовжнє його переміщення здійснює за рахунок тільки тягового зусилля базового тягача.

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

Тому найбільшого розповсюдження набули пасивні глибокорозпушувачі. Вони надійні, прості за конструкцією і в експлуатації, але потребують потужніших тягачів.

Для глибокого розпушування застосовують досить прості в конструкції та надійні в роботі знаряддя, що включають раму на опорних колесах або навісну з встановленими на ній декількома розпушувальними робочими органами (рис. 1.4) [70; 68].

Вітчизняні та закордонні аграрні й меліоративні глибокорозпушувачі традиційної (рис. 1.4, а, б) та більш сучасних (рис. 5.3, 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. 1.9-1.11) [128].

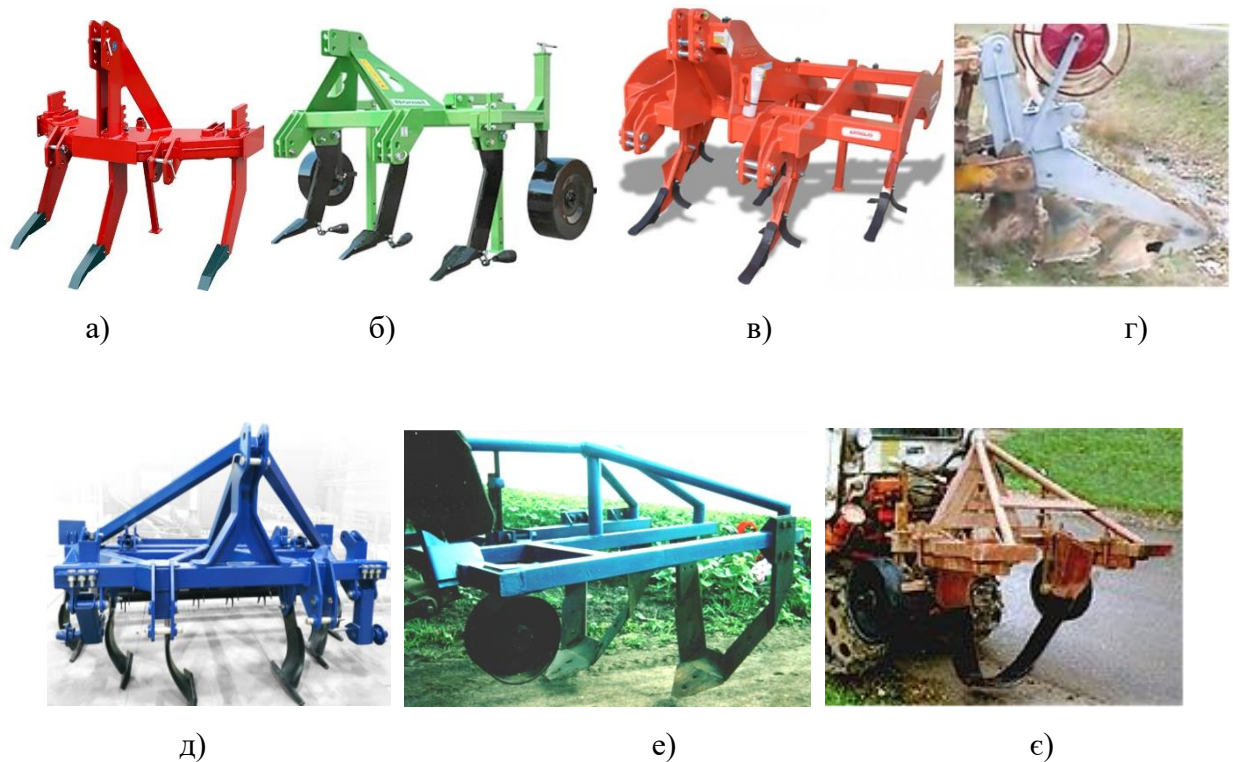


Рисунок 1.4 – Конструкції пасивних глибокорозпушувачів: стоякові: а) – з долотом; б) – з дренажами; в) – з поширювачами; г) – ярусні відвальні; д) – з вигнутими стояками; периметрові: е) – клинові; є) – дугові.

Таблиця 1.9 -Технічна характеристика меліоративних глибокорозпушувачів традиційної конструкції

Показники	РУ.65.2,5	РУ-45	РГ-0,8А
Агрегатується 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 1.10 – Технічна характеристика агрономеліоративних
глибокорозпушувачів вітчизняних виробників

Параметр	Марка агрегату						
	ГР-1,8	ГР-2,5	ГР-3,4	ГР-4,3	ГР-6,0	АГР-2,3	АГР-3,2
Тип обладнання	Навісне						
Ширина захвату, м	1,8	2,5	3,4	4,3	6,0	2,3	3,2
Робоча швидкість, км/год	8-12						
Продуктивність, га/год	1,3-2,0	2,0-2,7	2,7-3,5	3,5-4,5	5,0-6,0	1,5-2,5	2,5-3,6
Глибина обробітку, см	25-45	25-50	25-50	25-50	25-50	до 50	до 50
Маса, кг	480	720	950	1290	5500	1180	2650
Потужність тягача, к.с.	90-120	130-180	160-220	260-340	380-450	150-200	250-300

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика агрономеліоративних
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	

Ґрунторозробні органи стоякових глибокорозпушувачів складаються з прямої або криволінійної стійки, на якій закріплено плоске, фігурне або комбіноване долото. Для прокладання дренажу (кротування) позаду стійки встановлюють дрени (рис. 1.4, б). Для збільшення зони розпушування на стояках додатково кріплять поширювачі (рис. 1.4, в). Ґрунторозробні органи розташовуються на рамі в плані – рядно, V– або Δ– подібно, в шаховому порядку (рис. 1.4, а-д) для розуцільнення масиву ґрунту місцевим тріщиноутворенням з розрізанням.

Ґрунторозробні органи периметрових глибокорозпушувачів виконуються у вигляді рамки яка має V–подібний, U–подібний, П–подібний та ін. профілі (рис. 1.4, е, є), що розуцільнюють масив ґрунту об’ємним тріщиноутворенням з вирізанням.

Конструкція стоякових глибокорозпушувачів з розміщенням робочих органів в один ряд (рис. 1.4, 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 [68].

Розміщення стояків глибокорозпушувача під кутом (рис. 1.4, 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 Hatzenbicher, іспанською фірмою Jutra, українською фірмою «KET Україна», і французькою Quivogne [68].

При шаховому розташуванні стояків глибокорозпушувача (рис. 1.4, в) 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). Глибкорозпушувачі даного типу випускаються фірмою США John Deer, французькими фірмами Vogel Noot, та Gregorie Besson, іспанською фірмою Jymra, та італійськими фірмами Machio_Gaspardo, та Badalini [68].

Розпушування ґрунту периметровими глибкорозпушувачами 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 глибкорозпушувачів такого типу дозволяють підвищити якість процесу розпушування, однак разом із цим зростає енергоємність розпушування за рахунок стиснення ґрунту між боковими ножами [122, 179].

Глибкорозпушувачі 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 проходу 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 лемеша і бокових ножів вгору до “денної” поверхні. Після проходу робочого органу піднятий ґрунт осідає під дією власної ваги і при цьому розпушується. Через особливість конструкції глибкорозпушувач складно налаштувати для різних ґрунтових умов [68].

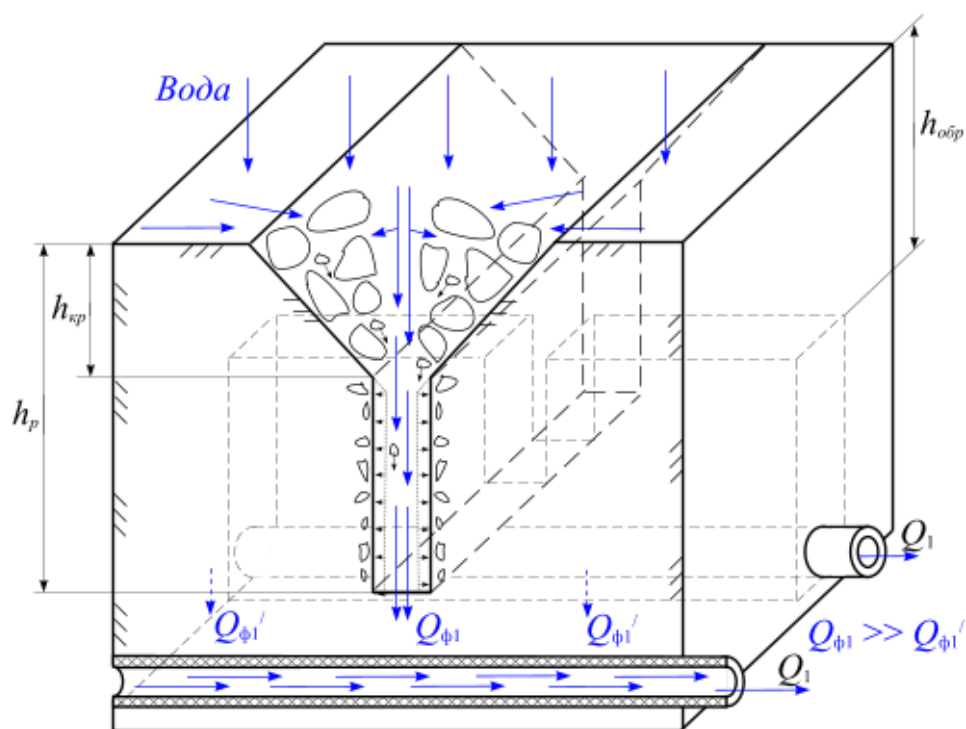
Стоякові глибкорозпушувачі є простішими але вимагають значних затрат енергії при розпушуванні, оскільки, при розпушуванні ґрунту на глибину 0,45-0,65 м ширина робочих елементів долота складає від 30 до 120 мм, з відповідною їм критичною глибиною різання – 0,1-0,5 м. Отже дані глибкорозпушувачі частково працюють на закритичних глибинах, що

суттєво збільшує їх енергоємність. Стояки 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 [68].

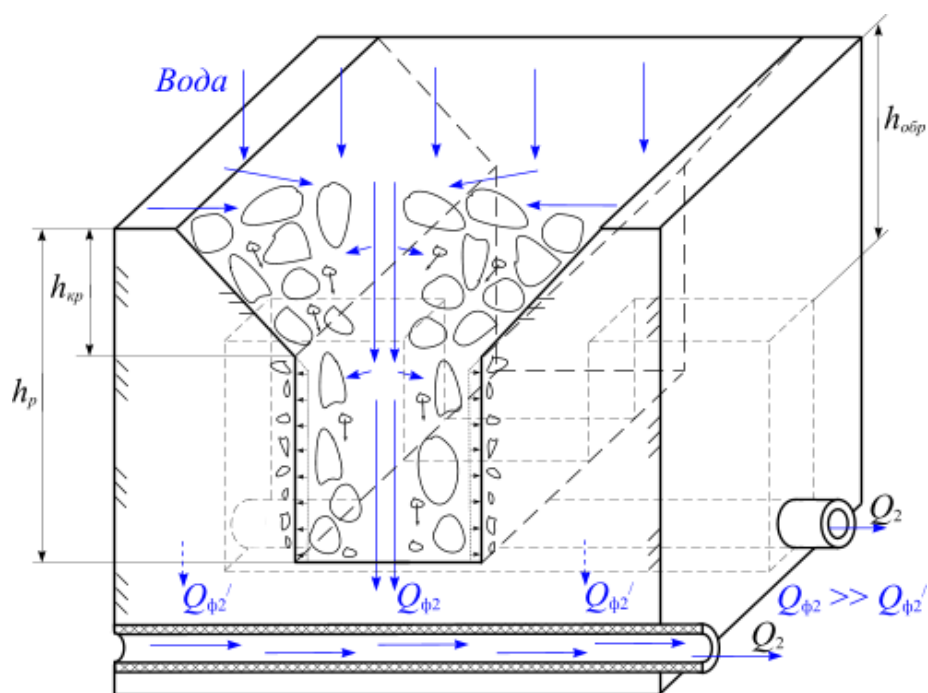
Як показує практика, при використанні традиційного глибокого розпушення ґрунту як додаткового заходу для підвищення ефективності роботи дренажу за щілинною чи смуговою технологіями фактично здійснюється тільки локальний вплив на продуктивну частину ґрунтового масиву (активний кореневмісний шар і зону аерації осушуваного ґрунту) з утворенням вертикальних фільтраційних каналів для інтенсифікації водовідведення поверхневого та ґрунтового стоку. (рис. 1.5).

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 проходження пасивного глибокорозпушувача стоякового або периметрового типу розпушений ґрунт у різних зонах має різну ступінь розпушення. Глибокорозпушувачі стоякового типу (одно- і багатостоякові) під час проходження 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 щілинною чи смуговою технологіями, під час розпушення тисне на нього знизу вгору і в сторони, чим запресовує і затирає його у бокові стінки.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Принципова схема традиційного глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів: 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

За аналізом профілів традиційного розпушення (див. рис. 1.5) можна виділити такі характерні ознаки:

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

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

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 [54; 7; 51; 177].

Питання щодо визначення критичної глибини розглядалися в роботах В.І. Баловнєва, Ю.О. Вєтрова, Р. Годвіна, Е. Дінглінгера, А.Б. Єрмілова, А.М. Зеленіна, 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 [51; 177].

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 [51; 177].

Отже, застосування глибокого розпушення як ефективного адаптивного заходу стримується недосконалістю існуючих технологій і засобів (рис. 1.6), які не забезпечують необхідну якість та ефективність розпушення, а тому потребують зміни підходів і подальшого удосконалення відповідно до таких вимог [108; 1; 81]:

- 1) поліпшувати водно-фізичні властивості та макроструктуру ґрунту з дотриманням агротехнічних рекомендацій агровиробництва [122];
- 2) забезпечувати високу акумулюючу та сорбційну здатності ґрунту, підвищувати ефективність його водорегулювання;
- 3) забезпечувати тривалу післядію;
- 4) забезпечувати ресурсозбереження, високу економічну та енергетичну ефективність;
- 5) відповідати сучасним принципам адаптивного 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 вологорегуючими принципами з врахуванням вже існуючих досягнень в цих питаннях.

1.4. 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. Зміна природніх 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. 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 вологoreгулювання 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 вологoreгулюючими принципами з урахуванням сучасних змінюваних умов і вимог.

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

2.2. 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 обробітку ґрунту і зміни 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.Кушнар'ов, 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 обробітку.

Питання зниження питомої енергоємності глибокої розробки ґрунту в різних умовах розглядалися в роботах В.І.Баловнєва, Ю.О.Вєтрова, 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 [56].

Деякі функціональні переваги глибокорозпушувача нового типу з пошаровим відвальним принципом дії були відмічені і в подальшому використані Кожушком Л.Ф. [43] при застосуванні глибокого пошарового

розпушення за смуговою технологією як допоміжного засобу при укладанні та роботі безпорожнинних водоакумулюючих дрен 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. Турченюком (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 [25; 188; 29]. Системність підходу до обґрунтування параметрів робочого органа глибокорозпушувача традиційної конструкції в звичайних умовах для неосушуваних ґрунтів відображено в роботах В.І. Ветохіна (2010) [11; 14; 12].

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 [25; 188; 29; 175]. 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 [11; 14; 12] 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 [175], в сукупності з вже згаданими системними підходами для меліоративних систем різного типу [25; 188; 29] та технічних засобів глибокого розпушення [11; 14], системна методологія стосовно осушувальної меліоративної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення має розглядатися у структурно-ієрархічному взаємозв'язку технічних засобів і технологій глибокого розпушення з природно-меліоративним режимом та еколого-економічним ефектом, у вигляді структурно-ієрархічної схеми: *конструкція ↔ технологія ↔ режим ↔ ефект* (рис. 2.1).

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

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.

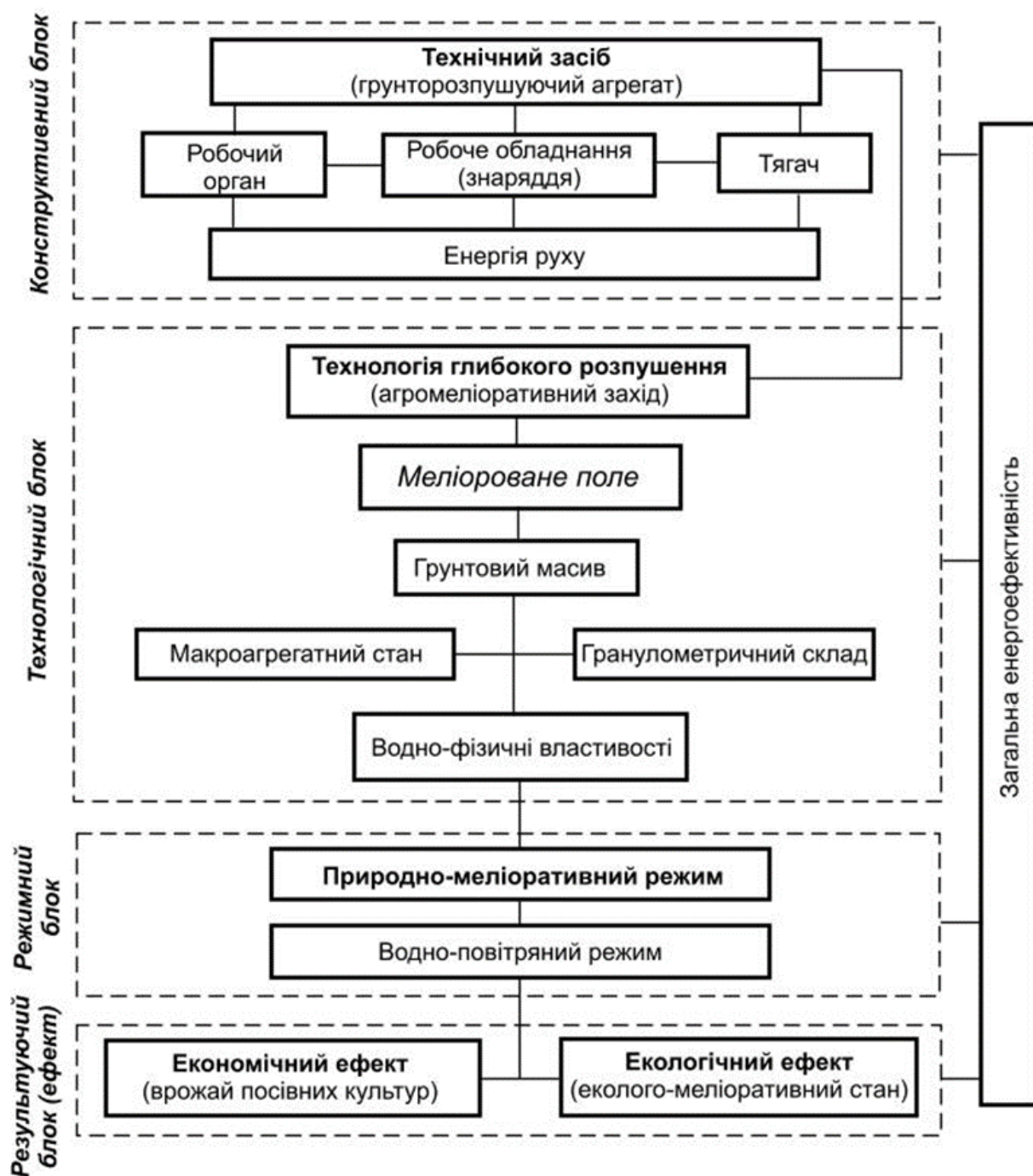


Рисунок 2.1 – Структурно-ієрархічна схема взаємозв'язку різномірних складових складної природно-технічної еколого-економічної меліоративної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

Кожна ланка такої системи (відповідні підсистеми) взаємо-пов'язані між собою як різномірні 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

різнорідних за своїм походженням ресурсів (грунт, енергія, вода) у їх взаємозв'язку.

В розвиток структурно-ієрархічної схеми взаємозв'язку різнорідних складових меліоративної системи як складної природно-технічної еколого-економічної системи із застосуванням технологій і технічних засобів глибокого розпушення меліорованого поля (див. рис. 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 різнорідних 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.

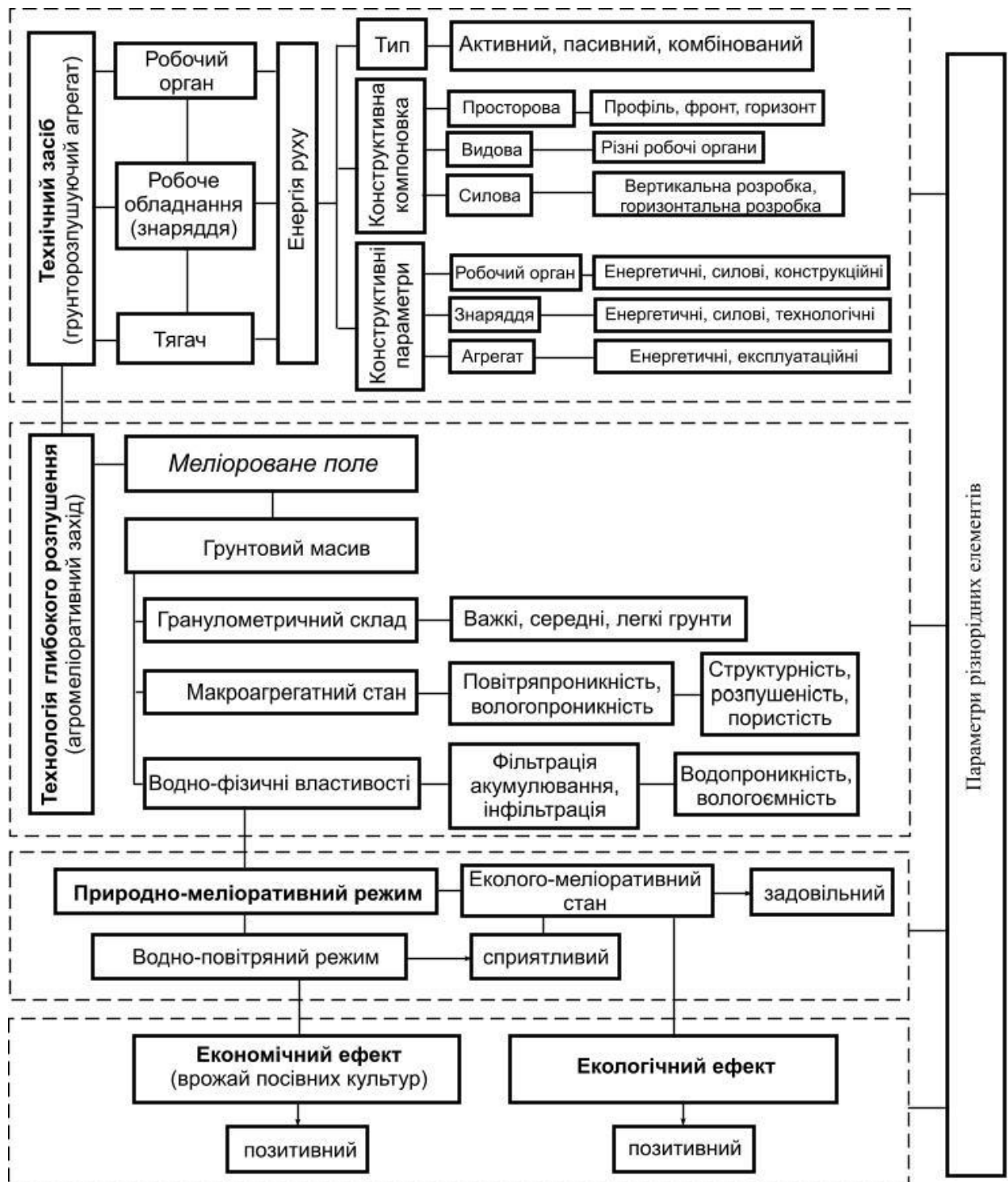


Рисунок 2.2 – Структурно-ієрархічна схема щодо необхідних принципів удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушувальних мінеральних ґрунтів на основі розгляду взаємозв'язків між параметрами різномірних елементів

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, рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Причинно-наслідкові зв'язки глибокого розпушення, удосконаленого за принципами енергоефективності та вологорегулювання як складової меліоративної системи

Таким чином, метою дослідження 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

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 [45; 3].

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 [3].

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 [3].

Багаторічними дослідженнями встановлено, що вплив агротехнічних заходів по обробітку ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур складає до 20% від загального впливу всіх технологічних процесів [150].

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 [47].

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 [172], особливостей енергозбереження [32], енергетичний аналіз складових інтенсивних механізованих технологій [106]. 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 ресурсощадних технологій та наукового обґрунтування кожного з елементів технологій [173].

Оцінювання технологій за сучасними методиками передбачає використання енергетичних еквівалентів техніки, речовин, добрив, матеріалів [123].

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 [72; 73; 85].

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 [11, 14] 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).



Рисунок 2.3 – Узагальнена схема технологічного процесу обробітку ґрунту для отримання врожаю за В.І. Ветохіним [11]

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 різнорідних 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* [85; 87;].

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 [$\text{м}^2 \cdot \text{кг} / \text{с}^2$]), 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 $P_m[L^1M^1T^{-2}]$ – тягове зусилля для подолання загального опору руху;
 $v[L^1T^{-1}]$ – швидкість руху ґрунторозпушувального агрегату;
 $t[T^1]$ – тривалість руху ґрунторозпушувального агрегату.

Таблиця 2.1 - Формалізація перетворення енергії в меліоративній системі при застосуванні глибокого розпушення

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

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 природніх опадів з акумулюванням їх енергії E_e в продуктивному шарі ґрунту.

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

де $\sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}]$ – межа міцності ґрунту;

$\Delta V_{zp}[L^3] = F_{zp}[L^2] \cdot L[L^1]$ – зміна об'єму шару ґрунту при зростанні площі вільної поверхні часток ґрунту;

$F_{zp}[L^2]$ – зміна площі поперечного перерізу шару ґрунту;

$L[L^1]$ – довжина шляху руху.

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

$$P_m[L^1M^1T^{-2}] \cdot v[L^1T^{-1}] \cdot t[T^1] \rightarrow \sigma_p[L^{-1}M^1T^{-2}] \cdot \Delta V_{cp}[L^3] + E_6[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow \\ \rightarrow A_m[L^2M^1T^{-2}] + A_n[L^2M^1T^{-2}] \rightarrow \Delta W[L^2M^1T^{-2}] \quad (2.3)$$

де $E_6[L^2M^1T^{-2}]$ – хімічна енергія води акумульованої в розпушеному ґрунті;

$A_m[L^2M^1T^{-2}]$ – робота техногенних режимних факторів;

$A_n[L^2M^1T^{-2}]$ – робота природних режимних факторів;

$\Delta W[L^2M^1T^{-2}]$ – приріст енергії врожаю агрокультур.

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 – ґрунторозпушувальний 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 *ґрунтове 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 *ґрунтове 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 *ґрунтове 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

Принципи 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 принципів полягає в наступному (рис. 2.4, а):

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

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

Практична реалізація змінених підходів із дотриманням енергоефективних принципів полягає в наступному (рис. 2.4, б):

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

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

Реалізація таких змінених підходів дасть змогу виконувати глибоке розпушення з наступними характерними ознаками (рис. 2.5):

- диференційоване контрольоване розпушення активних шарів;
- малоенергоємна розробка на докритичних глибинах;
- часткове перемішування гумусних шарів з нижніми;
- відсутність ущільнення нижніх шарів;

- безпосередній глобальний вплив на ґрунтовий масив;
- рівномірне посилення горизонтальної фільтрації з акумулюванням;
- зменшення промивного режиму;
- зменшення навантаження на дренаж;
- вирівнювання навантаження по довжині дрени;
- $Q_{\phi 1} > Q_{\phi 2} > Q_{\phi 3}$; $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

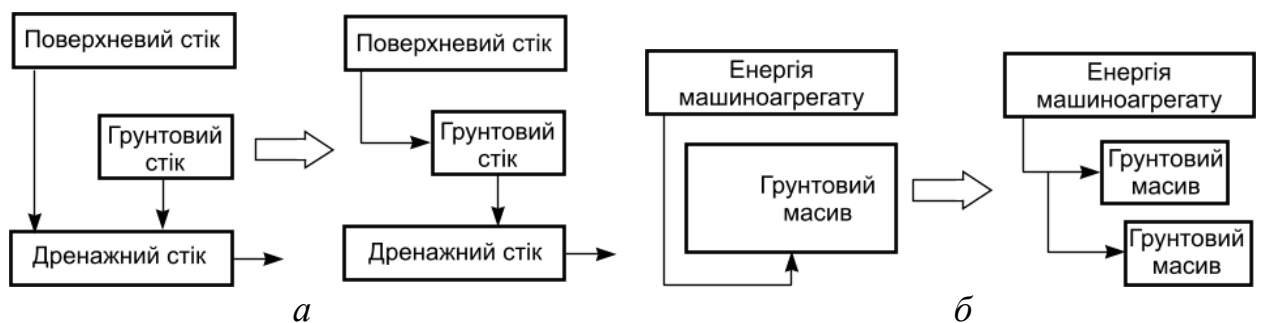


Рисунок 2.4 – Принципи зміни підходів до раціонального використання водних і земельних ресурсів меліорованих земель: *а* – вологорегулювання; *б* – енергоефективності.

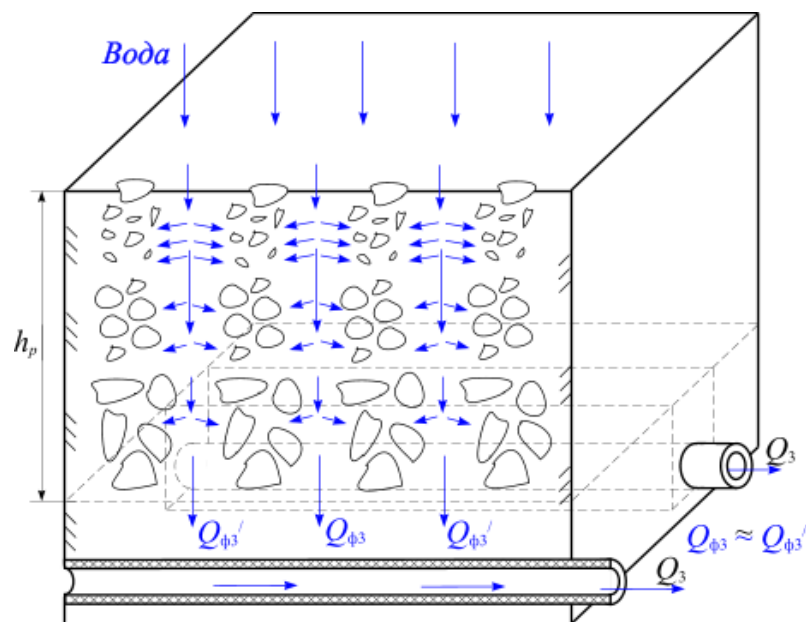


Рисунок 2.5 – Принципова схема до удосконалення глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів з врахуванням зміни підходів: Q_3 – об'єм дренажного стоку дрени; $Q_{\phi 3}$ – фактичний об'єм ґрунтового стоку; h_p – глибина розпушення

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. 2.6.



Рисунок 2.6 – Фактори впливу на споживчі властивості технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

2.6. Висновки до розділу

- 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 енергоемності 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.
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 напрямку потоків енергії від робочих органів з вертикально-висхідних до всього масиву відразу на горизонтально-диференційовані по шарам ґрунту.

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

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 [203; 219; 262; 228; 259; 210].

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 адаптації до збільшення величини 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 [146; 2; 144; 143; 270; 244; 205].

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 [240; 39; 247; 242; 239; 272].

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 [270].

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 [20].

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 зросте в 1,7 рази. В цілому в нижніх шарах зораного ґрунту може бути засвоєно одночасно більше 2-х злив [21].

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. [99]. 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 [149]) або різнорозмірних куль (Мічурін [99]). 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 [94].

Серед моделей структури, які використовують принцип подібності («упорядковані» моделі), відомі капілярні моделі. У капілярній 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 макроелементів і їх просторового розташування [94].

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 [94].

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 [179].

Подрібнення ґрунтової скиби робочим органом проходить в декілька етапів [179; 120]. 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.

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% [5] 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 [4; 264; 215; 275; 276].

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 [264].

При вирішенні екстремальної задачі щодо найбільш щільної упаковки куль одиничного радіуса доводиться, що таке розташування може бути досягнуто за гіпотезою Кеплера про найщільніше пакування однорозмірних куль у тривимірному просторі, коли центри куль утворюють кубookтаедр так, що кожна куля стосується 12 інших, а саме: шести – екваторіальних, трьох – нижнього шару і трьох – верхнього (рис. 3.1, а).

Кубookтаедр 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 кубookтаедра 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.

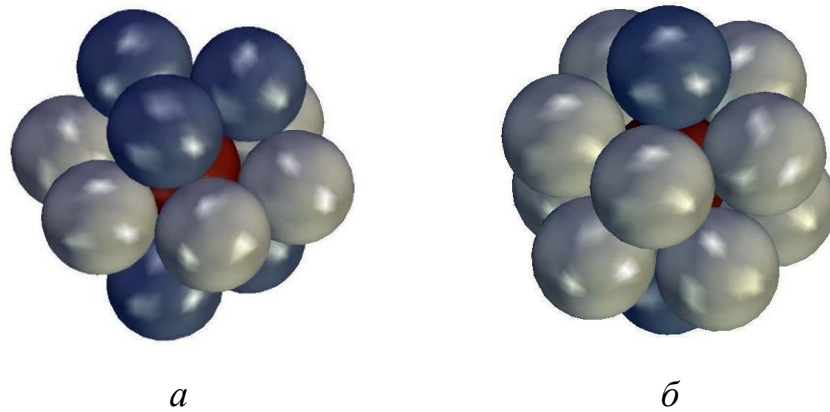


Рисунок 3.1 – Розміщення подрібнених макроагрегатів ґрунту після розпушення: *а* – розміщення кубооктаедром; *б* – розміщення ікосаедром

Таким чином, кожна система центрів матеріальних куль в просторі розбиває його на опуклі багатогранники [19]. 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 кожен ґрунтову кулю припадає $1/4$ шпарини.

З визначення коефіцієнта розпушення можна записати:

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

де V_k – об'єм ґрунтової півкулі, $V_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$; $V_{ш}$ – 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. 3.2, 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. 3.2, 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%.

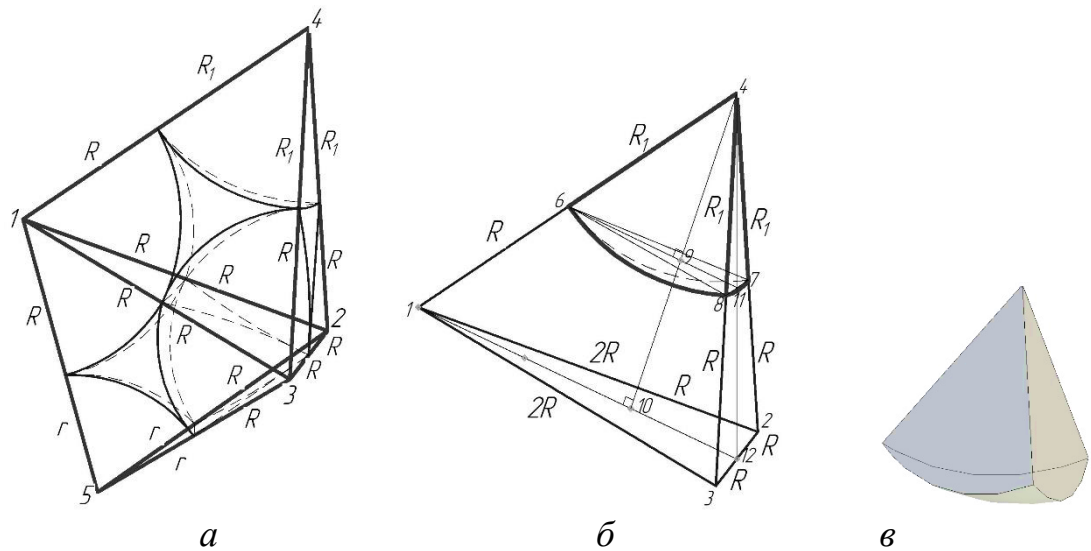


Рисунок 3.2 – Схема тетраедрів між центрами ґрунтових куль: *а* – два види тетраедрів між центрами п'яти куль трьох стадій подрібнення; *б* – схема розрахунку об'єму пірамідального сектору, що вирізається; *в* – моделювання пірамідального сектору в САПР

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

$$V_{R(R_1)} = \frac{1}{3} \left(\frac{RR}{R+R} \right)^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1+\frac{R_1}{R}}) \sqrt{\left(\frac{R}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R} \sqrt{\frac{R}{R}} \right) = 0,1R^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1+\frac{R_1}{R}}) \quad (3.6)$$

$$V_{R(r)} = \frac{1}{3} \left(\frac{RR}{R+R} \right)^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1+\frac{r}{R}}) \sqrt{\left(\frac{R}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R} \sqrt{\frac{R}{R}} \right) = 0,1R^3 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1+\frac{r}{R}}) \quad (3.7)$$

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

$$\begin{aligned} V_{3RR_1} &= \frac{1}{3} S_{123} h_4 - 3V_{R(R_1)} - V_{R_1} = \\ &= \frac{R^3}{\sqrt{3}} \left(\sqrt{\left(\frac{R_1}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} - 0,52 \operatorname{ctg}(\arcsin \frac{1}{1+\frac{R_1}{R}}) - \left(\frac{1}{\frac{R}{R_1} + 1} \right)^3 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R} + 1 \right)^2 - \frac{4}{3}} \left(1 + 0,55 \frac{R}{R_1} \sqrt{\frac{R}{R_1}} \right) \right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

де S_{123} – площа рівностороннього трикутника з вершинами 1, 2, 3 в основі тетраедра; h_4 – висота на основу з вершини 4.

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

$$V_{3Rr} = \frac{1}{3} S_{123} h_4 - 3V_{R(r)} - V_r =$$

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

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.

Тоді (3.8), (3.9) запишуться наступним чином:

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

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

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

$$V_{uu} = \frac{5}{4}V_{3RR_1} + \frac{5}{4}V_{3Rr} \quad (3.13)$$

Тоді для коефіцієнта розпушення

$$k_p = 1 + \frac{\frac{5}{4}V_{3RR_1} + \frac{5}{4}V_{3Rr}}{\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3}\pi R^3} = 1 + \frac{15V_{3RR_1} + 15V_{3Rr}}{8\pi R^3}; \quad (3.14)$$

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 $k_p=f(E_c/E_p)$.

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

Співвідношення E_c/E_p є залежним від типу ґрунту та вологості [26, 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 врахуванням (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 [179], що буде доречним показати на цьому ж графіку. (рис. 3.3.):

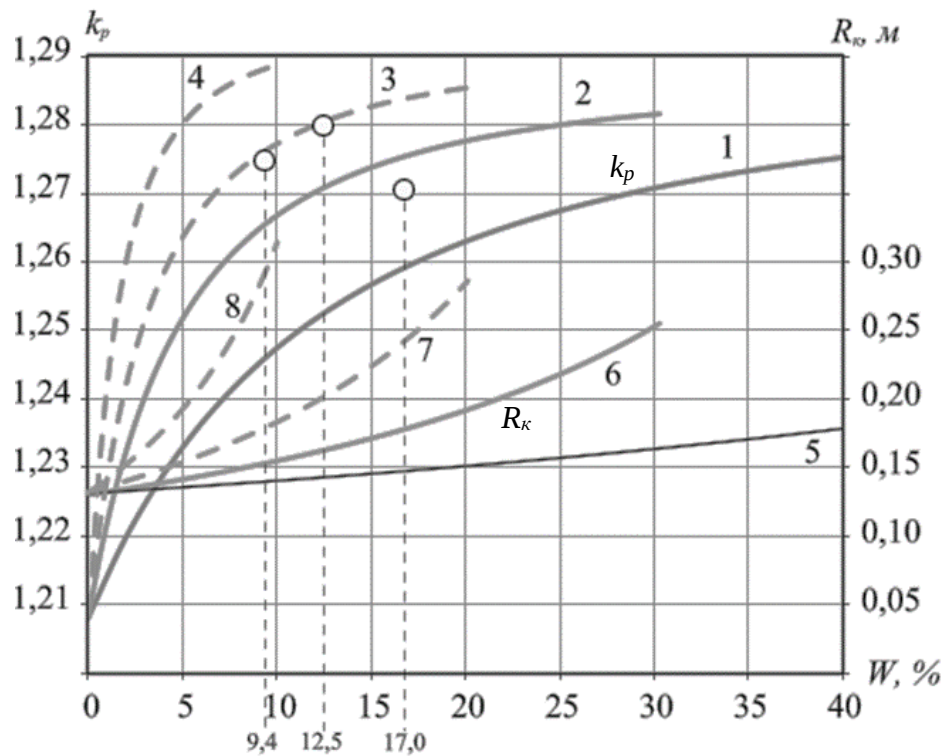


Рисунок 3.3 – Графічні залежності коефіцієнта розпушення та радіуса деформації ґрунтової скиби від вологості: 1-4 – коефіцієнта розпушення; 5-8 – кінцевого радіуса деформації ґрунтової скиби, відповідно, для глини, суглинку, супіску, піску; о - експериментальні значення.

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 тетраедрної моделі розміщення ґрунтових макроагрегатів, більш доцільною в даному випадку буде вибір за основу тетраедрно-октаедрної моделі (див. рис. 3.1, а).

Експериментальні значення на рис. 3.3 отримано на лабораторному ґрунтовому каналі: ґрунт – суглинок, $C_{y0}=4-7$, 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 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%.

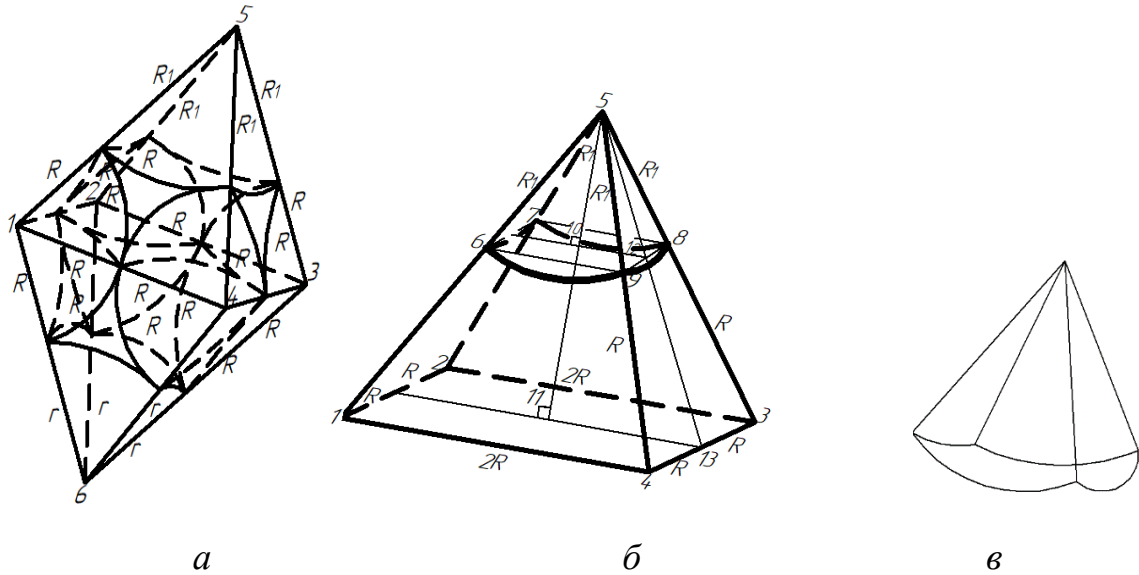


Рисунок 3.4 – Схема октаедрів між центрами ґрунтових куль: *а* – два види октаедрів між центрами п'яти куль трьох стадій подрібнення; *б* – схема розрахунку об'єму пірамідального сектору, що вирізається; *в* – моделювання пірамідального сектору в САПР

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

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 вологості

Водно-фізичні властивості розпушеного 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 [265].

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 вологості, 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 85x65x17 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 МН-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.

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, рис. 3.5, а.

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

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 , г		Час фільтрації
Діаметр куль, d , мм	Кількість, n , шт	Об'єм спакованого масиву куль, V , мм^3	До занурення масиву куль	Після занурення масиву куль	1л води, t_f , с
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

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

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

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

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

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

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

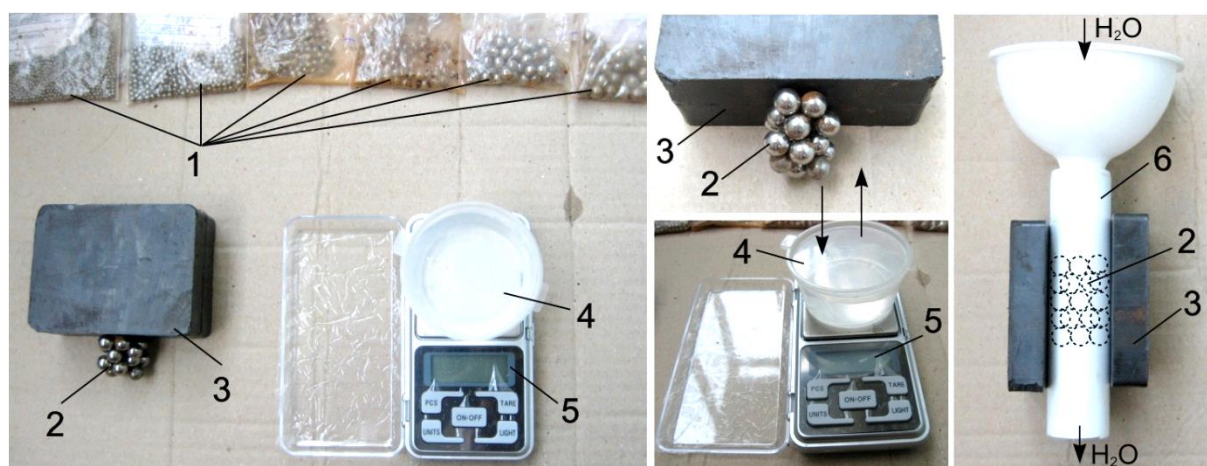
Для візуальної оцінки характеру зміни водно-фізичних характеристик (найменшої вологоємності, коефіцієнта пористості, часу фільтрації) від крупності частинок насипної структури масиву отримано і побудовано апроксимаційні залежності (3.21) та (3.22) (точність апроксимації 0,93-0,99), рис. 3.5,б , в.

За рис. 3.5, б, 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, в.

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.

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

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



a

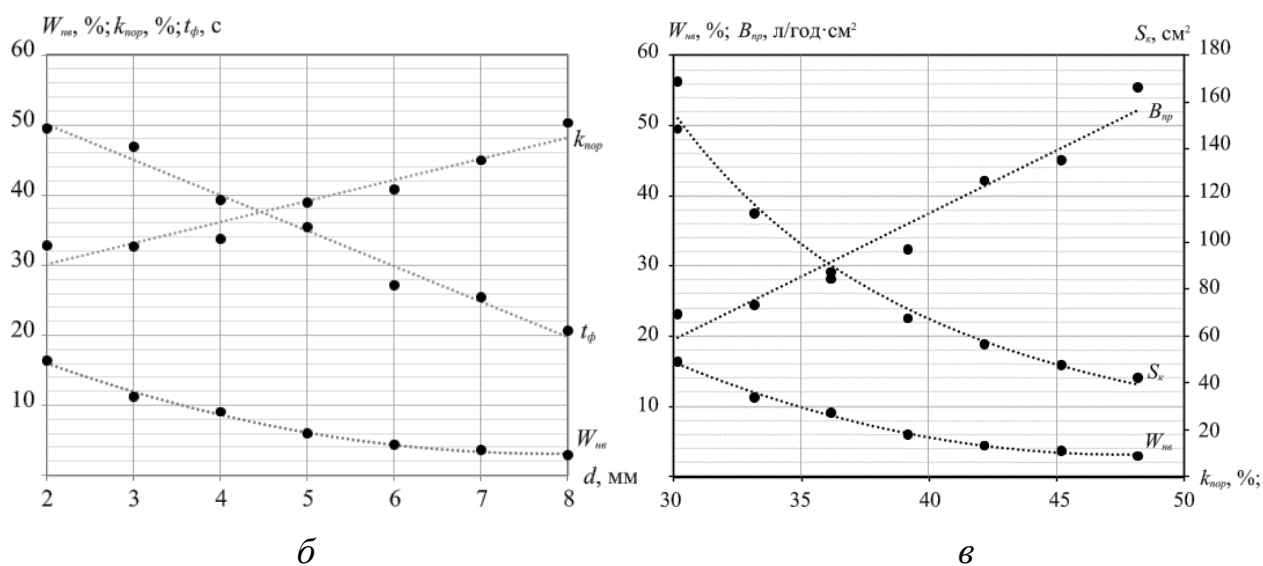


Рисунок 3.5 – Експериментальні дослідження зміни водно-фізичних характеристик: *a* – прилади і матеріали: 1 – набір металевих куль різного розміру; 2 – утримувана сукупність куль; 3 – утримуючий магніт; 4 – ємність з водою; 5 – ваги; 6 – наскрізна трубка; *б* – водно-фізичних характеристик залежність від крупності частинок насипної структури масиву; *в* – водно-фізичних характеристик залежність від коефіцієнта пористості

Енергетичну ефективність отримання величини вологоємності E_w можна оцінити за відношенням її відносного приросту $\Delta W_{нв}/W_{нв}$ до відносного

приросту площі поверхні контакту $\Delta S_K / S_K$, яка є пропорційною до необхідної енергії подрібнення за існуючими теоріями [122].

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

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 $W_{нв} = f(d)$ для кожного типу ґрунту та визначити раціональні розміри частинок ідеалізованої насипної структури масиву за відносним енергетичним критерієм, рис. 3.6.

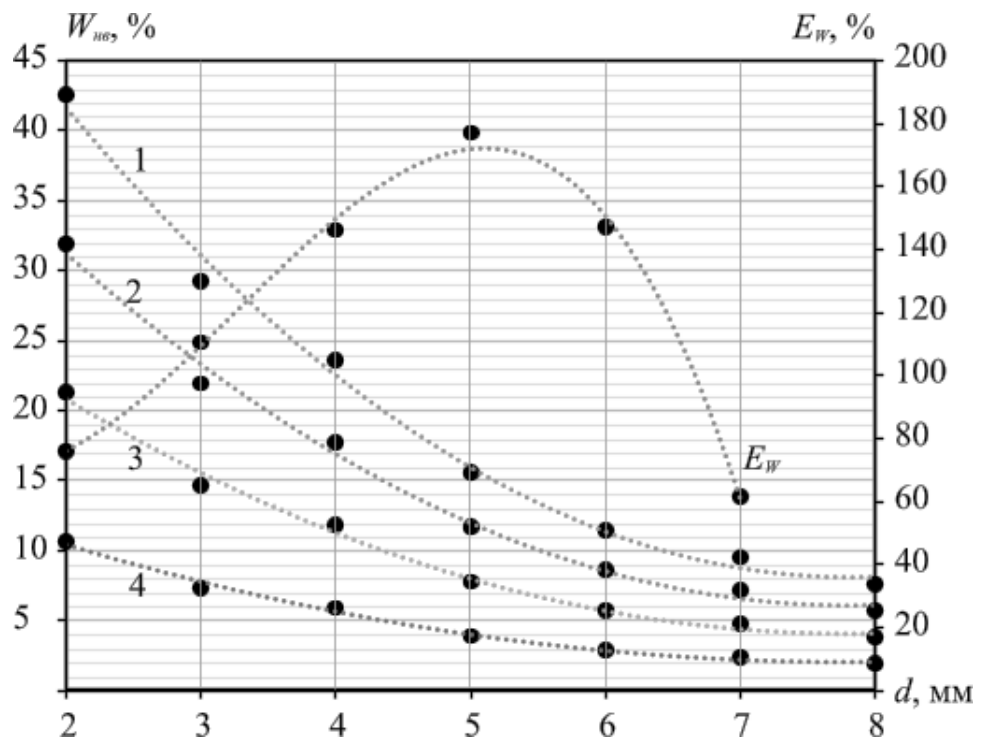


Рисунок 3.6 – Раціональні розміри частинок ідеалізованої насипної структури масиву: 1 – глинисті ґрунти; 2 – суглинкові ґрунти; 3 – супіщані ґрунти; 4 – піщані ґрунти

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 меліоративному розпушенні та необхідності значного здрібнення структури ґрунту цей процес є достатньо енергозатратним [208; 92; 237].

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 розходитьсся рух частинок, з перетворенням локального стиснення в розтягнення і зсувні деформації всього обсягу ґрунтового елементу. Крім того, використовуються особливості реології ґрунтів, а саме залежність межі міцності ґрунту від швидкості прикладання навантаження [122].

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. Кацигін 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. Кацигін 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 [122].

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 межагратних 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.Рітгінгера – 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 [122].

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

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

де k_n – коефіцієнт пропорційності, Н·м^{1,5}/кг; $d_{\text{ср}}$ та $D_{\text{ср}}$ – 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 $d_{\text{ср}}$ та $D_{\text{ср}}$ 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 [230].

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).

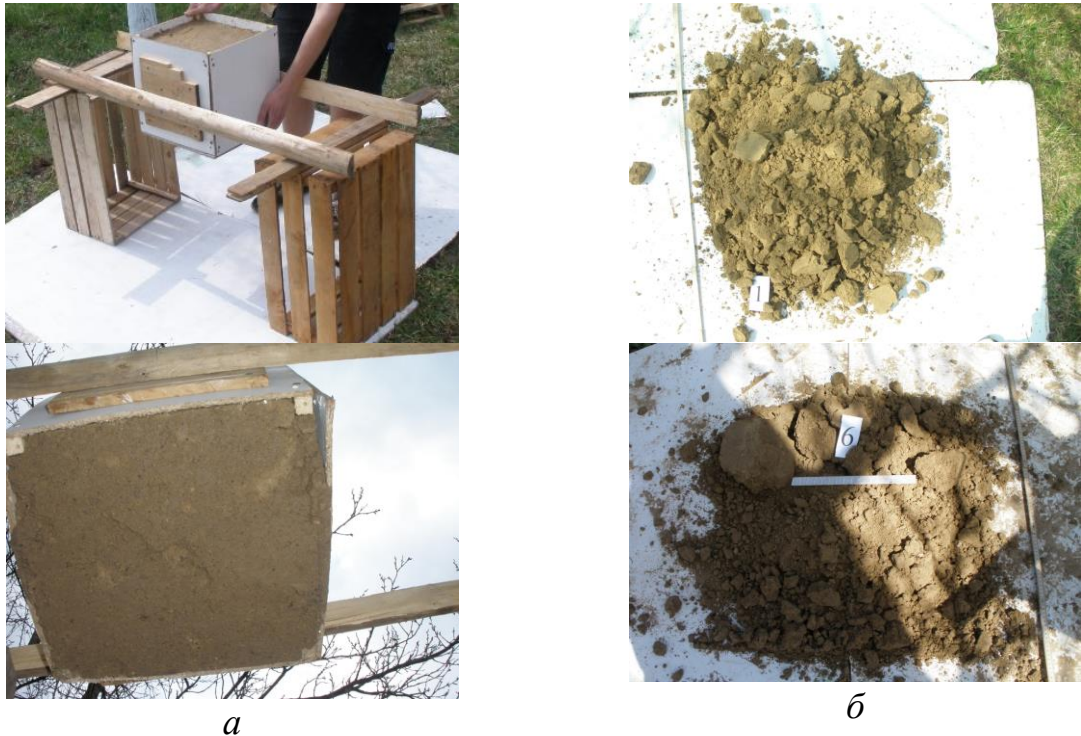


Рисунок 4.9 – Експериментальні дослідження подрібнення ґрунту:

a – 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 1,5x1,5 см.

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

Середній розмір фракції визначався за залежністю

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

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.

Таблиця 3.4 – Структура розпушеного ґрунту

№	Тип ґрунту	Маса зразка, кг	h , м	>15	10-15	5-10	3-5	1,5-3	<1,5
				см	см	см	см	см	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

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.

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

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

Коефіцієнт пропорційності згідно гіпотези подрібнення ґрунту запропонованої Бондом, з врахуванням виразу для потенціальної енергії визначався наступним чином

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

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 середніх розмірів частинок 10 та 25 мм, як найбільш бажаних в структурі розпушеного ґрунту, відповідно, орного та нижніх шарах (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	5,71	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	6,71	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	11,29	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 вологоакумулювання є обернено пропорційною до розміру макроструктури середовища. Найменші питомі енергозатрати на утворення при подрібненні макроструктури та створення достатніх умов для вологоакумулювання 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

грунту 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. 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 кДж/м³, для утворення середньогрудочкової – 50-130 кДж/м³.

4. ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ ВОЛОГОРЕГУЛЮЮЧИХ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ПРИНЦИПІВ УДОСКОНАЛЕННЯ 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 [130, 102].

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. Н.А. Качинський 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 глибисті (>10 мм) [10]. У відповідності з ОСТ 70.2.15-73 структурні агрегати за розмірами поділяються на декілька типів: глибиста 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 [101; 10; 103; 197; 122; 22; 100; 18; 98]:

- структура ґрунту для посіву повинна бути дрібнокомкватою 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 глибокорозпушувачів

У сучасному землеробстві все більше уваги приділяють питанням ресурсоощадних технологій вирощування культур, які базуються на зниженні інтенсивності обробітку ґрунту [129; 206; 266; 200; 254; 220; 241; 243; 253].

У нашій країні і за кордоном намітилися дві основні тенденції у механізації обробітку ґрунту [33; 37; 151; 196]: традиційна, яка передбачає застосування відвальних плугів, і ґрунтозберігаюча, яка включає: дискування, фрезерування, кротування, щільювання, застосуванням різних безвідвальних знарядь, у тому числі плоскоріжучих, чизельних, а також комбінованих агрегатів [31; 34; 48; 74; 119; 156; 199; 71].

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 [35; 158]. Ґрунтозберігаючий обробіток, порівняно з традиційним, має менші енерговитрати, дає кращу ерозійну стійкість ґрунтів, але має, на даний час, недостатні якісні показники [174; 48; 236]. До цього часу порядок критеріїв розробки робочих органів визначався як енерговитрати-якість, але інтенсифікація сільського господарства вимагає іншого порядку: якість-енерговитрати [121; 192]. Встановлено, що, обробіток ґрунту без обороту створює кращі умови для утворення гумусу та підтримання родючості ґрунтів [156].

На сьогодні до основних систем раціонального землекористування відноситься наступне [2; 38; 274; 257; 268; 236]:

- 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;
 - пожнивні відходи переміщаються 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;
 - пожнивні 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 повітро- 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 [38].

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 [129]

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

Медведєв В. В. та ін. [104], 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 помірною 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 [129; 263; 200].

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 макроагарегатним подрібненням ґрунту малоенергоємними способами [251; 248; 249; 246; 13].

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, дренажів 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. [56; 140; 141; 127; 153; 126].

В багатоярусних робочих органах різальна частина утворена декількома ґрунтотозробними елементами, які рознесені у профільній площині по вертикалі і горизонталі і закріплені на спільному корпусі таким чином, що

кожний вищий ґрунторозробний елемент під час руху робочого органу випереджає нижчий.

*а**б*

Рисунок 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

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 агро меліоративних заходів (щільюванні, 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 б (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

– агромеліоративних глибокорозпушувачів [227; 178; 79; 60; 138].

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 блокуваності 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, було запропоновано різні варіанти багаторясних робочих органів [179, 230], які представлені на рис. 4.2.

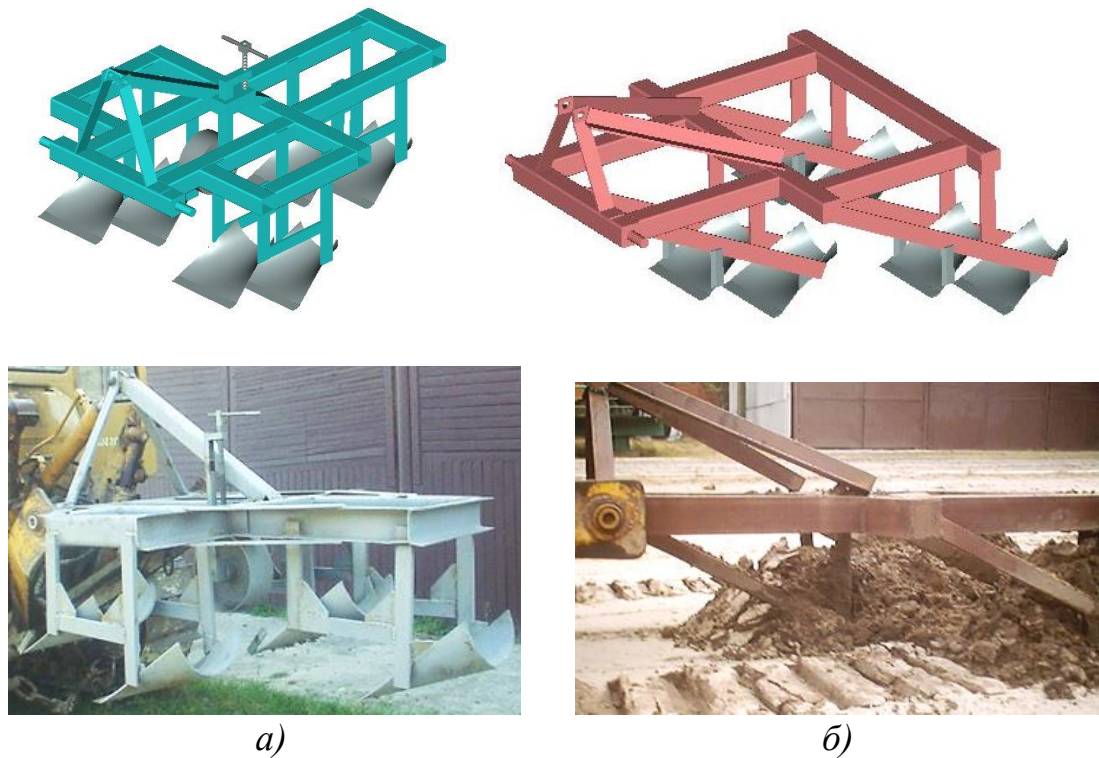


Рисунок 4.2 – Ярусні робочі органи для глибокого розпушення ґрунту: а) – з V-подібною компоновкою; б) – з Δ -подібною компоновкою

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.

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 [180; 95].

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 [181; 182; 185].

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).

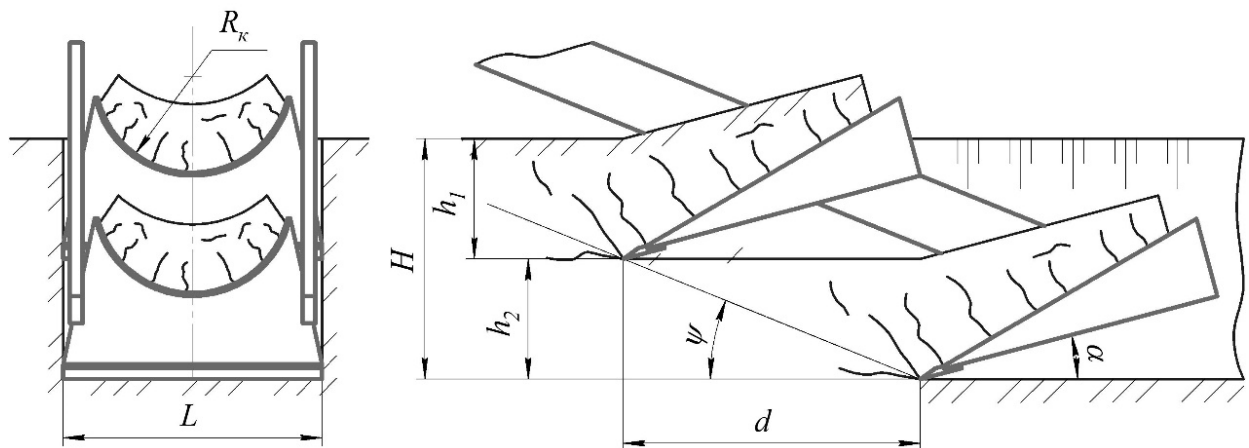


Рисунок 4.3 – принцип роботи ярусного робочого органа для глибокої диференційованої розробки ґрунту: R_k – радіус кінцевої кривизни поверхні робочого органа; L – ширина робочого органа; H – загальна глибина розробки; h_1 – глибина розробки ґрунту верхнім ярусом; h_2 – глибина розробки ґрунту нижнім ярусом; d – зміщення робочих органів; ψ – кут нахилу лінії ріжучих крамок 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 характеризується 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 [179].

Випробування проводилися з метою перевірки працездатності робочого органу, та визначення кількісних та якісних показників його роботи. В результаті випробувань встановлено наступне: заглиблювання робочого органу 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 $1,11-1,28 \text{ г/см}^3$, що відповідає коефіцієнту розпушення в межах $1,15 \dots 1,27$; тяговий опір зростає пропорційно глибині розробки і становив в середньому $25 \dots 28 \text{ кН}$; перемішування верхніх та нижніх шарів ґрунту при розпушенні не спостерігалось;

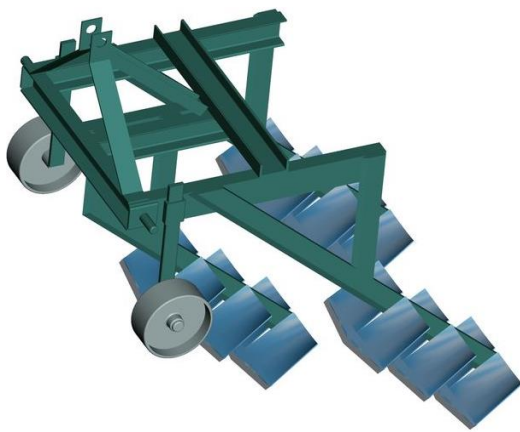
Проведені порівняльні випробування двоярусних конструкцій (рис. 4.2, а) показали кращу ефективність у роботі робочого органу А-подібного виконання, з поверхнями де головним чинником був лише згин ґрунтового шару. Встановлення опорного колеса дало змогу отримати кращий макрорельєф поля.

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 $1,23 \dots 1,32 \text{ г/см}^3$; у структурному складі розпушеного ґрунту переважали ґрунтові агрегати до $25-50 \text{ мм}$ 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)

Рисунок 4.4 – Ярусні робочі органи для глибокого диференційованого розпушення ґрунту з удосконаленими стояками: а) – триярусний спарений з косими лемешами; б) – двоярусний з прямими лемешами

При чому розміщення стояків залежить від типу ґрунту. Для важчих ґрунтів пропонується варіант з косими стояками (рис 4.4, а), а для легких – конструктивно простіший варіант з вертикальними стояками (рис. 4.4, б).

4.3. Шляхи удосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення

Для забезпечення реалізації необхідного удосконалення глибокого розпушення щодо сучасних умов та вимог пропонується *перехід від традиційних широкоживаних технологій глибинно-локалізованого і вертикально-спрямованого щільного або смугового розпушення до суцільного, удосконаленого за енергоефективними та вологорегулюючими*

принципами, диференційованого за профілем і глибиною поширеного 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 [62; 65; 64; 96; 67]. В робочих органах розпушувачів можливе використання декількох видів деформації і подрібнення ґрунту: відрив, розкол, сепарація, скол, роздавлювання, злам, згин, зсув, гравітаційний удар [122]. Різні способи мають різну степінь керованості і різну енергоємність.

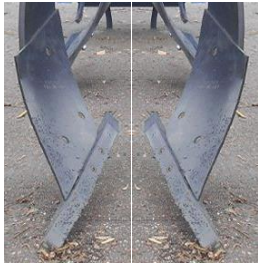
Для зменшення енергоємності процесу небажаними є способи в яких присутніми є притискання, затискання чи ущільнення, це – розкол, роздавлювання і зсув. З точки зору керованості процесу і диференціації розробки ґрунту пріоритетними вважаються способи, які є більш залежними від параметрів робочого органу 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 [198; 176; 40] визначено доцільність переходу від варіанту виконання поверхонь ґрунторозпушувальних елементів ярусних глибокорозпушувачів цільними жолобоподібного виду з рівномірним подрібненням (рис. 5.10, а) [139] до варіанту виконання у формі спряження долота-леміша з увігнутим стріловидним елементом змінної кривизни з поступовим подрібненням, рис. 4.5. [137].

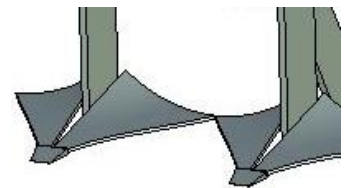
Процес розпушення ґрунту супроводжується формуванням елементної скиби, яка рухаючись вздовж поверхонь робочих органів поступово розкришується на ґрунтові агрегати величина яких пропорційна радіусу кривизни поверхонь на виході з них. Завдяки новому принципу дії, вперше з'явилась можливість контролювати процес розпушення ґрунту, а саме

отримувати бажану ступінь його розпушення у кожному горизонті ґрунту, тобто диференціювати структуру розпушення за глибиною.

Полицеві (ліві, праві) → Дискові → Радіально-полицеві →



Долото-радіальні
клиноподібні



Чизельні → Долото з поширювачами → Клинові →



Рисунок 4.5 – Формозміна конструкції розпушувальних робочих органів

Якщо розглянути принципи подрібнення ґрунтової скиби ґрунторозпушуючими робочими органами з рівномірним та поступовим подрібненням, то в загальному вони є схожими але присутні і деякі відмінності (рис. 4.6).

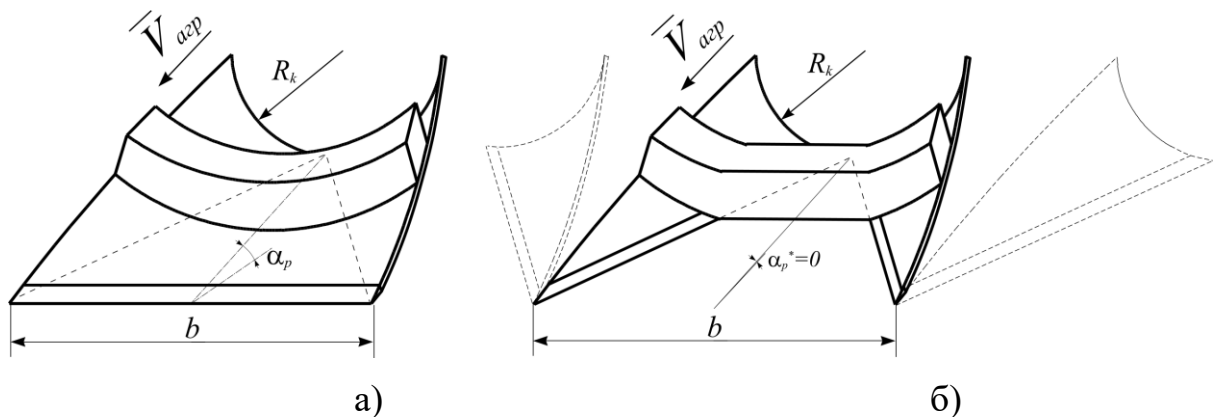


Рисунок 4.6 – Варіанти подрібнення ґрунтової скиби глибокорозпушувачем:

а) – рівномірне подрібнення; б) - поступове подрібнення

В першому варіанті, при русі розпушувача, стружка ґрунту, що зрізується кожним горизонтальним ножем, 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 ґрунту 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.

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 програш 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 поступової схеми подрібнення ґрунтової скиби проходить в декілька етапів (стадій) схожих до рівномірної схеми, рис. 4.7.

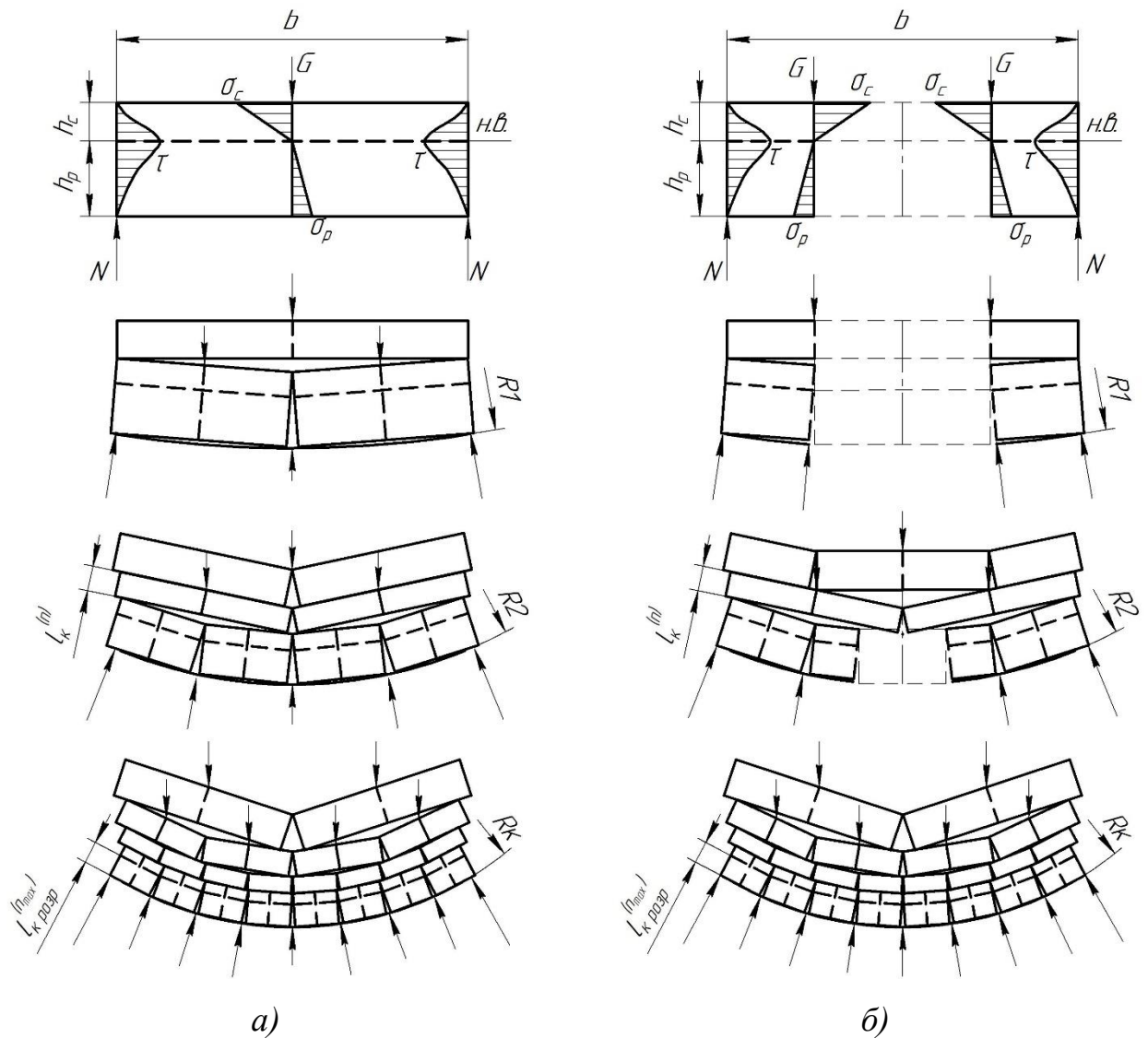


Рисунок 4.7 – Стадії подрібнення ґрунтової скиби: а) – рівномірне подрібнення; б) – поступове подрібнення

На кожному етапі, під дією нормальних зусиль реакції від поверхні робочого органа, 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 робочого органа шарі ґрунту. При схемі з поступовим

подрібненням, на відміну від схеми з рівномірним подрібненням, кількість ґрунтоагрегатів, які утворюються на початкових стадіях буде в 2-3 рази менше при тих же їх розмірах, що зменшує загальну енергоємність процесу. Недостаюча їх кількість доутворюється вже на кінцевих стадіях подрібнення.

Величина ґрунтоагрегатів, які утворюються на проміжній стадії подрібнення з урахуванням [183; 184] буде описано наступним чином:

$$l_{\kappa}^{(n)} = \frac{h}{E_c/E_p} \left(\frac{E_c/E_p}{E_c/E_p + 1} \right)^n; \quad (4.1)$$

де $l_{\kappa}^{(n)}$ – величина структурних агрегатів, які утворюються при $n^{\text{й}}$ -стадії подрібнення ґрунтового шару; E_c , E_p – відповідно, величина модуля пружності в зоні стиску та в зоні розтягу при згині ґрунтової скиби, h – глибина розробки в конкретному ярусі; n – номер поточної кількості циклів горизонтальних розшарувань, $n = 1, 2, \dots, n_{\max}$; $n_{\max}$ – максимальна кількість циклів горизонтальних розшарувань необхідних для отримання розрахункових ґрунтоагрегатів $l_{\kappa \text{ розр}}$.

$$n_{\max} = \ln \left(\frac{h(1 + 2[\sigma_p]/E_p)}{2R_{\kappa}[\sigma_p]/E_p} - \frac{1}{E_c/E_p} - 1 \right). \quad (4.2)$$

де $[\sigma_p]$ – граничне напруження розтягу.

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.

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).

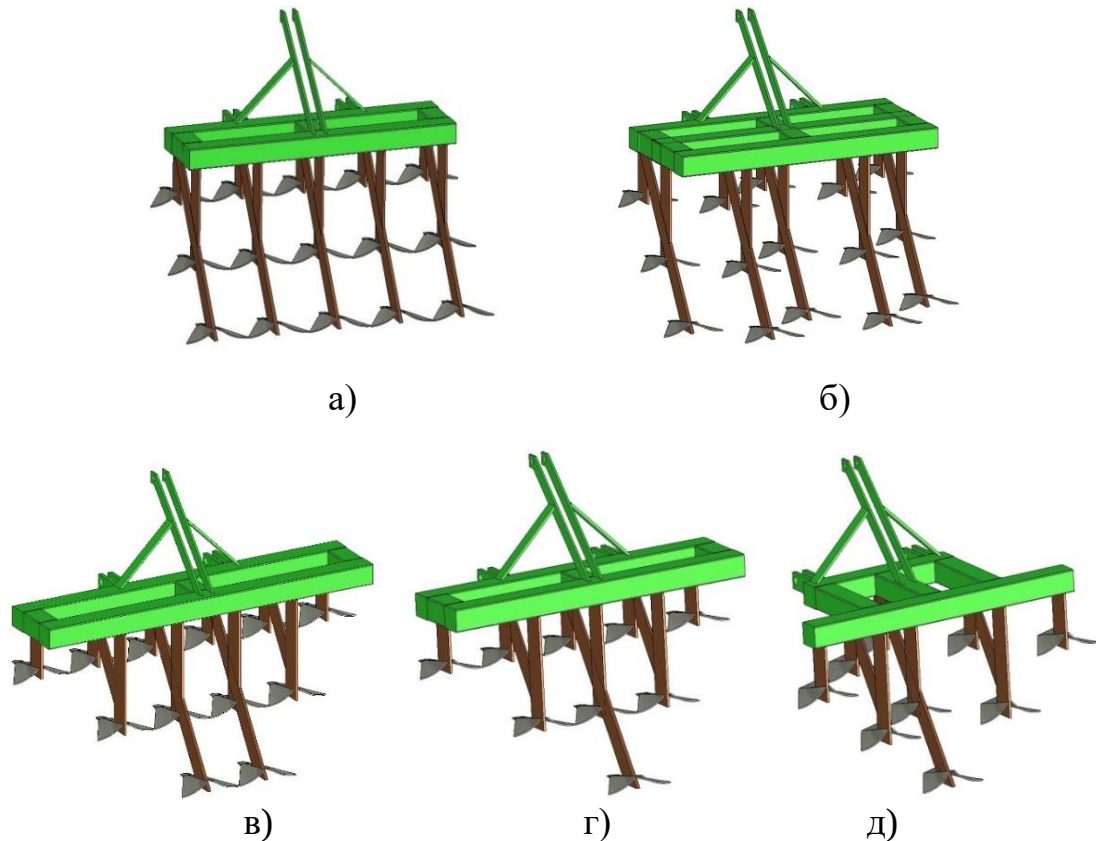


Рисунок 4.8 – Ярусні глибокорозпушувачі удосконаленої конструкції:
а), б) – для легких; в) – для середніх ґрунтів; г), д) – для важких ґрунтів.

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 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 макроагарегатним подрібненням ґрунту малоенергоємними способами.

2. Для забезпечення реалізації необхідного удосконалення глибокого розпушення щодо сучасних умов та вимог пропонується перехід від традиційних ширококовжливаних 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 вологоакумулюючої дрібногрудочкової макроструктури ґрунту та фільтраційної середньо-, крупногрудочкової макроструктури ґрунту з урахуванням призначення ґрунтових шарів і формуванням різного профілю розпушеної смуги ґрунту, прямокутного – для легких ґрунтів, трапецевидного – для середніх ґрунтів та трикутного – для важких ґрунтів.

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. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ

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 дрібногрудочкової структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а нижні шари розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину дещо 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 підшвою де потенційно розміщуються кореневі системи більшості сільськогосподарських 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.

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 водопропускнуою 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), щодо наступних задач:

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

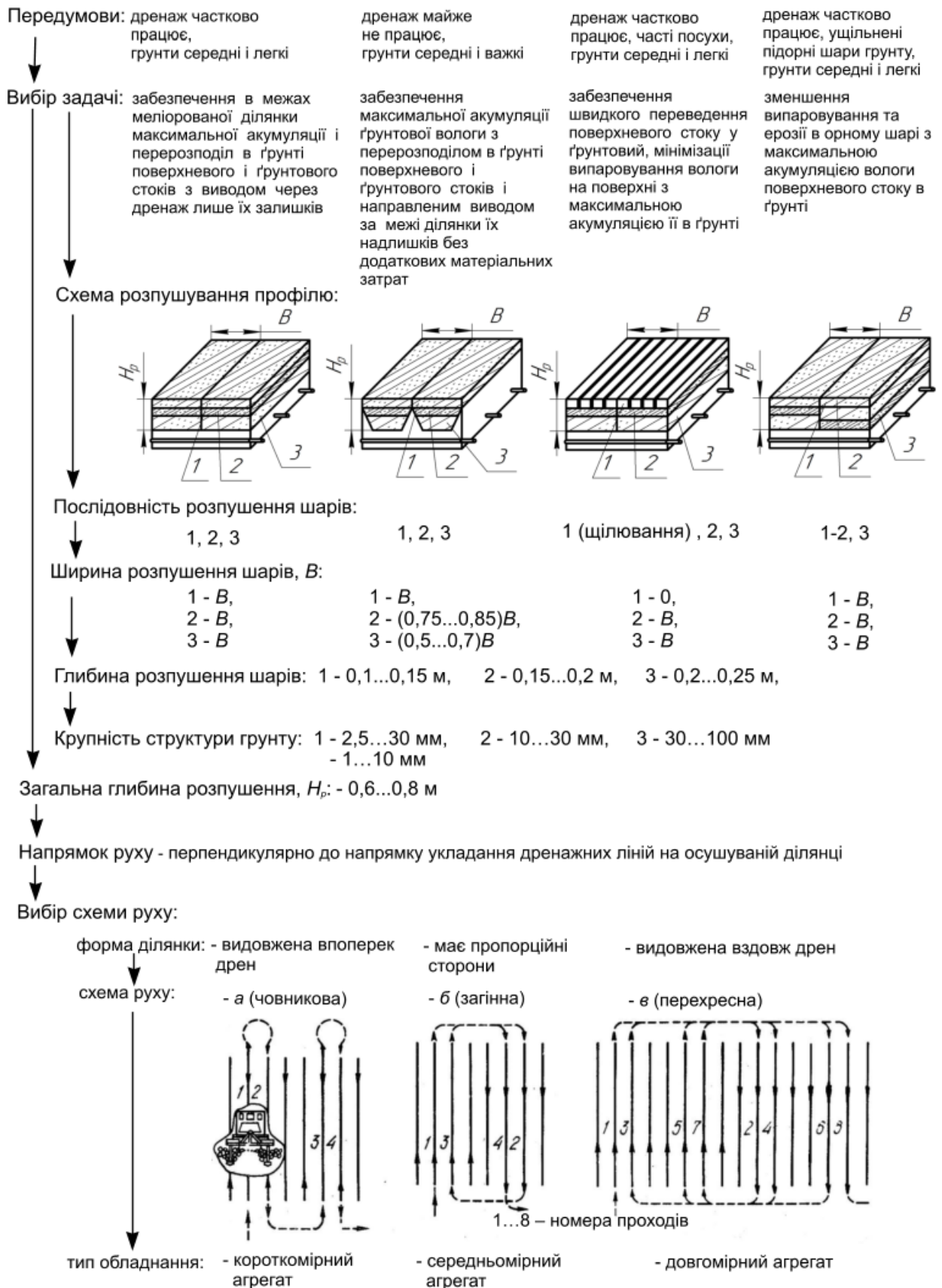


Рисунок 5.1 – Узагальнена технологічна схема удосконаленого глибокого меліоративного розпушення

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).

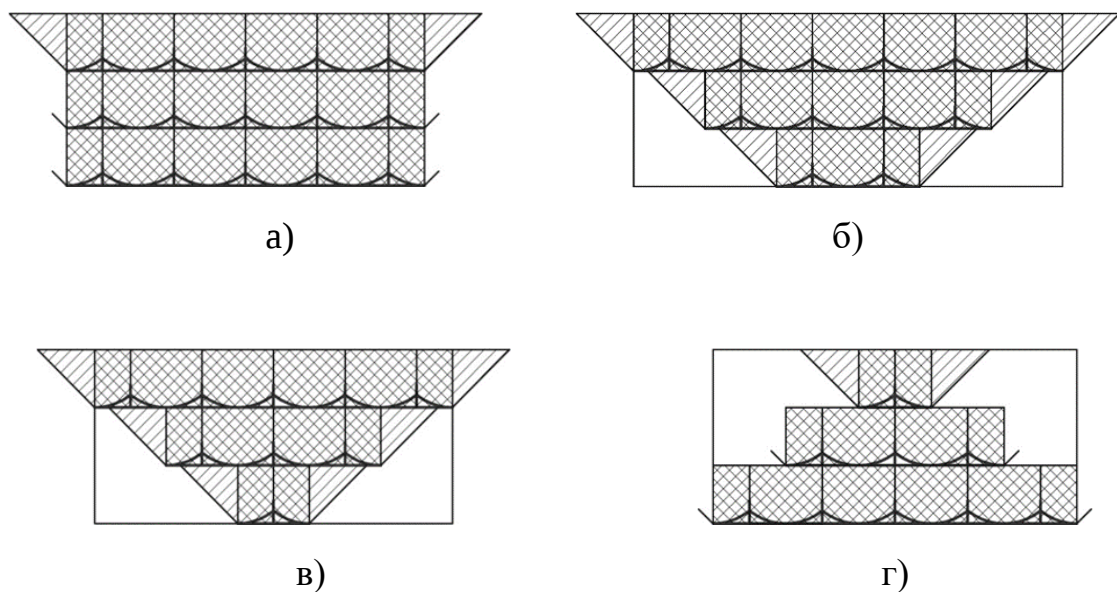


Рисунок 5.2 – Форма і повнота розпушення поперечного профілю: а) – прямокутний профіль (супіски і легкі суглинки); б) – трапецевидний профіль (середні суглинки); в) – трикутний профіль (важкі суглинки, глини); г) – обернений трикутний профіль (підґрунтове розпушення): $\times\times\times$ – повне структурне 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 [147; 231; 187; 232].

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 щілинне розпушення смужками з одночасним проведенням дренажу [162] та спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі при якому у верхньому шарі ґрунту розпушують плугову підшову регулювальним робочим органом, а в нижньому шарі проводять щілювання ґрунту на глибину меншу від залягання дренажних труб [161].

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 щілинному 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 середньо- та 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 вологоакумуючий 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 с.-г. 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. В результаті в кожному з шарів ґрунту отримується вологоакумуюча 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).

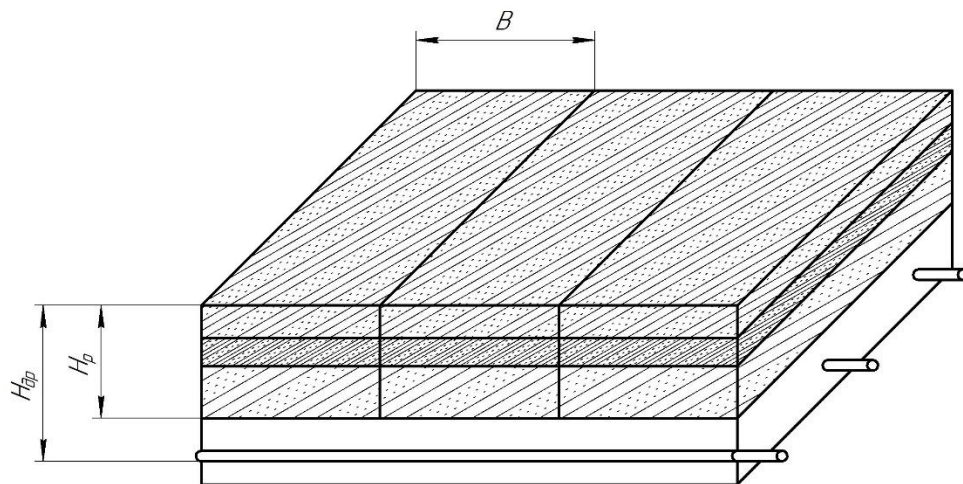


Рисунок 5.3 – Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [137] 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 дрібногрудочкової структури у його верхній чверті і зернистої та дрібногрудочкової структури у нижніх трьох чвертях, а плугову підшву разом з нижнім шаром розпушують до утворення крупно- та середньогрудочкової структури на глибину меншу від глибини залягання дренажу. 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, дещо прискорюватись, при цьому частина вологи ще акумулюється в структурі ґрунту, а кінцевий надлишок доходить до дрени і виводиться за межі меліорованої ділянки [163].

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 щілинне розпушення смугами з одночасним проведенням дренажу [162] 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 середньогрудчоватої структури на глибину меншу від глибини прокладання дренажу [163].

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 дрібногрудчоватої структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами до утворення крупно- та середньогрудчоватої 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).

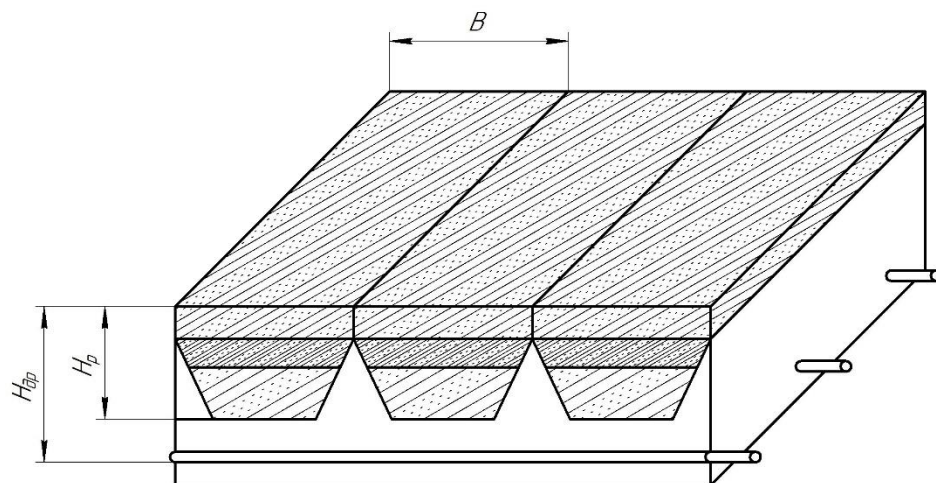


Рисунок 5.4 – Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки

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.

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [135, 136, 30] 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 підшову 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 в напрямку ухилу за межі ділянки без обов'язкової необхідності влаштування матеріального дренажу [164].

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 розпушування орного шару на глибину 0,12-0,15 м зі збереженням стерні і пожнивних залишків та глибоке (0,4-0,45 м) рихлення нижнього підорного горизонту глибокорозпушувачами, що встановлені на плоскорізі [166] 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 [163].

Недоліками таких способів є підвищення сприйнятливості до ерозії верхнього шару ґрунту через його плоскорізне розпушування 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 середньогрудчоватої структури, у верхній чверті орного шару здійснюють вертикальне щілювання (рис. 5.5).

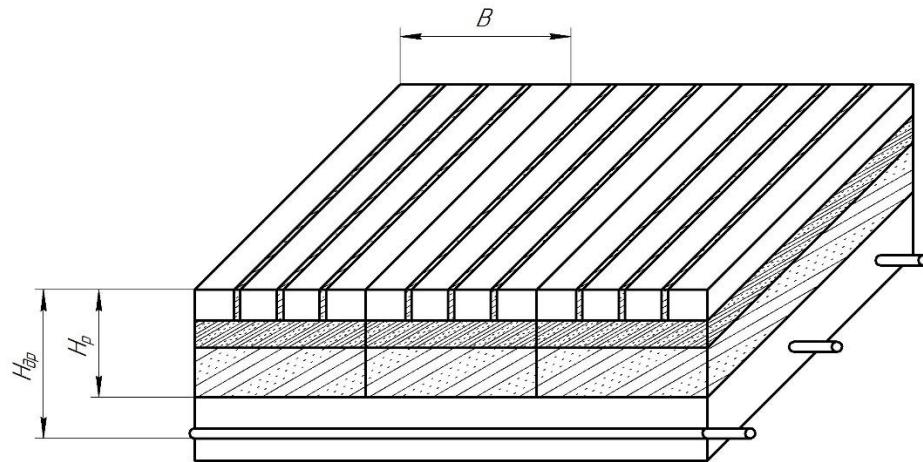


Рисунок 5.5 – Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки для посушливих регіонів

Утворення вертикальних щілин дозволить без випаровування вологи на поверхні поля швидко сконцентрувати поверхневий стік в щілинах та через їх достатньо велику пропускну здатність максимально швидко перевести його в ґрунтовий, що унеможливить від непродуктивного випаровування і вивітрювання з поверхні поля отриманої вологи. Утворення зернистої та дрібногрудчоватої структури у нижніх трьох чвертях орного шару до плугової підшви дає можливість максимально ефективно використати вологоакумуляуючий 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.

Спосіб глибокого розпушення ґрунту виконується комбінованим робочим органом глибокорозпушувача [142] 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 щілювання верхньої чверті та суцільно розпушують до утворення зернистої та дрібногрудчоватої

структури у нижніх трьох чвертях орного шару ґрунту, а плугову підшову 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 [160].

5.5. Глибоке меліоративне розпушення для меліорованої ділянки з переущільненими 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: поверхнєве плоскорізне розпушення орного шару на глибину 0,12-0,15 м зі збереженням стерні і пожнивних залишків та глибоке (0,4-0,45 м) розпушення нижнього підорного горизонту глибокорозпушувачами, що встановлені на плоскорізі [166] та інший при якому здійснюють суцільне розпушення орного шару до утворення зернистої та дрібногрудочкової структури, а плугової підшови разом з нижніми шарами – до утворення крупно- та середньогрудочкової структури [163].

Недоліками таких способів є неможливість отримання вологоакумулюючої 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 дрібногрудчоватої структури, а плугової підшви разом з нижніми шарами – до утворення крупно- та середньогрудчоватої 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, переміщаючи нижні шари на місце верхніх, а верхні на місце нижніх (рис. 5.6).

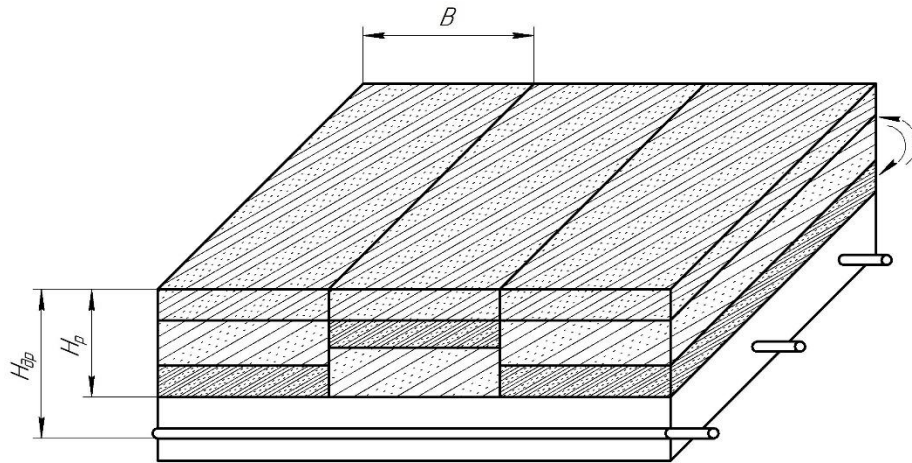


Рисунок 5.6 – Схема технології глибокого розпушення для меліорованої ділянки з переформатуванням суміжних ґрунтових шарів

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 середньогрудчоватої структури у нижніх шарах дає можливість максимально ефективно використати вологоакумуючий 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 кореневих 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 кореневих систем рослин та їх врожайності [165].

5.6. Висновки до розділу

1. Утворення зернистої та дрібногрудчоватої структури дає можливість максимально ефективно використати вологоакуючий 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 переущільненими 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 щілювання; для ділянок з переущільненими підорними шарами здійснюють взаємний обмін суміжних нижніх шарів по горизонтах залягання.

6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ

6.1. Вихідні передумови

Конструкцію і параметри технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, згідно п. 2.2 та схеми на рис. 2.1 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 змін та 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.

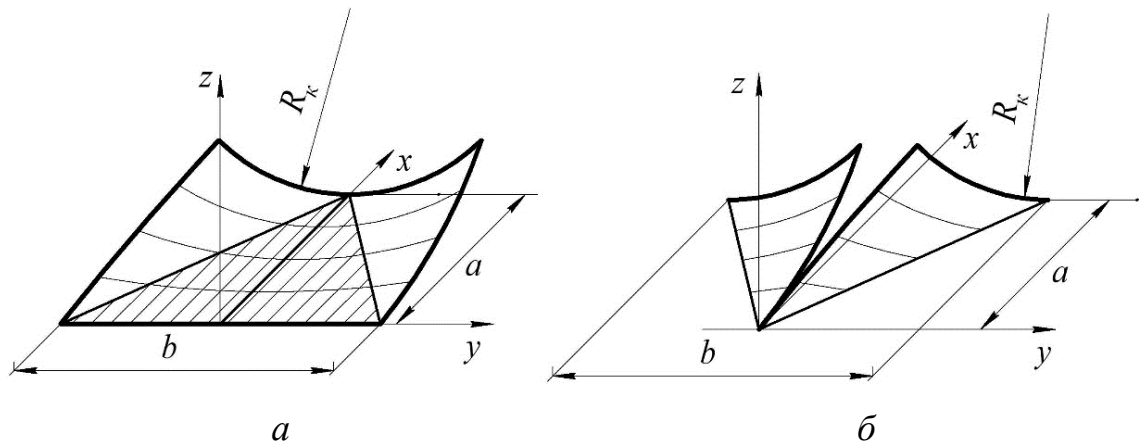


Рисунок 6.1 – Утворення форми поверхні робочого органу: *a* – прототип; *б* – удосконалення; *////* – непродуктивна частина прототипу

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, $x \neq 0$; $x = 0-a$; $y = -b/2-b/2$.

Габаритні параметри будуть аналогічними для обох типів робочих органів і, відповідно, залежності для розрахунку основних параметрів будуть наступними [179]:

$$R_k = l_k^{розр} \left(\frac{E_p}{2[\sigma_p]} + 1 \right), \quad b = \frac{\pi}{2} R_k, \quad a = \sqrt{\frac{2[\sigma_p] \cdot b \cdot V_{agr} \cdot t_1}{E_p}}, \quad (6.2)$$

де $l_k^{розр}$ – величина поперечника розрахункового структурного ґрунтового агрегату ($l_k = 0,003-0,010$ м); $[\sigma_p]$ – граничне напруження розриву ґрунту; V_{agr} – швидкість робочого органу, м/с; $t_1 = 1$ 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).

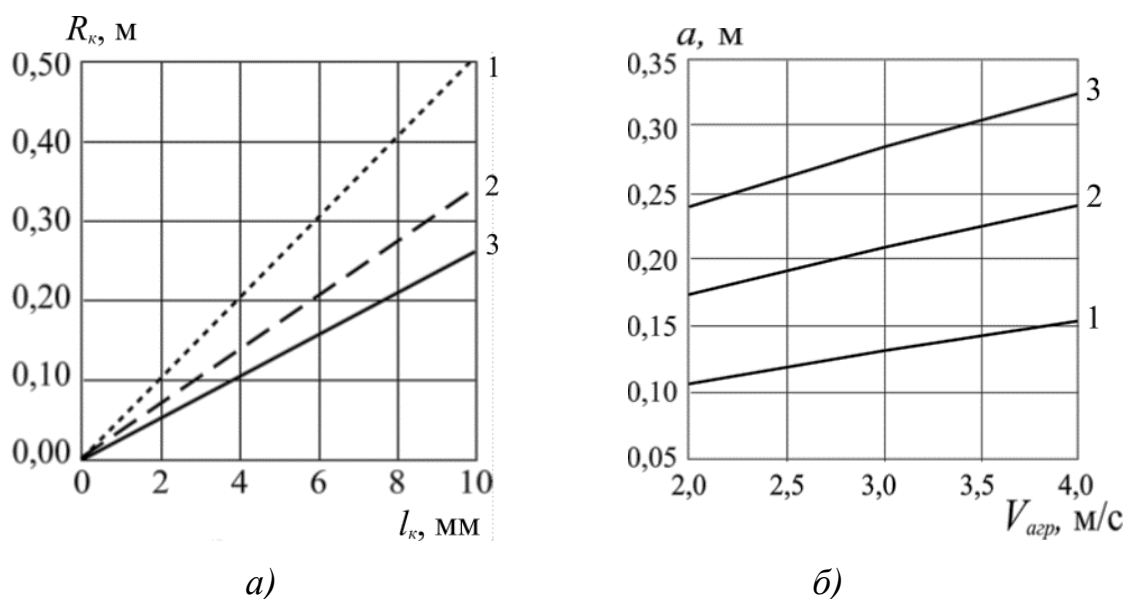


Рисунок 6.2 – Параметри робочого органу: а) – радіус кінцевого поперечного перерізу; б) – довжина робочого органу при $b = 0,4$ м; 1 – супіски; 2 – суглинки; 3 – глини

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 лінійчатиими ніж коротші, тому сприяють легшому проходженню ґрунту. У відносно довгих поверхнях ($a > 0,25-0,42$ м) переважає в основному двоплощинне руйнування, а в більш коротких – триплощинне. Збільшення швидкості руху та підвищення зв'язності ґрунту призводить до подовження поверхні [179] (рис. 6.2, б).

З врахуванням часу релаксації ґрунту 0,17-0,18 с [26] при швидкості руху $V_{agr} = 1,5-2,5$ м/с рекомендується використовувати робочі органи довжиною $a = 0,26...0,43$ 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, дод. В.

Кількість ґрунтоагрегатів одного розміру, які утворюються при поступовій схемі подрібнення з урахуванням залежності (4.1) буде описано наступним чином:

$$i^{(n)} = \frac{b \cdot E_c / E_p}{h \left(\frac{E_c / E_p}{E_c / E_p + 1} \right)^n}, \quad (6.3)$$

де $i^{(n)}$ – величина структурних агрегатів одного розміру, які відповідають n -ій стадії подрібнення ґрунтового шару; E_c , E_p – відповідно, величина модуля пружності в зоні стиску та в зоні розтягу при згині ґрунтової скиби, h –

глибина розробки в конкретному ярусі; n – поточна кількість циклів горизонтальних розшарувань;

$$n = \ln \left(\frac{l_{\kappa}^{(n)} E_c / E_p}{h} - \frac{E_c / E_p}{E_c / E_p + 1} \right) \quad (6.4)$$

Для оцінки результатів за приведеними математичними залежностями 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).

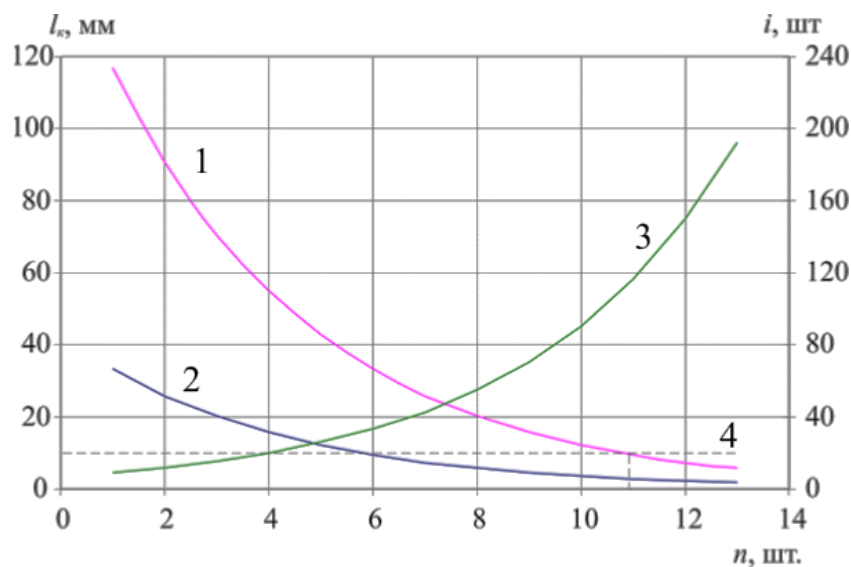


Рисунок 6.3 – Величина структури і стадії подрібнення ґрунту при розпушенні: 1 – крупність ґрунтової структури в зоні стиску; 2 – крупність ґрунтової структури в зоні розтягу; 3 – загальна кількість утворених ґрунтоагрегатів; 4 – крупність ґрунтової структури за агротехнічними рекомендаціями

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.

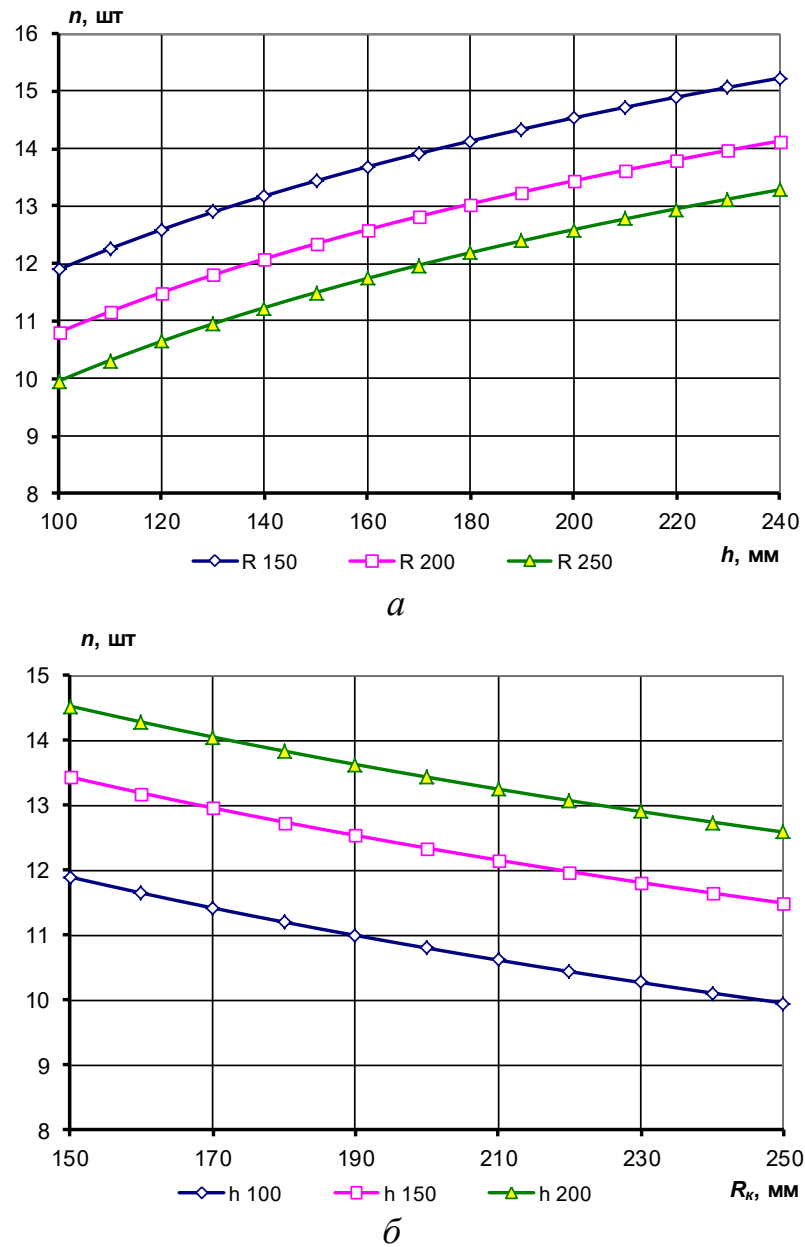


Рисунок 6.4 – Залежність кількості стадій подрібнення від конструктивних параметрів: a – від глибини ярусу; $б$ – від кінцевого радіусу

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).

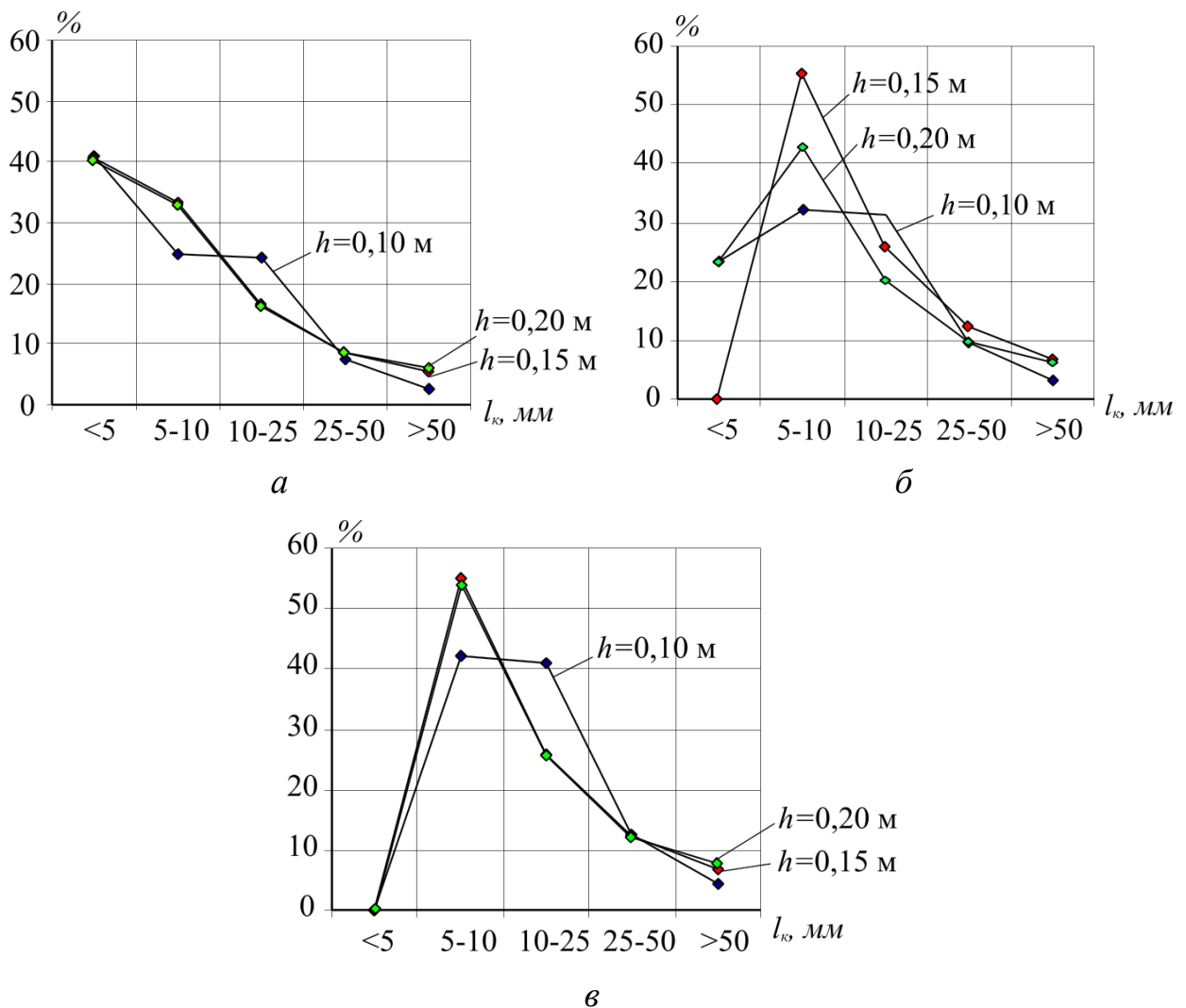


Рисунок 6.5 – Структура розпушеного ґрунту за кількістю ґрунтоагрегатів:

$a - R_k = 0,15$ м; $б - R_k = 0,15$ м; $в - R_k = 0,15$ м

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.

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.

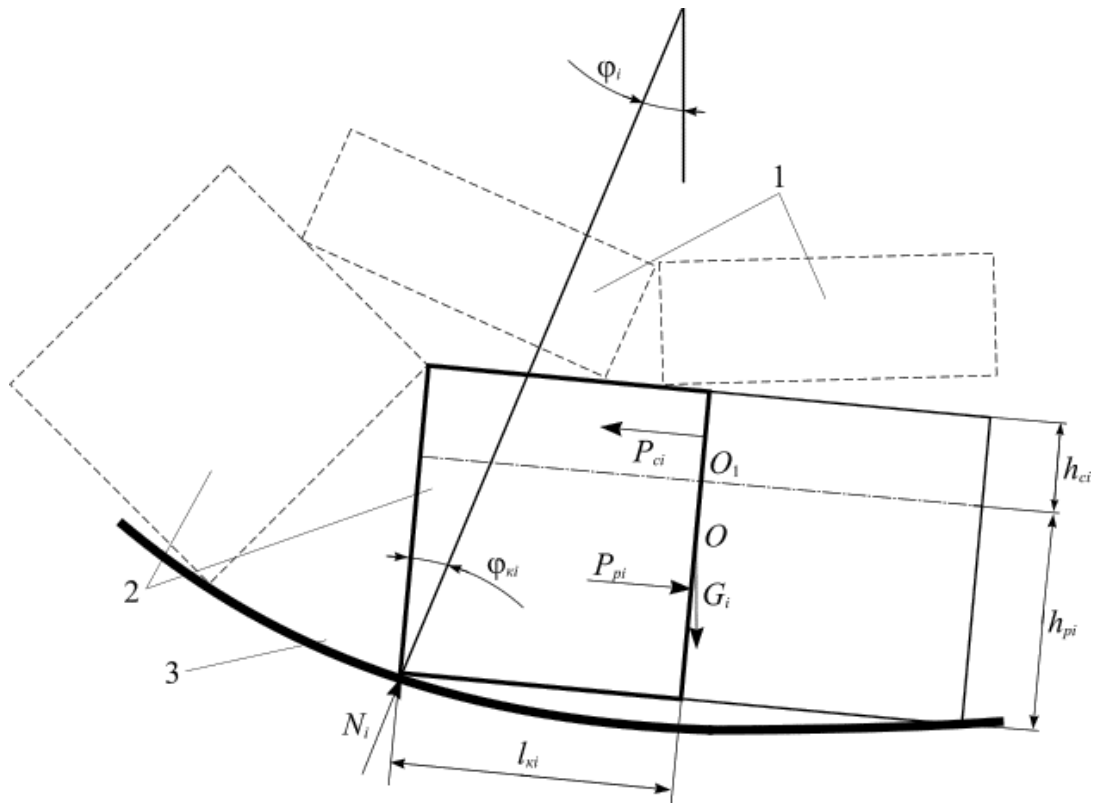


Рисунок 6.6 – Розрахункова схема визначення зусилля подрібнення ґрунтового макроагрегату на поверхні робочого органу: 1 – відокремлені ґрунтові макроагрегати попередньої стадії подрібнення; 2 - ґрунтові макроагрегати поточної стадії подрібнення; 3 – поверхня робочого елемента

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

$$N_i l_{ki} \cos \varphi_{ki} - N_i h_{pi} \sin \varphi_{ki} = \frac{P_{ci}}{2} \frac{h_{ci}}{2} + \frac{P_{pi}}{2} \frac{h_{pi}}{2} + G_i \sin(\varphi_i - \varphi_{ki}) \left(\frac{h_{ci} + h_{pi}}{2} - h_{ci} \right). \quad (6.5)$$

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 приведенного 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_{ep} , 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

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n \frac{P_{ci} h_{ci}}{2l_{ki}} + G_{ep} \cos \frac{l}{6R_k}, \quad (6.8)$$

де γ – сила тяжіння об'єму ґрунту; a – довжина поверхні робочого елемента; h – висота ґрунтового шару, що подрібнюється; l – сумарна довжина дуг симетричного робочого елемента на виході з нього; σ_m – несуча здатність ґрунту; l_{ki} – поточний лінійний розмір ґрунтоагрегата на n -стадії подрібнення; n – необхідна кількість стадій подрібнення; l_k^{pozp} – розрахунковий лінійний розмір ґрунтоагрегата в результаті подрібнення; R_k – радіус дуги поверхні на її кінці.

$$\begin{aligned} G_{ep} &= \frac{1}{4} \gamma a h l; & P_{ci} &= 0,1 \sigma_m h_{ci}^2; & h_{ci} &= \frac{l_{ki}}{1 + E_c / E_p}; \\ n &= \frac{\ln(l_k^{pozp}) - \ln h}{\ln(E_c / E_p) - \ln(E_c / E_p + 1)}; & l_{k0} &= h. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Для визначення зусилля тяги P_f на подрібнення і переміщення поверхнею робочого елемента необхідно врахувати коефіцієнт тертя ґрунту f .

$$P_f = f \cdot N = f \cdot \left[\frac{0,05\sigma_m h^2}{(1 + E_c / E_p)^3} \cdot \sum_n \left(\frac{2}{\left(1 + \frac{1}{E_c / E_p}\right)^2} \right)^n + \frac{1}{4} \gamma a h l \cos \frac{l}{6R_k} \right]. \quad (6.10)$$

Графічні залежності зусилля тяги P_f при різних властивостях ґрунту показано на рис. 6.7.

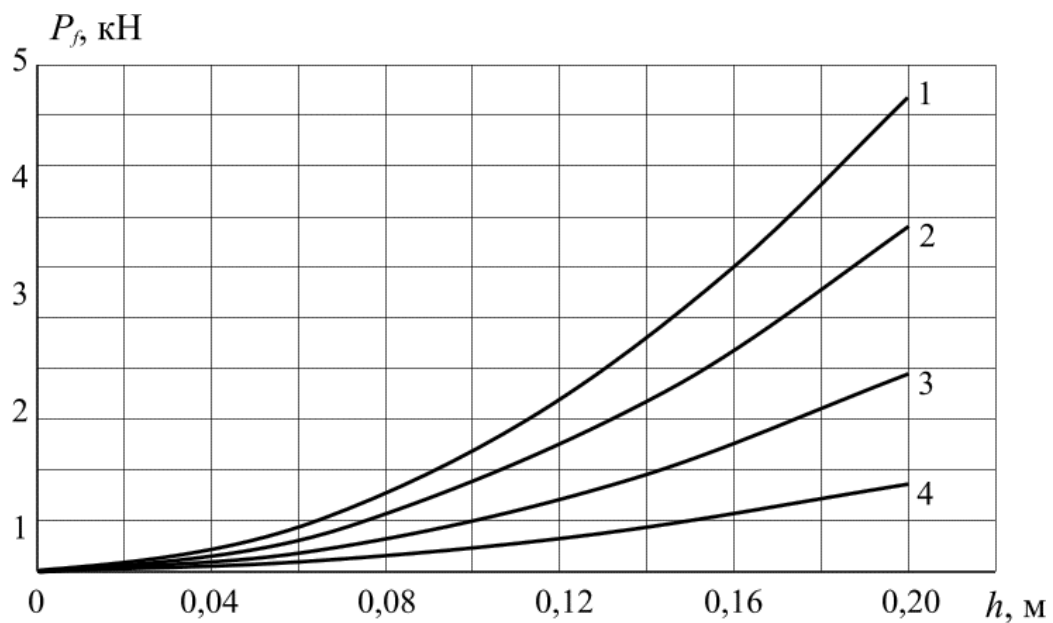


Рисунок 6.7 – Зусилля тяги на подрібнення і переміщення поверхнею робочого органу: 1 – $E_c/E_p = 4$; 2 – $E_c/E_p = 3,5$; 3 – $E_c/E_p = 3$; 4 – $E_c/E_p = 2,5$; при $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$; $a = 0,25 \text{ м}$; $l = 0,35 \text{ м}$; $\sigma_m = 200 \text{ кПа}$; $l_k^{позп} = 0,01 \text{ м}$; $R_k = 0,2 \text{ м}$.

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 – $R^2 = 0,9689-0,9942$):

$$\begin{aligned} \text{глина} - E_c/E_p &= 1 + 0,0548 \cdot W_{\%}, \text{ суглинок} - E_c/E_p = 1 + 0,1321 \cdot W_{\%}, \\ \text{супісок} - E_c/E_p &= 1 + 0,2094 \cdot W_{\%}. \end{aligned} \quad (6.11)$$

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 приведеним апроксимаційним залежностям 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 [159; 57; 58]. 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 [55; 69; 111; 204; 221; 222]. За результатами аналізу цих джерел встановлено, що виходячи з умов роботи найбільш визначальним для визначення ширини долота або висоти ярусу глибокорозпушувача буде асиметричне блоковане

направлена під кутом зовнішнього тертя ґрунту φ до нормалі лобової площини різця; нормальна реакція dN_c і дотичні сили dT_c , $dT_{\text{бок}} + \cos \delta$ 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

$$\begin{cases} \sum P_n = dN_c + dN' \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = 0; \\ \sum P_\tau = dT_c + dT_{\text{бок}1} \cos \delta + dT_{\text{бок}2} - dN' \sin(\alpha_p + \varphi + \psi). \end{cases} \quad (6.12)$$

З першого рівняння системи (6.12) отримаємо.

$$dN_c = -\frac{dN}{\cos \varphi} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) = -\frac{qb_p}{\cos \varphi \cdot \sin \alpha_p} \cos(\alpha_p + \varphi + \psi) dh, \quad (6.13)$$

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 [124; 56] і представлено у вигляді

$$q = q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{h_c} k_{неp} h, \quad (6.14)$$

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 [124; 56]; $k_{неp}$ – відношення глибини гарантованого сколювання ґрунту h_c до критичної глибини різання $h_{кр}$ ($k_{неp}=0,9-0,95$); h – поточне значення глибини.

З урахуванням (6.14) вираз (6.13) перепишеться наступним чином

$$dN_c = \frac{\cos(\alpha_p + \varphi + \psi)}{\cos \varphi \sin \alpha_p} b_p \left(q_0 + \frac{q_{кр} - q_0}{h_c} k_{неp} h \right) dh. \quad (6.15)$$

Елементарні дотичні сили, які діють у лобовій (dT_c) і бокових ($dT_{\delta\sigma\kappa1}$, $dT_{\delta\sigma\kappa2}$) площинах сколювання визначається за законом Кулона для ґрунтів

$$dT_c = \operatorname{tg} \varphi_0 dN_c + c dF_c; \quad (6.16)$$

$$dT_{\delta\sigma\kappa1} = (\xi q \cos \rho \cos \lambda \operatorname{tg} \varphi_0 + c) dF_{\delta\sigma\kappa1}; \quad (6.17)$$

$$dT_{\delta\sigma\kappa2} = (\xi q \operatorname{tg} \varphi_0 + c) dF_{\delta\sigma\kappa2}, \quad (6.18)$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту; c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; ξ – коефіцієнт бокового тиску елемента ґрунтової стружки; dF_c , $dF_{\delta\sigma\kappa1}$, $dF_{\delta\sigma\kappa2}$ – елементарні площі відповідно лобової і бокових площин сколювання; ρ , δ , λ – кути що утворюються боковою площиною сколювання з паралельною вертикальній боковій стінці траншеї площиною (див. рис. 1, в). При цьому елементарні площі відповідно дорівнюють

$$dF_c = (b_p + \rho r_c) \frac{dh}{\sin \psi} = \left[b_p + \rho (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_c - h) \right] \frac{dh}{\sin \psi}, \quad (6.19)$$

$$dF_{\delta\sigma\kappa1} = r_c \frac{dh}{\cos \lambda} = (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_c - h) \frac{dh}{\cos \alpha}, \quad (6.20)$$

$$dF_{\delta\sigma\kappa2} = r_c \cdot dh = (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) (h_c - h) dh, \quad (6.21)$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi}{2} \left\{ \left[\frac{c \rho}{\sin \psi} + c \left(1 + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) \right] + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \cos \rho \cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 + \xi \operatorname{tg} \varphi_0 \right\} h_c = \\ = \left[\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin (\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi} \right] b_p \end{aligned} \quad (6.22)$$

Звідки

$$\frac{h_{kp}}{b_p} = \frac{h_c}{b_p k_{nep}} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\frac{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi}{2} k_{nep} \left[c \left(1 + \frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) + \right.} \quad (6.23)$$

$$\left. + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \operatorname{tg} \varphi_0 (1 + \cos \rho \cos \delta) \right]}$$

Кути ρ , δ , λ визначаються із геометричних співвідношень (див. рис. 6.8, в) за (6.24-6.26) [124; 56].

Кут нахилу бокової площини елемента стружки до горизонту γ визначається за залежністю (6.27) [68; 112]:

$$\cos \rho = \sqrt{1 - \left(\frac{\operatorname{ctg} \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi} \right)^2}; \quad (6.24) \quad \cos \lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\operatorname{ctg} \alpha_p \operatorname{ctg} \gamma}{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi} \right)^2}}; \quad (6.25)$$

$$\cos \delta = 1 - 2 \left(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi \right)^2 \sin^2 \psi \sin^2 \frac{\rho}{2}; \quad (6.26)$$

$$\gamma = \arccos \left[\frac{c \cdot \cos \varphi_0}{\left(1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{1,52 \cdot c}{q_{kp}} \right) q_{cep}} \right] - \varphi_0; \quad (6.27) \quad q_{cep} = \frac{q_0 + q_{kp}}{2}. \quad (6.28)$$

Математична модель (6.23) може бути використана для визначення критичної глибини різання при поярусній 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

[17; 169], 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) переписеться наступним чином для визначення критичних глибин асиметричного блокованого різання окремо у верхньому (6.29) і наступних нижніх ярусах (6.30):

$$\frac{h_{kp1}}{b_p} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{\frac{\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi}{2} k_{nep} \left[c \left(1 + \frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \operatorname{tg} \varphi_0 \right]}; \quad (6.29)$$

$$\frac{h_{kp2}}{b_p} = \frac{\left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} k_{nep} \right) \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cos \varphi_0 \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) k_{nep} \left[c + \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{3} k_{nep} \right) \operatorname{tg} \varphi_0 \right]}. \quad (6.30)$$

У залежностях (6.29) та (6.30) невідомим є параметр ψ . Він визначається на основі припущення, що кожний раз для $h_p \geq h_{kp}$ значення кута сколювання ψ встановлюється таким, що опір різанню ножа буде мінімальним [124; 56]. Мінімальний опір різанню (при заданій глибині різання $h_p \geq h_{kp}$) ножа можливий при мінімальній площі епюри нормального тиску, а це буде, якщо $h_{kp} = h_c / k_{nep} = \max$ і $h_c = \max$. Таким чином, кут зсуву ґрунту визначається максимальним значенням глибини сколювання [55; 69; 111; 204; 221; 222].

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.

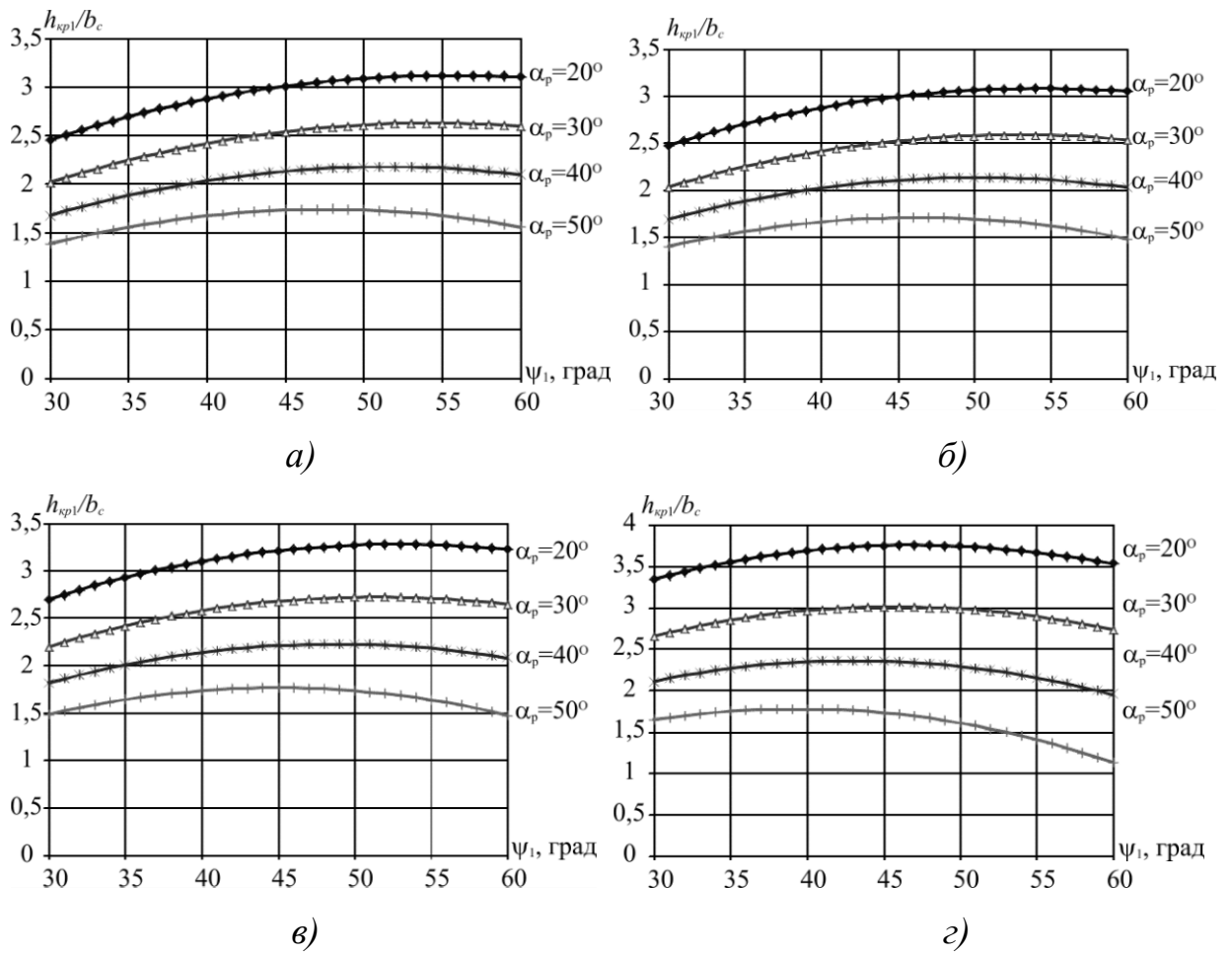


Рисунок 6.9 – Залежності відносної критичної глибини асиметричного блокового різання від кута зсуву ґрунтів: а) – тугопластична глина; б) – напівтверда глина; в) – напівтвердий суглинок; г) – твердий супісок

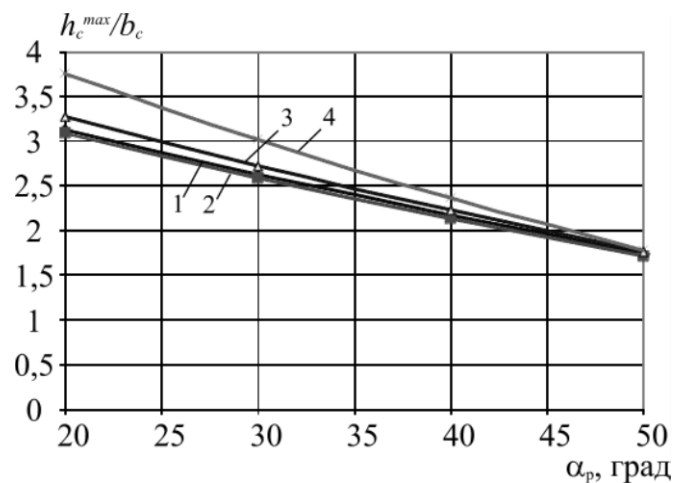


Рисунок 6.10 – Залежності відносної критичної глибини різання ґрунтів від кута різання: 1 – тугопластична глина; 2 – напівтверда глина; 3 – напівтвердий суглинок; 4 – твердий супісок

Розрахункові значення відносної критичної глибини асиметричного блокованого різання для крайніх бокових стояків при зміні кута різання $\alpha_p = 50^\circ - 20^\circ$ змінюються в наступних межах: для тугопластичної глини $h_{kp1}/b_p = 1,74 - 3,12$; для напівтвердого суглинку $h_{kp1}/b_p = 1,76 - 3,27$; для твердого супіску $h_{kp1}/b_p = 1,78 - 3,75$; для напівтвердої глини $h_{kp1}/b_p = 1,71 - 3,08$.

Отримані значення є приблизно в 1,5 рази менші ніж для симетричного блокованого різання [66], 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 [97]. Більшість дослідників вважають, що причин є декілька, однією з них є перерозподіл енергії на загальне переміщення відокремлених частин ґрунту [169].

А.Н.Зеленін, провівши досліді 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 [16]. В.П.Горячкін, на основі дослідів з плугами, визначив, що швидкість різання впливає на зусилля в незначній мірі [169]. 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 % [169]. М.І.Єстрін, за результатами проведених дослідів, прийшов до висновку, що для незв'язних ґрунтів питомий опір різання пропорційний швидкості [169].

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 [3]. 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 [169; 16]. 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% [169].

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 [53; 61].

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 приходится 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 блокового варіанту розробки ґрунту (доцільність його розгляду було встановлено в попередньому підрозділі). Згідно підходів С.В.Кравця при вирішенні таких задач [53], розрахункова схема для визначення відносної критичної глибини буде наступною, рис. 6.11.

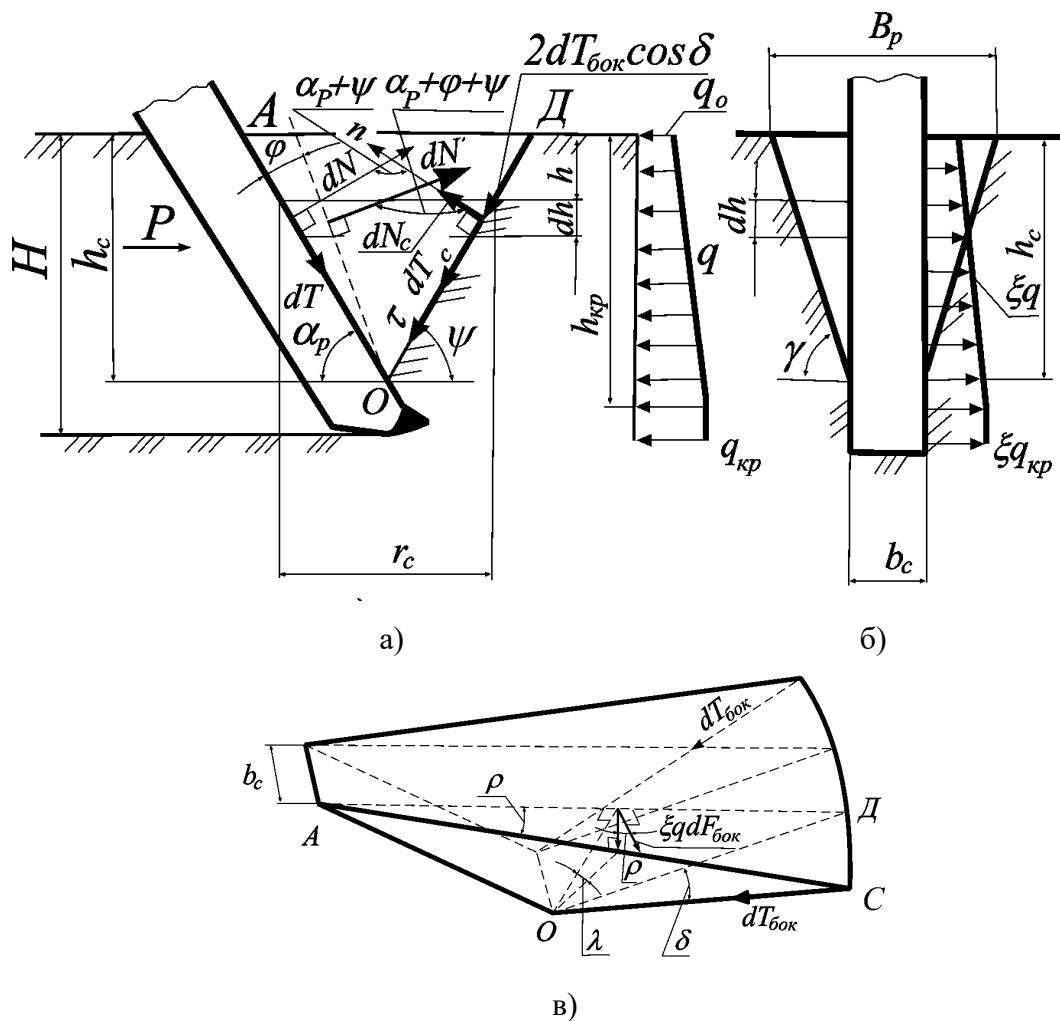


Рисунок 6.11 – Схема взаємодії долота з ґрунтом при симетричному блокованому різанні: а) – у поздовжній площині; б) – у поперечній площині; в) – форма елемента стружки у процесі заглиблення ножа

Закон розподілу нормального тиску ґрунту на ніж по глибині з врахуванням швидкості, при умові $v < v_{кр}$, запишеться у вигляді

$$q(h, v) = \left(1 + \frac{g}{g_{kp}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{h_{kp}} \cdot h + \gamma_{cp} \left(1 + \frac{h}{b_c} \operatorname{ctg} \gamma\right) \cdot \frac{\cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p}{\sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)} \cdot v^2 \right], \quad (6.31)$$

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_{kp} - критична швидкість різання при якій змінюється природа руйнування ґрунту [169]; v – швидкість робочого органу

$$v_{kp} = \frac{v_p \sin(\alpha_p + \psi)}{\sin \psi}; \quad v_p = \sqrt{\frac{\tau_0}{\gamma_{об}}}, \quad (6.32)$$

де v_p – швидкість руйнування; τ_0 – критична дотична напруга при швидкості різання, близькій до нуля; $\gamma_{об}$ – об’ємна маса ґрунту.

За аналогією з асиметричним блокуванням різанням визначаємо відносну глибину для ґрунту у верхньому і в нижніх ярусах (рис. 6.12.):

$$\frac{h_{c1}}{b_c} = \frac{\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} \cdot k_{nep} + q_v \right] \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{c \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \left(\frac{\rho}{\sin \psi} + \frac{\cos \delta}{\cos \lambda} \right) - \left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \cdot q_v \cdot \frac{\operatorname{ctg} \gamma}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p}}; \quad (6.32)$$

$$\frac{h_{c2}}{b_c} = \frac{\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \left[q_0 + \frac{q_{kp} - q_0}{2} \cdot k_{nep} + q_v \right] \cdot \frac{\sin(\alpha_p + \varphi + \varphi_0 + \psi)}{\cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cdot \sin \alpha_p} - \frac{c}{\sin \psi}}{(\operatorname{ctg} \alpha_p + \operatorname{ctg} \psi) \left[\left(1 + \frac{v}{v_{kp}}\right) \cdot \xi \left(q_0 + \frac{q_{kp} + q_0}{3} \cdot k_{nep} + q_v \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 + c \right]}; \quad (6.33)$$

де

$$q_v = \frac{\gamma_{cp} \cdot \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \sin^2 \alpha_p}{g \cdot \sin(\alpha_p + \psi) \cdot \sin(\alpha_p + \varphi)} \cdot v^2.$$

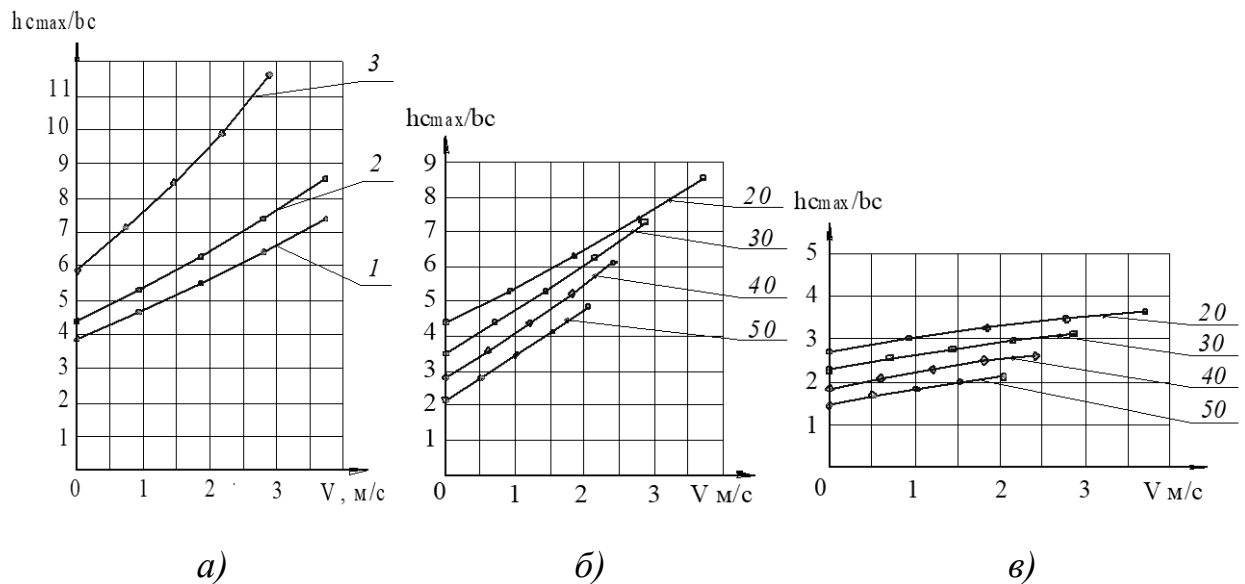


Рисунок 6.12 – Залежності відносної критичної глибини від швидкості різання долота: *а* – у верхньому ярусі з кутом різання 20° для тугопластичної глини (1), напівтвердого суглинку (2); твердого супіску (3); *б, в* – відповідно, у верхньому та нижньому ярусах для напівтвердого суглинку при різних кутах різання

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).

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.

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			
			a_{v1}	$n\alpha_{p1}$	a_{v2}	$n\alpha_{p2}$
Супісок твердий	20	2,88	1,4215	4,3252	0,2746	2,7071
	30	2,23	1,2099	3,2481	0,1903	2,378
	40	1,97	1,0913	2,3576	0,1678	1,8249
	50	1,58	0,8088	1,8485	0,1381	1,449
Напівтвердий суглинок	20	3,71	1,0378	3,2659	0,2499	2,4488
	30	2,87	0,9354	2,5216	0,2126	2,0973
	40	2,42	0,8292	1,9354	0,1914	1,6992
	50	2,03	0,6726	1,4461	0,1628	1,3328
Тугопластична глина	20	3,74	0,8754	2,9408	0,2451	2,3944
	30	2,89	0,8146	2,2023	0,2453	1,9544
	40	2,44	0,7415	1,6678	0,2203	1,6555
	50	2,05	0,6145	1,2509	0,1942	1,300

6.5. Обґрунтування форми і параметрів вертикального стояка щодо руху в ґрунтовому потоці

Розпушений ґрунт, який сходить з робочого органу в напрямку прохідних вікон кожного ярусу, направляється на клиновидний розсікач вертикального стояка, який розподіляє ґрунт у межах прохідного вільного простору [63]. Визначимо раціональну форму поперечного перерізу розсікача вертикального стояка, рис. 6.13.

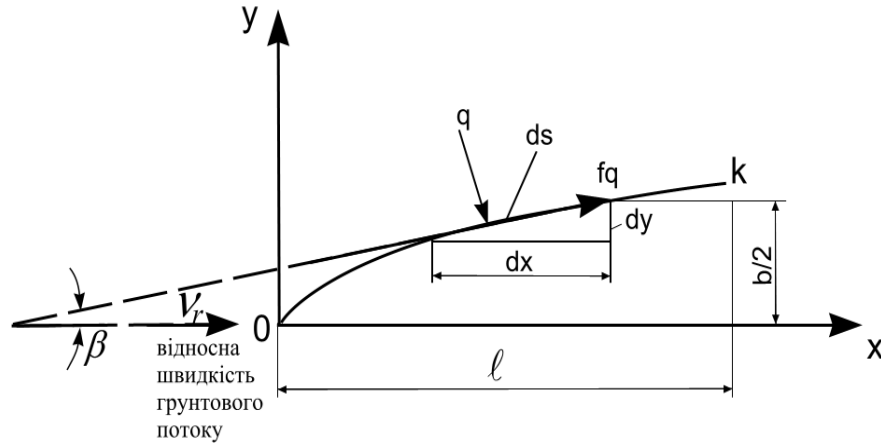


Рисунок 6.13 – Схема взаємодії розсікача з ґрунтовим потоком

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

$$dW_{\partial} = 2 \left[q \frac{h_{кр}}{\sin \beta_{mp}} ds \cos(90^{\circ} - \beta) + fq \frac{h_{кр}}{\sin \beta_{mp}} ds \cos \beta \right] \sin \beta_{mp}, \quad (6.35)$$

де q – нормальний динамічний тиск ґрунтового потоку на носову поверхню розсікача; $h_{кр}$ – 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 [9], що

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dy}{dx} = y'; \quad ds \cos \beta = dx, \quad (6.36)$$

то рівність (6.35) можна переписати у вигляді

$$dW_{\partial} = 2(f + y')qh_{кр}dx, \quad (6.37)$$

Нормальний динамічний тиск визначений у роботі [53] 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

$$W_o = \rho_c B_k h_{kp} v_r^2 \sin \beta_{mp} \int_0^l \frac{(f + y')(y')^2}{\int_0^l \sqrt{1 + (y')^2} dx} dx. \quad (6.40)$$

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

$$\sqrt{1 + (y')^2} \approx 1,0, \quad (6.41)$$

функціонал динамічного опору (6.40) перепишеться у вигляді

$$W_0 = \frac{\rho_c B_k h_{kp} v_r^2}{l} \sin \beta_{mp} \int_0^l (f + y')(y')^2 dx \quad (6.42)$$

Рівняння Ейлера для функціонала (6.42) згідно [109] 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 екстремалами є прямі лінії (6.47).

В цьому випадку динамічний опір дорівнює

$$W_0 = \rho_c B_k h_{kp} v_r^2 \sin \beta_{mp} \left(f + \frac{b}{2l} \right) \left(\frac{b}{2l} \right)^2 \quad (6.48)$$

Опір прямопропорційно залежить від параметрів ґрунтового потоку, від квадрату його відносної швидкості, а також від відношення $\frac{b}{2l}$ (рис. 6.14).

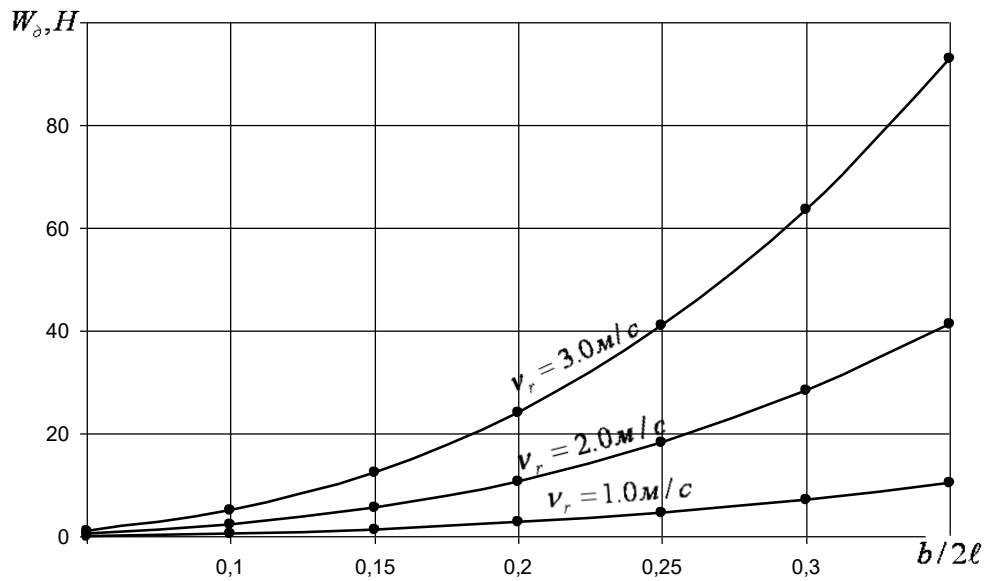


Рисунок 6.14 – Залежності для визначення динамічного опору розтинання ґрунтового потоку відносно тонкими профілями

Визначимо межу для визначення поняття відносно тонкого профілю, до якої відносна помилка інтерполяції (спрощення) 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.

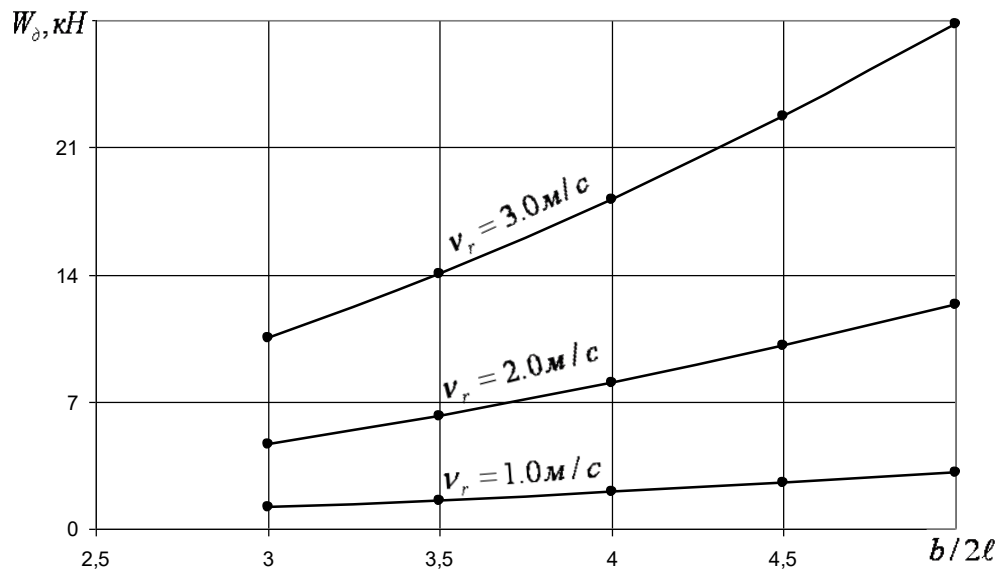


Рисунок 6.15 – Залежності для визначення динамічного опору розтинання ґрунтового потоку відносно не тонкими профілями

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.

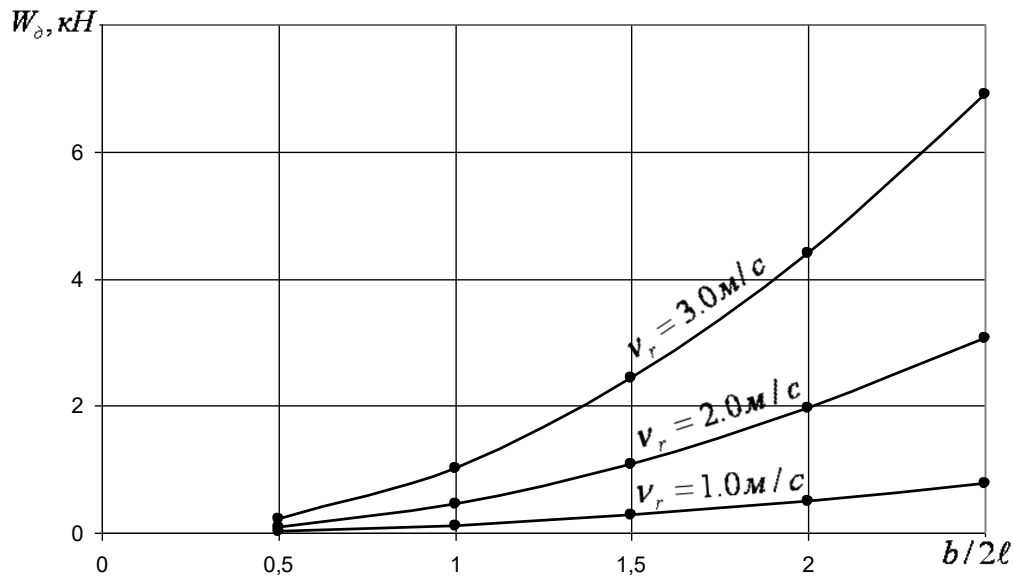


Рисунок 6.16 – Залежності для визначення динамічного опору розтинання ґрунтового потоку проміжними профілями

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 ґрунтовим середовищем [53; 68; 223; 224].

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 [68; 97] 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 [53; 68; 223; 224]. 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 блокованого способу
-

$$\begin{aligned}
 P_{\text{блок}} = & \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (b + \rho \cdot h \cdot \cot(\psi) + \rho \cdot h \cdot \cot(\alpha_p))}{\sin(\psi)} + \\
 & + \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cot(\psi) + \cot(\alpha_p))}{\cos(\lambda)} - \\
 & - \frac{b \cdot h \cdot q_h \cdot \cos(\varphi + \psi + \alpha_p) \cdot (\sin(\psi) + \cos(\psi) \cdot \tan(\varphi_0))}{\cos(\varphi) \cdot \sin(\alpha_p)}
 \end{aligned} \tag{6.54}$$

- для напівблокованого способу

$$\begin{aligned}
 P_{\text{нап.блок.}} = & \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\psi)}{2} + \\
 & + \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (2 \cdot b + \rho \cdot h \cdot \cot(\psi) + \rho \cdot h \cdot \cot(\alpha_p))}{2 \cdot \sin(\psi)} + \\
 & + \frac{c \cdot h^2 \cdot \cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cot(\psi) + \cot(\alpha_p))}{2 \cdot \cos(\lambda)} - \\
 & - \frac{h \cdot \cos(\phi + \psi + \alpha_p) \cdot (2 \cdot b \cdot q_0 \cdot \sin(\psi) + h \cdot q_0 \cdot \cot(\gamma) \cdot \sin(\psi) + 2 \cdot b \cdot q_h \cdot \cos(\psi) \cdot \tan(\phi_0))}{2 \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\alpha_p)}
 \end{aligned} \quad (6.55)$$

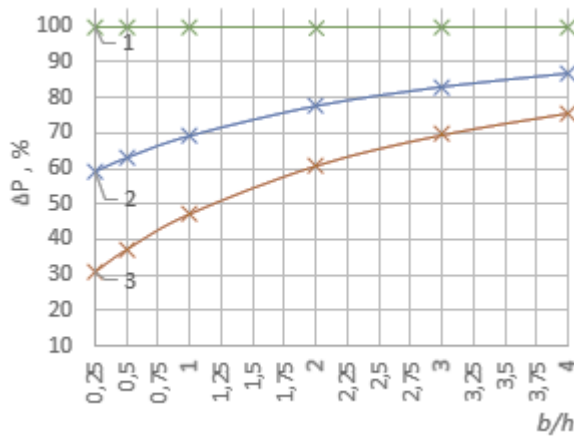
- для вільного способу

$$\begin{aligned}
 P_{\text{віль.}} = & \frac{c \cdot h \cdot \cos(\psi) \cdot (b + h \cdot \cot(\gamma))}{\sin(\psi)} - \\
 & - \frac{h \cdot q_0 \cdot \cos(\phi + \psi + \alpha_p) \cdot (\sin(\psi) + \cos(\psi) \cdot \tan(\phi_0)) \cdot (2 \cdot b + h \cdot \cot(\gamma))}{2 \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\alpha_p)}
 \end{aligned} \quad (6.56)$$

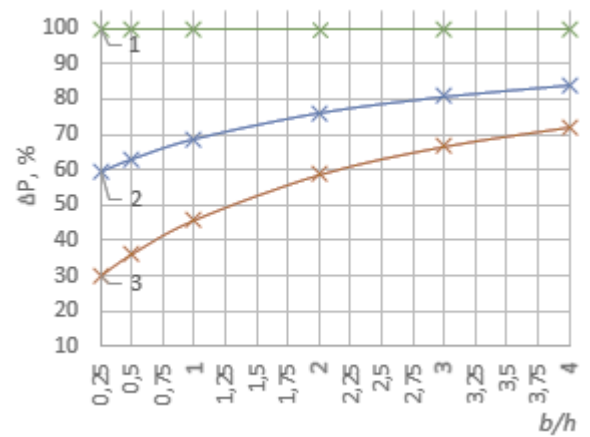
Для аналітичних порівняльних розрахунків, з метою витримання докритичноглибинних умов роботи для всіх варіантів, глибину різання приймаємо рівною найменшій з сукупності критичних глибин при найменшому співвідношенні ($b/h = 0,25$) у визначених для порівняння ґрунтах, $h = 0,3$ м.

Результати аналітичних порівняльних розрахунків представлено на рис. 6.17, де приведено залежності відносних зусиль відносно блокованого способу від співвідношення (b/h) для різних типів ґрунтів, дод. Г.

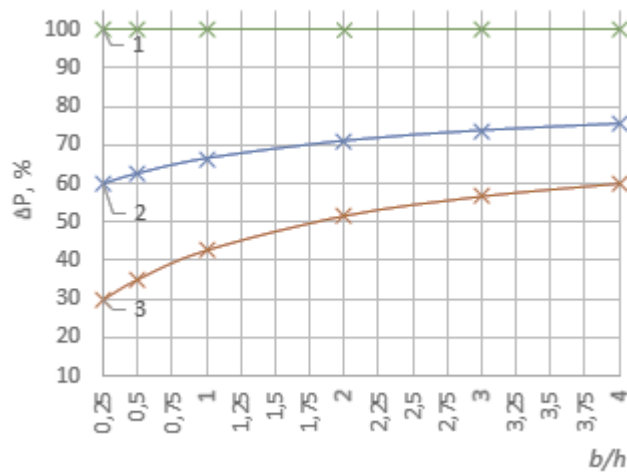
При блокованому різанні твердого суглинку на сталій глибині і з сталим кутом різання при співвідношенні ($b/h = 0,25$) загальне зусилля різання, що виникає при блокованому різанні на 30,1% складається з лобового зусилля і 69,9% з опору ґрунту руйнуванню в бічних розширеннях. Коли збільшимо співвідношення 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 ($b/h = 4$) зросте до 72,1%.



а)



б)



в)

Рисунок 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 різанню 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 – загальне розпушення, 2 – часткове розпушення сколом.

Тут коефіцієнт повноти розпушення (загального та структурного) – відношення 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 відносно початкового об'єму.

Користуючись отриманими експериментально залежностями [93] побудовано графічні залежності тягового опору від глибини розпушення для триярусного варіанту з шириною захвату 2 м, рис. 6.18.

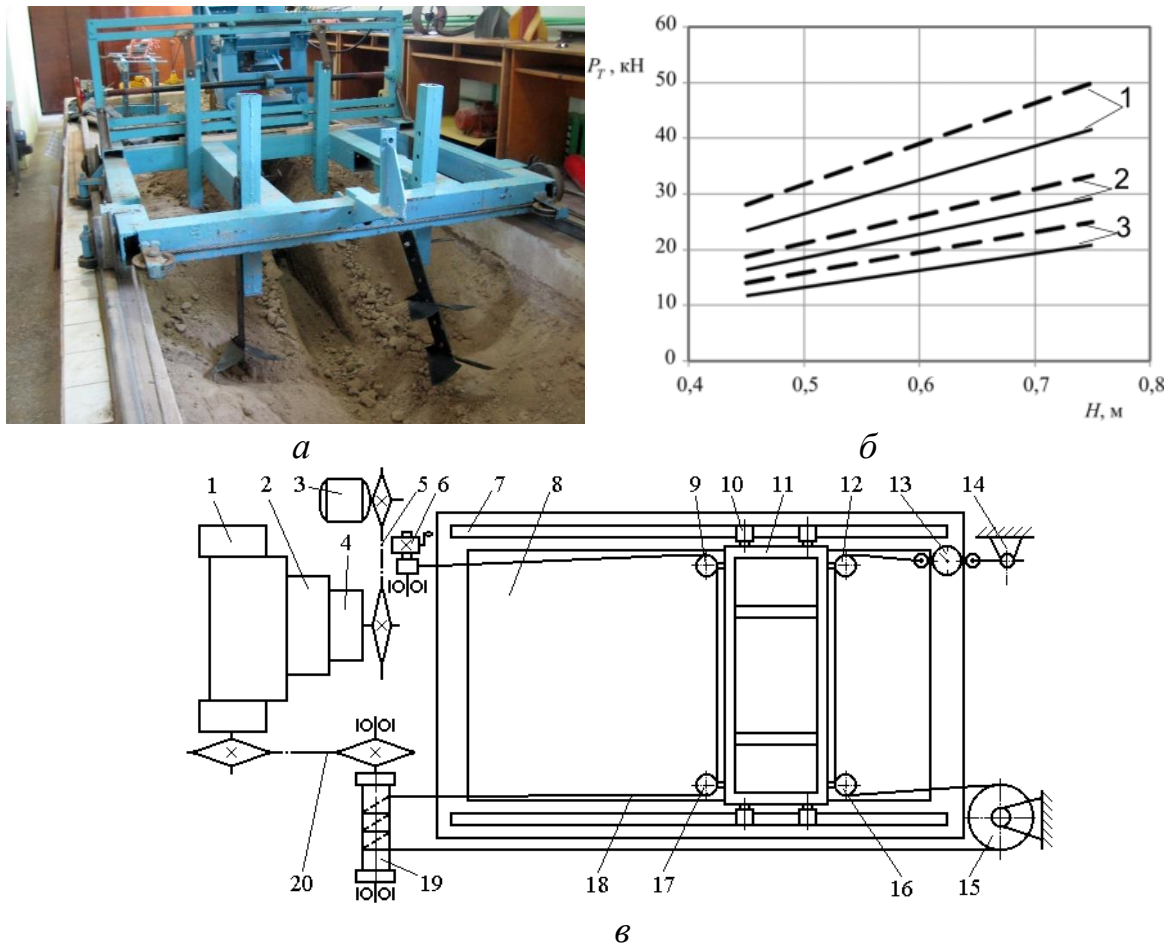


Рисунок 6.18 – Тяговий опір розпушення: а – динамометричний візок з експериментальними зразками; б – графічні залежності: 1 – прямокутний профіль; 2 – трапецієвидний профіль; 3 – трикутний профіль; штрихова лінія – рядне розміщення робочих елементів в ярусі; суцільна лінія – клинове розміщення робочих елементів в ярусі; в - схема приводу: 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;

Загалом для робочого обладнання багаторярусного глибокорозпушувача коефіцієнт загальної повноти розпушення поперечного профілю лежить в

межах 0,63... 1,04, а коефіцієнт повноти структурного вологоакумуючого розпушення лежить в межах 0,5-1,0. Значення коефіцієнтів зменшуються при зміні прямокутного профілю розпушення і наближенні його до трикутного.

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% вирашу.

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 ($f = \text{tg } \varphi$); $\gamma_{\text{гр}}$ – питома вага ґрунту, кН/м³; $k_{\text{н}}$ – 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, $q=120000\dots150000$ кН/м³ [195]; C_q – коефіцієнт, який враховує зміну опору об’ємного зминання ґрунту при зміні швидкості, $C_q = 5,3$ кН·с/м⁴ [195]; B – загальна ширина захвату ґрунторозпушувального агрегату, м; A – загальна довжина ґрунторозпушувального агрегату, м; j – кількість ярусів, шт.; m – кількість стояків з робочими органами, шт.; ψ – кут нахилу стояків, град.; P_T – повний тяговий опір розпушувального агрегату, кН; G_{agr} – сила тяжіння знаряддя разом з ґрунтом, що розробляється, Н.

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, відраховуючи від верху дренажних трубок:

$$H = H_{dp} - d_{dp} - (0,15\dots0,2), \quad (6.57)$$

де H_{dp} – глибина закладання дренажу; d_{dp} – діаметр дренажної трубки,

За стандартною методикою визначають природну вологість ґрунту з метою вибору числових значень фізико-механічних показників ґрунтів, які впливають на важкість їх розробки. Надалі у лабораторних умовах або за кореляційними залежностями визначають число пластичності, границі текучості та розкочування і показник консистенції [15; 16]

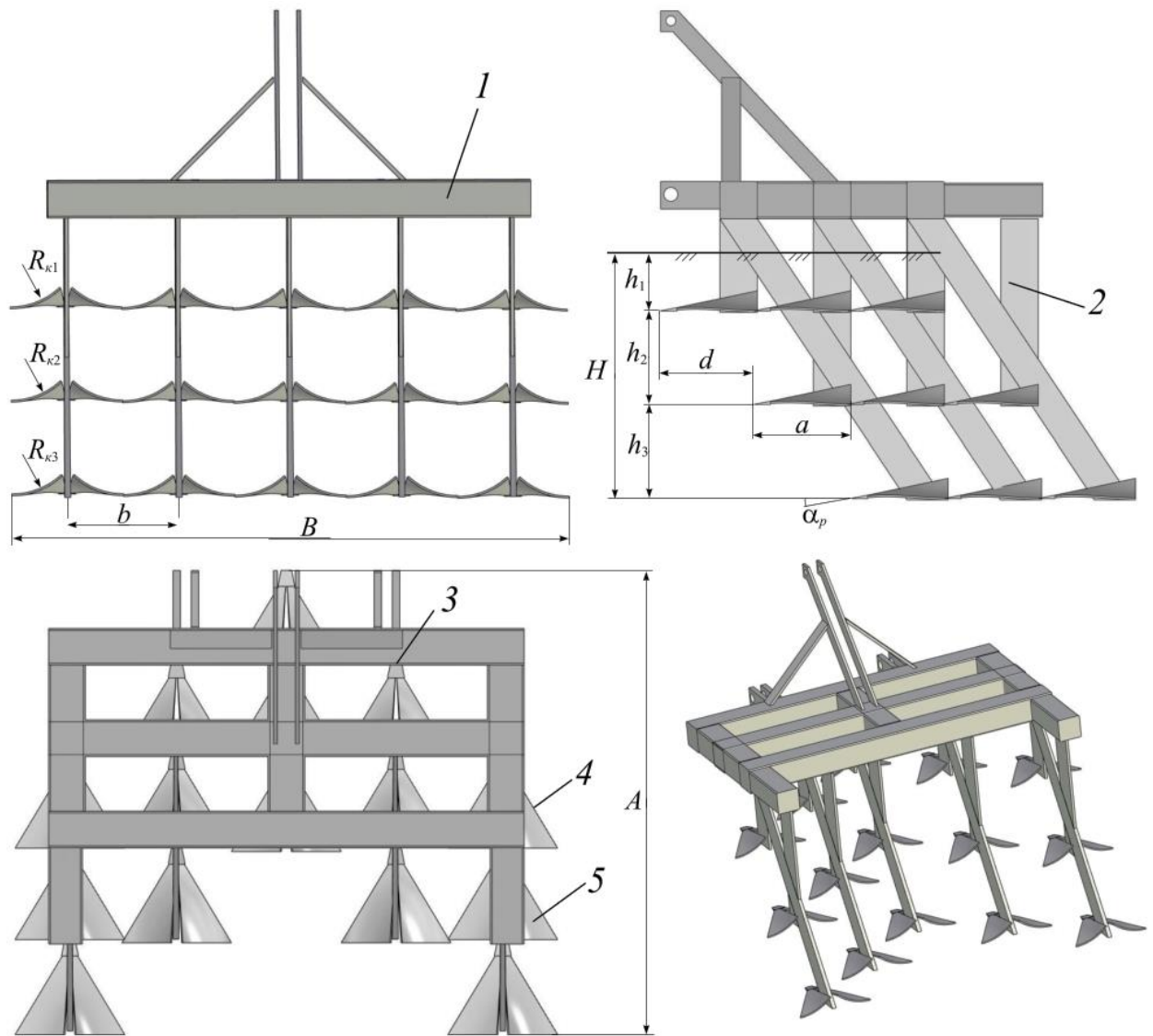


Рисунок 6.19 – Просторова конфігурація і конструктивні параметри робочих органів глибокорозпушувача: 1 – рама; 2 – стояк; 3 – долото; 4 – леміш; 5 – робочий орган;

$$\omega_{\text{п}} = \omega - 8; \quad \omega_{\text{т}} = 14,8 + 1,2\omega_{\text{п}}; \quad \omega_{\text{р}} = \omega_{\text{т}} - \omega_{\text{п}}; \quad B_{\text{к}} = (\omega - \omega_{\text{р}}) / \omega_{\text{п}}. \quad (6.58)$$

За числом пластичності визначають тип ґрунту, а за величиною $B_{\text{к}}$ – його консистенцію. Знаючи дані показники, вибирають для кожного типу числові значення коефіцієнта зчеплення, кутів внутрішнього та зовнішнього тертя і питому вагу ґрунту [194, 15, 6].

Користуючись деякими існуючими даними, а за їх відсутності,

знайденими регресійними залежностями, визначають коефіцієнт E_c/E_p та відносну деформацію розриву ε_p при «стигlostі» ґрунту [26; 179]:

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

$$E_c/E_p = 5,246 - 0,119 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,788; \quad (6.59)$$

для напівтвердого супіску ($W=6,9-16,0\%$; $\gamma=1,46-1,71 \text{ г/см}^3$):

$$E_c/E_p = 0,433 + 0,131 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = 0,633; \quad (6.60)$$

для легкого суглинку з гумусом (1:1) ($W=26,0-38,4\%$; $\gamma=1,27-1,71 \text{ г/см}^3$):

$$E_c/E_p = 7,925 - 0,178 \cdot W\%; \quad \varepsilon_p \% = -4,306 + 5,269 \cdot \gamma_{\text{г/см}^3}; \quad (6.61)$$

Відповідно з вимогами [197], 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 відотною 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:

$$h = \frac{E_c/E_p + 1}{E_c/E_p} \frac{R_k}{36,23 \cdot e_n - 1,22} \leq \frac{9kl_k (1 + E_c/E_p) \sin \alpha_p}{2\pi\sigma_p E_c/E_p}. \quad (6.68)$$

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:

$$P_T = G_{agr} \cdot f + j \cdot m [W_\delta + P_1], \text{ кН}, \quad (6.71)$$

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).

$$V_{agr \text{ (м/с)}} \leq \frac{35 \cdot B_{(м)}}{P_{T(кН)}}, \quad (6.74)$$

Орієнтовні значення основних параметрів робочих органів приведено в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Орієнтовні значення основних параметрів робочих органів

Грунтовий 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 $V_{agr} < 2,5$ м/с при $V_{agr} > 2,5$ м/с	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 $V_{agr} < 2,5$ м/с	—	0,11-0,14
при $V_{agr} > 2,5$ м/с		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 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. Для зменшення динамічного опору багатоярусним 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 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 $\alpha_p=50^\circ-20^\circ$): 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 УДОСКОНАЛЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ГЛИБОКОГО МЕЛІОРАТИВНОГО РОЗПУШЕННЯ НА ОСУШУВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ҐРУНТАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

7.1. Загальна характеристика об'єкта

Порівняльні розрахунки різних технологій та засобів глибокого розпушення були виконані за отриманими результатами 3-річних випробувань на осушуваному масиві “Печалівка”, який знаходиться у користуванні ПСП “Мирне” Костопільського району Рівненської області на площі 25 га (рис. 7.1) [27; 108; 89], 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; дод. Е7).

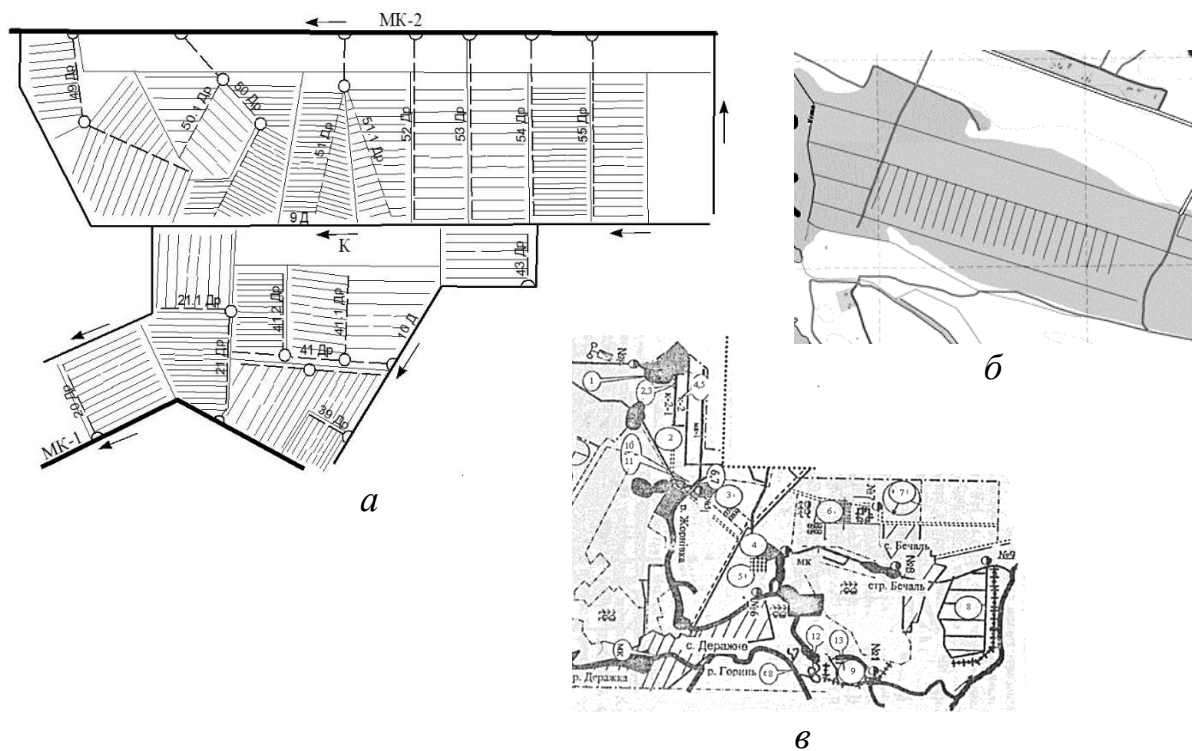


Рисунок 7.1 – Схеми осушуваних масивів:

- а* – “Печалівка” в ПСП «Мирне»; *б* – «Новосілки» у ТОВ СВК «Горинь»;
в – “Деражне-Постійне” в ПСП “Світанок”;

Погодно-кліматичні, рельєфні, геологічні, гідрогеологічні, геоморфологічні та ґрунтові умови Рівненської області (табл. 7.1), є типовими для фізико-географічної області Західного (Волинського) Полісся України [50].

Таблиця 7.1 – Основні типи ґрунтів Рівненської області (землі господарств із сільськогосподарським виробництвом) [50]

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

Морфологічна будова та гранулометричний склад дерново-підзолистого глейового супіщаного ґрунту гідромеліоративної системи “Печалівка” характеризується неглибоким заляганням порід крейдянної системи, що, в свою чергу, перекриті четвертинними відкладеннями, які і є водотривами.

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 дрен – 120-140 м.

Профіль ґрунту впродовж багатьох років роботи осушувальної системи значних змін не зазнав.

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.

Вивчення впливу різних технологій (рис. 7.2, а-б) і засобів глибокого розпушення (рис. 7.2, 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.

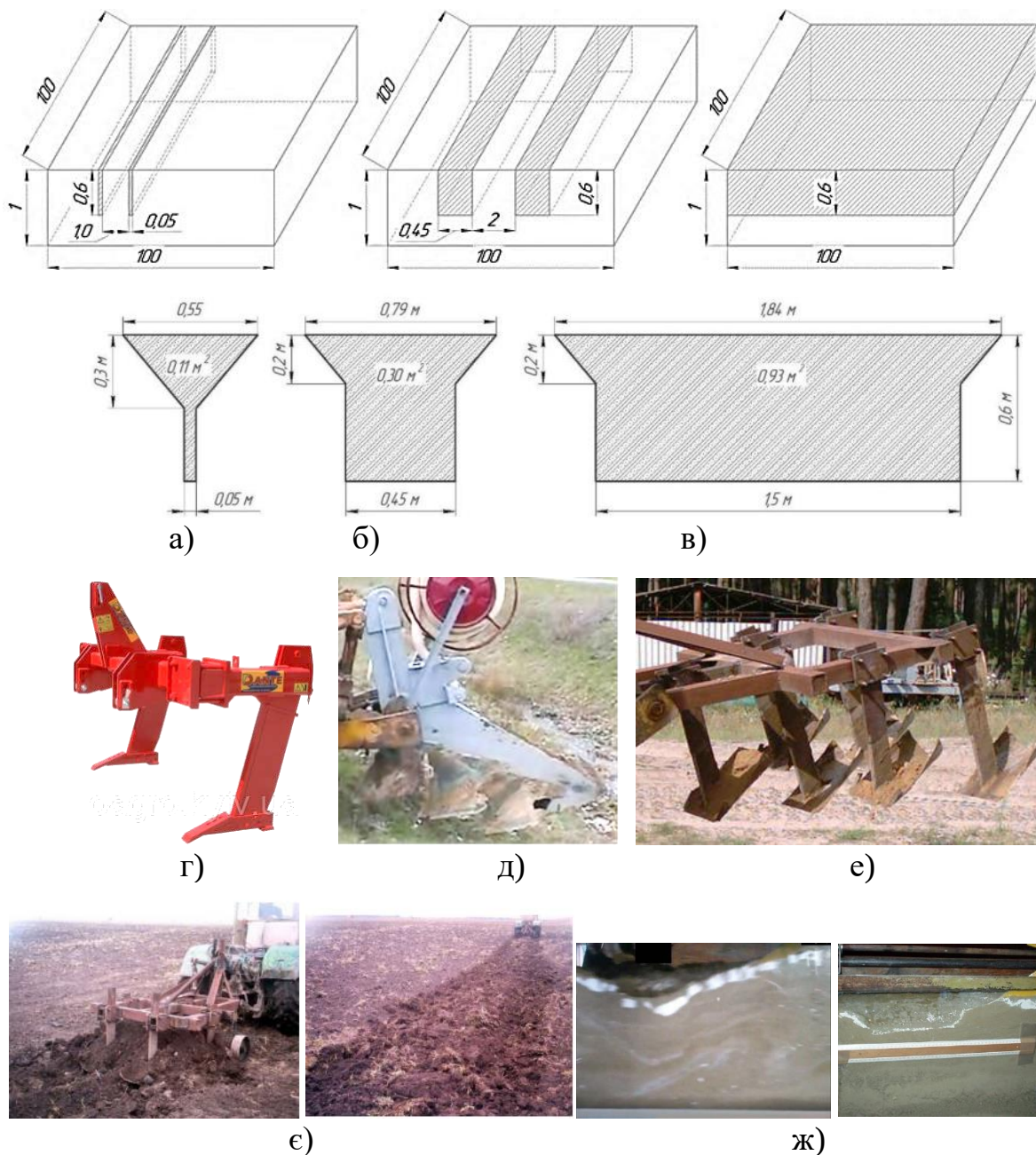


Рисунок 7.2 – Схеми і засоби дослідження глибокого розпушення:

а) щілинне розпушення; б) смугове розпушення; в) удосконалене суцільне розпушення; г) – двохстояковий глибокорозпушувач (щілинне розпушення); д) – одностаяковий ярусний глибокорозпушувач (смугове розпушення); е) – ярусний глибокорозпушувач (суцільне розпушення); є) – ярусний глибокорозпушувач у виробничих умовах; ж) – лабораторні дослідження просипання ґрунту при видах розпушення

Відповідно до сучасних умов та вимог оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів ГМР виконувалося за комплексом показників різної направленості, рис. 7.3.



Рисунок 7.3 – Комплекс показників оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів глибокого 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. 7.2).

Таблиця 7.2 – 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
Щілине	11×2	50	0,11
Смугове	30	40	0,12
Суцільне удосконалене	93	67	0,62

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 повторностей 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 [108; 145].

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 $k_n = 0,5-1,0$ [108; 145].

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 1,4-1,45 т/м³, а у підорному – 1,45-1,71 т/м³ (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 нарізаної щілини, так і між ними. Найбільші зміни щільності ґрунту

відбуваються по лінії проходження стояка даного розпушувача. Порівняння щільності у цих зонах показало її зменшення на 28,3%. Відповідно, у смузі розпушення щільність в орному горизонті становила 1,31 т/м³, у підорному – 1,43 т/м³, а між смугами розпушення, відповідно, 1,45 т/м³ і 1,57 т/м³. Через місяць щільність ґрунту в зоні щілини по вертикалі змінилась до 1,43 т/м³. По мірі віддалення від осі щілини з боку стояка на 15-20 см вона становила вже 1,67 т/м³, тобто збільшилась на 13- 15% і вже майже досягла вихідної щільності первинного (не розпушеного ґрунту).

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- 1,15 т/м³, у підорному – до 1,2-1,3 т/м³. Крім того, була доведена можливість прогнозувати і отримувати бажану структуру в будь-якому горизонті вертикального профілю розпушуваного ґрунту в наслідок можливості регулювання параметрів робочого органу глибокорозпушувача. При цьому, на відміну від інших технологій, була досягнута оптимальна структура розпушеного ґрунту: в орному шарі 55-60% за масою ґрунтових агрегатів з розміром поперечника 10-50 мм і решта 40% – за сумарною масою агрегатів з поперечником меншим за 10 мм та більшим за 50 мм, а у підорному горизонті, відповідно, з поперечником 20-50 мм – 70-80%, та сумарно агрегатів з поперечниками меншими за 20 мм і більшими за 50 мм – 20 -30%.

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. 7.3.

Таблиця 7.3 – 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	—	—
Щільне	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

Вплив глибокого розпушення на агроеліоративні показники меліорованих ґрунтів визначається зміною їх водно-фізичних властивостей і також залежить від застосованої технології [80].

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 дрена, а в розпушеному шарі залишається кількість води, що відповідає НВ.

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 агрономічних 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. 7.4.

Таблиця 7.4 – Порівняльна характеристика основних агрономічних показників шару ґрунту 0,6 м за варіантами розпушення

Показники Варіанти розпушення	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	—	—
Щілинне	594	278	49,0	0,88	0,08	10,0
Смугове	655	339	51,0	0,99	0,19	24,0
Суцільне	711	395	55,5	1,16	0,36	45,0

Термін ефективної технологічної післядії розглянутих способів глибокого розпушення осушуваного мінерального ґрунту склав відповідно: щілинного – 1 рік; смугового – 3 роки, суцільного – до 4 років (дод. В2).

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. 7.5.

Таблиця 7.5 – 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

За отриманими експериментальними результатами було здійснено прогнозні розрахунки урожайності на основі використання відповідного комплексу прогнозно-імітаційних моделей за багаторічними ретроспективними та сучасними даними спостережень у зоні Житомирського Полісся, що реалізуються на основі довгострокового прогнозу [114; 145].

Порівняльна характеристика прогнозного 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. 7.6.

Таблиця 7.6 – Прогнозний врожай вирощуваних культур проектної сівозміни за варіантами розпушення

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

Наведені результати щодо врожаю культур як по роках досліджень, так і прогнозних їх значень адекватно відображають досягнутий ступінь

поліпшення умов їх вирощування за варіантами глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів.

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 осушуваних мінеральних ґрунтів: щілинне – 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 сільськогосподарської 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 [170]:

$$E_n = \sum_{i=1}^n O_{аср\ i} K_i, \quad (7.1)$$

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

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. 7.7.

Таблиця 7.7 – 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 1м ³ розпушеного ґрунту, Дж/м ³	Коефіцієнт енергетичного еквіваленту	Енергетична оцінка врожаю, Дж/га
Щілинне	1286,8	7,39	6,12	7912,8
Смугове	3675,76	4,53	7,05	25898,1
Суцільне	4594,61	0,77	9,69	44500,4

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

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. 7.4).

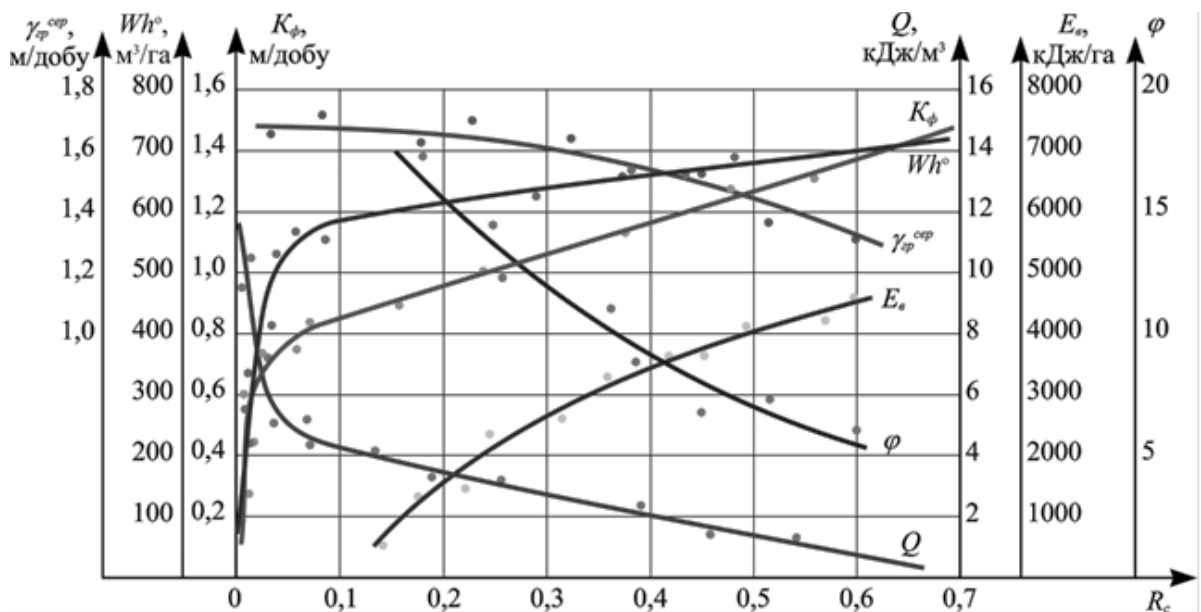


Рисунок 7.4 – Залежність фізичних, енергетичних та фільтраційних показників від повноти розпушення ґрунту R_c на дослідному масиві потужністю 0,6 м: $\gamma_{gr}^{ср}$ – усереднена щільність ґрунту; E_s – інтегральний показник витрати енергії; Q – показник питомої витрати енергії на розпушення 1 м³; 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 0,1-0,5 °С 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 [211], 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 проведене 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 0,9-10,3 Пг/рік, що може компенсувати від однієї чверті до однієї третини річного збільшення атмосферного вуглекислого газу, що оцінюється в 3,3 Пг/рік. Сукупний потенціал секвестрації вуглецю ґрунтом за 25–50 років становить 30-60 Пг. [226].

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. 7.8. та дод. Д.

Таблиця 7.8 – 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)	<u>2970</u>	<u>3451</u>	<u>3972</u>	<u>3459</u>	<u>2842</u>	<u>3451</u>
	2252	3302	3654	3231	2691	3026
Щілинне	<u>2970</u>	<u>3459</u>	<u>3852</u>	<u>3568</u>	<u>2923</u>	<u>3459</u>
	2265	3258	3479	3324	2772	3019
Смугове	<u>2970</u>	<u>3456</u>	<u>3684</u>	<u>3732</u>	<u>3060</u>	<u>3456</u>
	2250	3059	3249	3432	2893	2976
Суцільне	<u>2965</u>	<u>3490</u>	<u>3661</u>	<u>3856</u>	<u>3123</u>	<u>3490</u>
	2260	3062	3191	3605	3055	3034

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

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 [148].

Узагальнені результати дослідження спільної дії дренажу та різних 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. 7.9.

Таблиця 7.9 – Ефективність використання акумуляційної здатності ґрунту при різних варіантах розпушення та роботи дренажу в критичних умовах

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

Примітка: K_i – коефіцієнт фільтрації ґрунту за варіантами дослідження, м/добу $h^0 = 0,6$ м; t – час зниження рівня ґрунтових вод до безпечного рівня; Wh^0 – максимально можливий запас продуктивної вологи розрахункового шару ґрунту), м³/га; P_τ – максимальна кількість опадів, що випала за добу, мм; P'_τ – частина опадів добового максимуму опадів, що попадає в розпушений ґрунт; A_τ – акумулююча ємність розпушеного ґрунту в зоні аерації, залежно від вихідної вологості; E'_A – частка опадів, що акумулюється в ґрунті

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, умов вологозабезпеченості ґрунту в цілому при вирощуванні вологолюбивих багаторічних трав, дод. Б [132].

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 [132].

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 (вирощувані культури, погодно-кліматичні умови, технології й режими зрошення тощо).

Тоді, показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту може бути визначений у відносному вигляді як

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

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

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

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

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

- за довготерміновим прогнозом у декадному перерізі

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

Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та зрошувальної води за розглянутими варіантами представлено в табл. 7.10.

Таблиця 7.10 – Узагальнені результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та зрошувальної води

Основні показники		Значення показників		Зміна, %
		варіант 1 при $WPh^0=200 \text{ м}^3/\text{Га}$	варіант 2 при $WPh^0=400 \text{ м}^3/\text{Га}$	
Сума опадів та зрошувальної води за вегетацію, $\text{м}^3/\text{Га}$	$P+m$	4986	4986	-
Середньозважений продуктивний запас води у ґрунті за вегетаційний період, $\text{м}^3/\text{Га}$	WPh_{cp}	149	190	+27,0
Частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду	WPh_{cp}/WPh^0	0,75	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, $\text{м}^3/\text{Га}$	Ih	2980	1500	-49,6
Частка 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 прогностно-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* [175].

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. 7.11.

Таблиця 7.11 – 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 води у ґрунті за вегетаційний період, WPh_{cp} , м ³ /га	300	500	+66,7	270	450	+65,6
частка середнього значення запасу води в ґрунті за вегетацію від запасу води в ґрунті на початку періоду, WPh_{cp}/WPh^0	0,55	0,91	+65,5	0,49	0,82	+67,3
сума інфільтрації за вегетацію, 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_A^P	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, м³/га; WPh_{cp}/WPh^0 – частка середнього значення запасу вологи в ґрунті за вегетацію від запасу вологи в ґрунті на початку періоду; Ih – сума інфільтрації за вегетацію, м³/га; Ih/P – частка величини суми інфільтрації від суми опадів за вегетацію; A – показник підвищення акумуляційної здатності ґрунту, %; k_A^P – коефіцієнт ефективності використання опадів; K_y – коефіцієнт зміни врожайності (відношення величини фактичної врожайності до потенційної).

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

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

За результатами прогнозно-імітаційного моделювання з використанням відповідного комплексу моделей [114; 145] 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. 7.12 наведено фрагменти узагальнених результатів за такими варіантами: 1 – попереджувальне шлюзування (ПШ); 2 – попереджувальне

шлюзування з суцільним глибоким розпушенням (ПШ+ГР); 3 – попереджувальне шлюзування з суцільним глибоким розпушенням з післядією в 1 рік (ПШ+ГР+1р); 4 – зволожувальне шлюзування (ЗШ, підґрунтове зволоження).

Таблиця 7.12 – 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	Y_ϕ , ц/га	H , м	k_n
ПШ	355	117	0,22	2937	3997	0,46	17,3	1,047	0,49
ПШ + ГР	545	227	0,28	2957	4027	0,49	18,4	1,036	0,51
ПШ + ГР + 1р	420	136	0,22	2944	4038	0,48	17,8	1,043	0,5
ЗШ	355	204	0,28	2934	4743	0,61	22,9	0,908	0,49
Зміна значень показників відносно ПШ, %									
ПШ + ГР	53,5	94,0	27,0	0,7	0,8	6,5	6,4	1,1	4,1
ПШ + ГР + 1	18,3	16,2	0,0	0,2	1,0	4,3	2,9	0,4	2,0

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

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.

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

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

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

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

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.

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

Кращими варіантами є зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування до (ДП) та після розпушення ґрунту (ДП+ГР), які забезпечують суттєве покращення умов вологозабезпеченості ґрунту: підвищення за індексом зволоження $I_{зв}$ становить 120,8% та 268%; за показником тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію $n(IW)$ – 327,3% та 354,6%. Для цих варіантів підвищення коефіцієнта зміни врожайності становить 41,3% та 47,8%.

Однак в умовах змін клімату та при зростанні дефіциту водних ресурсів ці варіанти є менш ефективними, насамперед щодо екологічної та економічної

складових їх загальної ефективності, оскільки потребують значних додаткових затрат поливної води та капіталовкладень на їх реалізацію.

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

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

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

$$T = \frac{K}{ДЧД}, \quad (7.2)$$

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

$$K = K_p + \sum B_d , \quad (7.3)$$

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

$$ДЧД = \sum П_d - K , \quad (7.4)$$

де $П_d$ – 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. 7.13, 7.14 .

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 щільного та смугового, дає змогу отримати найвищий рівень прибутку.

Таблиця 7.13 – Порівняльна ефективність застосування глибокого розпушення на осушуваних мінеральних ґрунтах

№ п/п	Варіанти	Рік дії	Культура	Приріст врожаю,		Термін окупності, років
				ц/га	%	
1	Щілине 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 7.14 - Прогнозні значення основних економічних показників та ефективності досліджуваних варіантів глибокого розпушення, грн/га

№ з/п	Показник	Варіанти розпушення			
		Без розпушення	Щілине	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

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 рішення буде той, для якого

$$ІДІ_0 = \max_{\{i\}}(ІДІ_i) , i = \overline{1, n} , \quad (7.5)$$

за умови, що

$$\begin{cases} ЧДД_i \geq 0; \\ ВНД_i \geq d_i; \\ ДТО_i \geq T_{np}. \end{cases} \quad (7.6)$$

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, згідно [145], наведено в табл. 7.15.

Таблиця 7.15– 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 [86; 83; 84; 23; 24; 238].

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. 7.16.

Таблиця 7.16. Порівняльне оцінювання ефективності удосконалених технологій і технічних засобів суцільного глибокого меліоративного розпушення з традиційним щілинним розпушенням мінеральних ґрунтів за комплексом різномірних показників відносно варіанту без розпушення

Показники ефективності	Види розпушення	
	щілинне глибоке меліоративне розпушення (традиційне)	удосконалене суцільне глибоке меліоративне розпушення
агротехнологічні		
коефіцієнт повноти розпушення розроблюваного профілю ґрунту, %	11-12	60-100
зменшення щільності ґрунту, %	2-3	20-22
збільшення шпаруватості ґрунту, %	9-10	29-32
збільшення акумулюючої ємності ґрунту, %	97-107	165-175

Показники ефективності		Види розпушення	
		щільнине глибоке меліоративне розпушення (традиційне)	удосконалене суцільне глибоке меліоративне розпушення
збільшення водопроникності ґрунту, %		103-114	325-360
збільшення кількості агрономічноцінних макроагрегатів ґрунту, %		195-205	495-505
підвищення продуктивності вирощуваних культур, %		7-13	33-65
термін післядії, роки		2-3	3-4
енергетичні			
витрата енергії на 1 м ³ розпушеного до грудочкової структури ґрунту, Дж/м ³		7,5-8,2	0,8-0,9
коефіцієнт енергетичного еквіваленту по врожайності		6,1-7,4	9,7-10,5
вологорегулюючі			
збільшення величини продуктивних запасів вологи у ґрунті, %*		<u>18-20</u> 28-250	<u>65-67</u> 86-742
підвищення ефективності використання опадів та поливної води, %		26-80	80-263
зміна величини інфільтрації на осушуваних землях, %	зменшення	–	21-22
	збільшення	9-18	–
зміна величини живлення ґрунтовими водами на зрошуваних землях, %	зменшення	–	15-36
	збільшення	5-15	–
підвищення індексу зволоження ґрунту, %*		<u>20-85</u> 32-260	<u>65-268</u> 89-780
підвищення коефіцієнта вологозабезпеченості ґрунту, %*		<u>5-9</u> 35-45	<u>14-27</u> 130-165
підвищення показника тривалості (частки) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію, %*		<u>30-75</u> 70-230	<u>85-255</u> 280-700
екологічні			
зміна інтенсивності промивного режиму на осушуваних землях, %	зниження	–	21-22
	підвищення	9-18	–
зміна ризику відновлення та		зниження	–
			15-36

Показники ефективності		Види розпушення	
		щільне глибоке меліоративне розпушення (традиційне)	удосконалене суцільне глибоке меліоративне розпушення
розвитку процесів вторинного засолення на зрошуваних землях, %	підвищення	5-15	–
зміна еколого–меліоративного стану земель*	погіршення	<u>5-12</u> –	–
	покращення	– 7-19	<u>15-48</u> 37-115
зміна коефіцієнта екологічної надійності	зниження	5-10	–
	підвищення	–	5-15
економічні			
зменшення питомих витрат, %		0.6-1.2	8-15
збільшення питомої продукції, %		6-12	41-47
збільшення чистого доходу, %		140-200	950-990
інвестиційні			
підвищення індексу прибутковості, %		70-73	405-430
збільшення чистого дисконтованого прибутку, %		77-130	570-625
дисконтований термін окупності інвестицій, роки		20-27	3-7

Примітка. * – зміна показників, у чисельнику вказані значення для осушуваного мінерального ґрунту, а в знаменнику для зрошуваного мінерального ґрунту

Застосування технології та технічного засобу глибокого багатоярусного суцільного розпушення осушеного мінерального ґрунту є високотехнологічною інноваційною розробкою та відповідає сучасним принципам адаптивного землекористування, яке, на відміну від трансформаційного, передбачає максимальне пристосування агроеліоративних заходів до природно-кліматичних та ґрунтових умов, оптимальне залучення в обіг природно-ресурсного потенціалу ландшафтів, розширене відтворення та охорону меліорованих земель.

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 щільового 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 енергоемність 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 дисертаційній 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.

1. 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.

2. 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, вологоакуюча

та сорбційна здатність ґрунту, навантаження на дренаж, технологічний і робочий процес, конструкція робочих органів і ґрунторозпушувального агрегату в цілому, приріст врожайності агрокультур.

3. 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 вологоакуючих 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 – $100-220 \text{ кДж/м}^3$, для утворення середньогрудочкової – $50-130 \text{ кДж/м}^3$.

4. 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.

5. За розробленими енергоефективними принципами обґрунтовано конструкцію удосконаленого глибокорозпушувача, що представляє собою раму з несучими стояками, на яких, для здійснення докритичноглибинної неблокованої 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.

6. 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 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 періодів у верхній чверті культурного шару здійснюють вертикальне щільювання; для ділянок з переуцільненими підорними шарами здійснюють взаємний обмін суміжних нижніх шарів по горизонтах залягання.

7. 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 відотною 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.

8. За результатами порівняльного оцінювання загальної ефективності технологій і технічних засобів глибокого меліоративного розпушення за комплексом різномірних 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.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою удосконалення технологій глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів рекомендовано до використання виробництву:

- розроблені вологорегулюючі принципи удосконалення технологій глибокого меліоративного розпушення мінеральних ґрунтів з регульованим водним режимом з переорієнтацією водних потоків у ґрунтовому масиві на вертикально-горизонтальні з акумуляцією вологи в розпушеному ґрунті для підвищення в середньому на 27% його вологозабезпеченості;

- розроблені енергоефективні принципи удосконалення пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення з горизонтальною пошаровою диференціацією потоків техногенної енергії з почерговою горизонтальною докритичноглибинною неблокованою розробкою окремих шарів ґрунту поступовим двостороннім розущільненням макроагрегатної структури ґрунту згином та розтягом робочими органами зі зменшеними до 40% питомими енергозатратами;

- удосконалений метод обґрунтування технологічних параметрів глибокого меліоративного розпушення з суцільним за площею але диференційованим за профілем і глибиною пошаровим макроагрегатним розущільненням шарів ґрунту з урахуванням їх (дрібно-, середньо- або крупно-) грудочкуватої структури та водно-фізичних властивостей, що, порівняно з традиційними, дає змогу в загальному підвищити врожайність вирощуваних культур на осушуваних мінеральних ґрунтах на 20-40%;

- удосконалений метод обґрунтування конструктивних параметрів пасивних технічних засобів глибокого меліоративного розпушення з ярусно-клиновою просторовою конфігурацією робочого обладнання та розрахунку робочих органів з урахуванням форми і пошаровості профілю розпушення, водно-фізичних властивостей, швидкості руху і відносної глибини розущільнення окремо в кожному шарі ґрунту.

Основні позиції відображено у науково-методичних рекомендаціях.

Глибоке розпушення осушуваних ґрунтів як ефективний адаптивний захід у змінних кліматичних умовах. *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. С. 43-56. ISBN 978-966-327-509-3.

Глибоке розпушення ґрунтів рисових систем. В кн. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України. *Науково-методичні рекомендації* / за заг. ред. Сташука В.А., Вожегової Р.А., Дудченка В.В., Рокочиського А.М., Морозова В.В.). Вид. 2-ге, перероб. та доповн. – Київ- Херсон-Рівне: НУВГП, 2020, - 203 с., 142-151 с., ISBN 978-966-327-445-4.

Глибоке розпушення ґрунтів рисових систем. В кн. Підвищення ефективності функціонування Придунайських рисових зрошувальних систем. *Науково-методичні рекомендації* /– Одеса-Рівне: НУВГП, 2018, - 107 с. ISBN 978-966-327-391-4.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. 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.
3. Антощенков Р.В. Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоеlementних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*. 2016. № 2. С. 105-112.
4. 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.
5. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. – Рівне: РДТУ, 2001. – 367 с.
6. Баландинский В.Л. Динамическое разрушение прочных грунтов. Киев: Будівельник, 1972. 226 с.
7. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. К.: Будівельник, 1988. - 152 с.
8. Барвінський А.В., Тихенко Р.В. Оцінка і прогноз якості земель: підручник. Київ: Медінформ, 2015. 642 с.
9. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. изд. 13-е. М.: Наука, 1986. 544 с.
10. Булгаков В. М. Самоорганізація ґрунтових структур / В. М. Булгаков, Б. А. Шелудченко. – К. : НАУ, 1998. – 58 с
11. 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.
12. 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.
 13. 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
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.
 17. Ветров Ю.А. Машины для специальных земляных работ: учебное пособие / Ю.А. Ветров, В.Л. Баладинский. Киев: Вища школа, 1980.

192 с.

18. Власенко В. М. Экологические требования к почвообрабатывающим орудиям и посевным машинам. Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1993. №9. С. 14-16.
19. 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.
20. 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
21. Водопроникнення ґрунту. Чизель-глибокорозпушувач ЧГ-40-02. Протокол № 01-17-2018 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-40-02_waterpen.pdf
22. Волик Б. А. Методика оценки качества обработки почвы / Б. А. Волик, А. А. Колбасин, Г. В. Хотюн. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету, 2002. – №1. – С. 21–23.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
 26. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. –М.: Высш. шк., 1978. – 447 с.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Герасімов Є.Г., Рокочинський А.М., Герасімов 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.
 30. Глибкорозпушувач: пат. 150082 Україна: МПК А01В 13/08, А01В 13/14. № u202104357; заявл. 26.07.21; опубл. 29.12.21, Бюл. №52. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П.)
 31. Гошко О.В. Підвищення якості обробітку дерново-підзолистих ґрунтів Полісся // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №3, 1997. – С. 72-75.

32. Гришко В.В., Перебийніс В.І., Рабштина В.М. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління). Полтава: ВАТ «Видавництво «Полтава», 1996. 280 с.
33. 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.
34. 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.
35. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2022 році. Департамент екології та природних ресурсів Рівненської обласної держадміністрації. Рівне, 2023. 232 с.
36. 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
37. 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.
38. Дяченко Л.А., Мороз М.С. Аналіз різних систем обробітку ґрунту. *Матеріали Міжсвузівської науково-практичної конференції «Інженер третього тисячоліття» (м. Ніжин, 19 листопада 2018 р.)*. ВП НУБіП України. Ніжин, 2018. С. 34-39.
39. 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.

40. 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.
41. 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.
42. 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.
43. Кожушко Л.Ф. Удосконалення дренажних систем: монографія. Рівне: Вид-во РДТУ. 2001. 280 с.
44. Кожушко Л.Ф., Кравец С.В., Попроцкий В.Н. и др. Глубокое объемное рыхление тяжелых слабоводопроницаемых почв. - Ровно: ЦНТИ, 1990. - 16с.
45. Козаченко О.В. Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах: наукове видання. Харків: Торнадо, 2008. 272 с.
46. Козловський Б.І. Меліоративний стан осушуваних земель західних областей України: монографія. Львів: Євросвіт, 2005. 420 с.
47. 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.

48. Коломієць М.В. Оптимізація обробітку ґрунтів лісостепу: наукові та прикладні аспекти // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. №1, 1998. – С. 12-16.
49. 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>
50. 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.
51. 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.
52. 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.
53. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. – Рівне: РДТУ, 1999. – 277 с.
54. 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

55. Кравець С.В., Кирикович В.Д., Блажівський 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.
56. 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.
57. 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.
58. Кравець С.В., Лук'янчук О.П. Визначення максимальної глибини транспортування ґрунту на денну поверхню при багатоярусній 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
59. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Степанюк Б.І. Вибір та визначення фізичних і механічних характеристик ґрунту у залежності від його природньої вологості. В кн.: *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії*: збірник наукових праць. 6-й випуск. – Кропивницький-Херсон: ХДАЕУ, 2024. – 174 с. С. 97-100. https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_04_06_24.pdf
60. 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.

61. 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.
62. 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.
63. 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.
64. 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.
65. Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Романовський О.Л., Косяк О.В. Визначення зусилля деформування ґрунту багаторусними робочими органами. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація роб. проц. буд. і дор. машин. Збірник наукових праць*. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2010. Вип. 57. С. 61-68.
66. 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.

67. 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.
68. 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.
69. 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.
70. Кушнарєв А. С. Механико-технологические основы обработки почвы / А. С. Кушнарєв, В. И. Кочев – К. : Урожай, 1989. – 144 с
71. 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
72. 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.
73. 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.*

74. 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.
75. 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.
76. Лозовіцький П.С. Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів: Підручник. Київ. 2014. 528 С.
77. Лук'янчук О. П., Степанюк Б. І. Визначення раціонального компонування ґрунторозробного обладнання за побудою 3d-моделей елементів тіл сколу ґрунту. *Вісник НУВГП. Технічні науки. Збірник наукових праць*. Рівне: НУВГП, 2024. Вип. 1 (105). С. 03-17.
<http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/31525>
78. Лук'янчук О. Шляхи підвищення енергоефективності глибокого розпушення ґрунту за формалізацією перетворень його складових. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «ІННОВАЦІЇ: теорія і практика». Кропивницький: Академія Прикладних наук. 2023, с. 22-23.
<https://apn.biz.ua/publication/125>
79. 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.
80. 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>
81. 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.
 82. Лук'янчук О.П., Гапонюк М.М., Кузьмич А.А., Волк П.П., Коптюк Р.М., Рокочинський А.М. Удосконалення технологій водорегулювання осушуваних мінеральних ґрунтів. Збірник тез XI міжнародної науково-практичної онлайн-конференції «Прискорення змін для подолання водної кризи в Україні», присвяченої Всесвітньому дню водних ресурсів, 22 березня 2023 р., Київ: Інститут водних проблем і меліорації НААН, 2023. С. 83-84. <https://doi.org/10.31073/mivg2023>
 83. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Адаптивний агроеліоративний 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.
 84. 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.
85. 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.
 86. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Ефективність удосконаленого глибокого розпушення мінеральних ґрунтів як адаптивного агро меліоративного заходу у змінюваних природніх умовах. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «ІННОВАЦІЇ: теорія і практика»*. Кропивницький: Академія Прикладних наук. 2022. с. 66-68.
 87. 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.
 88. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М. Удосконалення технологій і технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів на основі системної методології. В кн.: Підвищення ресурсного потенціалу Українського Полісся: монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН В.А. Сташука, д.с.-г.н., проф. В.С. Мошинського, д.т.н., проф. А.М. Рокочинського [та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2024. С. 432-445. <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/30397>
 89. 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.

90. Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П., Турченко В.О., Коптюк Р.М. Удосконалене глибоке розпушення як ефективний адаптивний агроеліоративний захід на осушуваних землях. В кн.: Підвищення ресурсного потенціалу Українського Полісся: монографія / за ред. д.т.н., проф., акад. НААН В.А. Сташука, д.с.-г.н., проф. В.С. Мошинського, д.т.н., проф. А.М. Рокочинського [та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2024. С. 446-457.
<http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/30397>
91. Лук'янчук О.П., Степанюк Б.І. Визначення співвідношення зусиль за різними видами різання ґрунту в багатоеlementних робочих органах. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет- конференції 26-27 квітня 2023 р. [Електронне видання]. - Рівне : НУВГП, 2023. 196 с. С. 43-46. ISBN 978-966-327-554-3
https://ep3.nuwm.edu.ua/26294/1/Тези_загальн_2023%20зах.pdf
92. 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.
93. 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>.
94. 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.
95. 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.
96. 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.
 97. Машины для земляных работ : 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.
 98. Медведев В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). — Харьков: Изд. «13 типография», 2008. —406 с.
 99. Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
 100. Медведев В. В. Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин / В.В. Медведев, П.И. Слободюк, В.Ф. Пащенко. Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1987, №3. – С. 6–8.
 101. Медведев В.В. Нормативи утворення і збереження структури ґрунту / В. В. Медведев // Вісник аграрної науки. - 2010. - № 3. - С. 9-13.
 102. Медведев В.В. Структура ґрунту як екологічний чинник. Вісник ХНАУ. 2009. Вип. 3. С. 25-31.
 103. Медведев В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В. Фізика ґрунту . Навчальний посібник . К.: Видавництво, 2018.- 289 с.
 104. Медведев В.В., Лактіонова Т.М., Почепцова Л.Г., Ламар Р. Інноваційні тенденції в обробітку ґрунтів. *Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до VII з'їзду УТГА*. Книга перша.

Харків, 2006. С. 79-94.

105. Медведковський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. - К.: Урожай., 1988, - 206 с.
106. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 208 с.
107. Мелиорация и использование осушенных земель / В. Е. Алексеевский, Н. И. Васюк [и др.] ; под ред. В. Е. Алексеевского. – Киев: Урожай, 1988. – 184 с.
108. 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.
109. Моклячук М.П. Варіаційне числення. Екстремальні задачі. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2009. 380 с.
110. Мошинський В.С. Методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель: монографія. Рівне: НУВГП, 2005. 250 с.
111. 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.
112. Мусійко В.Д. Фізико-математичне моделювання робочих процесів землерийних машин безперервної дії // Вісник НТУ. – К., 2015. – Вип. 1 (31). – С. 385–394.
113. 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

114. 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.
115. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. Киев: Наукова думка, 1987. –280с.
116. 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.
117. Основні показники технічної експлуатації осушувальних систем і використання меліорованих земель Волинського обласного управління меліорації і водного господарства. Луцьк, 2009. 44 с.
118. Основні показники технічної експлуатації осушувальних систем і використання меліорованих земель Рівненського обласного управління меліорації і водного господарства. Рівне, 2009. 56 с.
119. Панов И.М. Почвообрабатывающая техника: состояние и проблемы развития // Тракторы и сельскохозяйственные машины. №11, 2003. – С. 9-11.
120. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: монография. К.: Феникс, 2008, 266с. ISBN 978-966-651-621-6
121. Панченко А.Н. Повышение качества сплошной обработки почв почвообрабатывающими орудиями // Вісник аграрної науки: Науково-теоретичний журнал УААН. Січень 1998. – С. 36-40.
122. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими

- орудиями. Днепропетровск: ДГАУ, 1999. 140 с.
123. Пастухов В.І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати. Харків: Ранок-НТ, 2003. 100 с.
 124. 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.
 125. Петренко Л.Р., Вітвіцький С.В., Булігін С.Ю., Богданович Р.П. Управління ґрунтовими режимами. Київ: НУБіП. 2017. 368 с.
 126. Петроченко В. І. Дослідження процесу ступневого різання ґрунтів робочими органами меліоративних машин / В. І. Петроченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2014. - Вип. 99(1). - С. 326-340.
 127. 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.
 128. 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>
 129. 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/nvnau_agr_2013_183%282%29__35
 130. Плisko І.В. Вплив добрив, способів обробітку та агрофізичних параметрів чорноземного ґрунту на врожай культур. Вісник ХНАУ. 2004. Вип. 6. С. 251-256.
 131. 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).
132. 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. https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_04_06_24.pdf
133. 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).
134. 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://jrnل.nau.edu.ua/index.php/SR/article/view/6128>.
135. Робочий орган вологоакумуляуючого 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. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Турченко В.О., Волк П.П.)
136. Робочий орган глибокорозпушувача для концентрованого

- акумулювання ґрунтової вологи: пат. 129959 Україна: МПК А01В 13/16, А01В 13/08, Е02F 5/32. № u201804339; заявл. 20.04.18; опубл. 26.11.18, Бюл. 22. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М.)
137. 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. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Турченко В.О., Волк П.П.)
138. 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. (Кирикович В.Д., Козяр В.О., Форсюк С.Л., Лук'янчук О.П.)
139. 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. . (Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П.)
140. Робочий орган укладача-розпушувача: пат. 72964 Україна: МПК Е02F 5/10. № 2002097638; заявл. 24.09.02; опубл. 16.05.05, Бюл. 5. 4 с. (Кравець С.В., Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., та ін.)
141. Робочий орган укладача-розпушувача: пат. 76118 Україна: МПК Е02F 5/10. № 2006021608; заявл. 24.02.03; опубл. 17.07.06, Бюл. 7. 4 с. (Кравець С.В., Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П. та ін.)
142. 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. (Турченко В.О., Рокочинський А.М., Васильєв С.В. та ін.)
143. Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М. та ін. Формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агроеліоративних умов/ Меліорация і водне господарство, № 1, 2020, с. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202001-231>
144. 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>
145. 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.
 146. Рокочинський А.М., Волк П.П., Коптюк Р.М., Приходько Н.В. Формування водопотреби осушуваних земель щодо змінних кліматичних та агроеліоративних умов. *Меліорація і водне господарство*, 2020, (1), С. 76-85. <https://doi.org/10.31073/mivg202001-231>.
 147. 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.
 148. Ромащенко 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>.
 149. Ромм Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород. М.: Недра, 1985, 241 с.
 150. Сайко В. Ф., Малієнко А. М. Системи обробітку ґрунту в Україні. Київ: ТОВ ВД "ЕКМО", 2007. 42 с.
 151. Сакур 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.
152. 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.
 153. 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.
 154. 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.
 155. Сельскохозяйственные мелиорации / Под ред. С.М. Гончарова, С.М. Коробченко. К.:Выща школа, 1985. – 382 с
 156. Сисолін П., Сало В. Уніфіковані ґрунторозпушувачі для захисних систем землеробства // Техніка АПК: Науково-технічний журнал. №2, 2000. – С. 12-15.
 157. Смирнов А. М., Алексеева Ю. С. Экспериментальные исследования влияния глубокого рыхления на работу дренажа. — Сборник трудов СевНИИГиМ, - Л., 1979, С.178-184.
 158. 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
 159. Спосіб визначення довжини лемеша: пат. 151279 Україна: МПК E02F 5/18. № u202200115; заявл. 13.01.21; опубл. 29.06.22, Бюл.

№26. 4 с. (Кравець С.В., Лук'янчук О.П., Нечидюк А.А. та ін.)

160. Спосіб глибокого розпушення ґрунту в посушливих регіонах: пат. 148115 Україна: МПК А01В 13/14, А01В 79/00. № u202008013; заявл. 15.12.20; опубл. 07.07.21, Бюл. 27. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П.)
161. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі: пат. 61783 Україна, А01В79/00, № 2003043643; заявл. 22.04.03; опубл. 17.11.03; Бюл. №11. 4 с.
162. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліоративному полі: пат. 70108 Україна, А01В79/00, № 20031212532; заявл. 26.12.03; опубл. 15.09.04; Бюл. №9. 4 с.
163. Спосіб глибокого розпушення ґрунту на меліорованих землях: пат. 143375 Україна: МПК А01В 13/14, А01В 37/00, А01В 79/00. № u202000978; заявл. 17.02.20; опубл. 27.07.20, Бюл. 14. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П.)
164. Спосіб глибокого розпушення ґрунту: пат. 147551 Україна: МПК А01В 13/14, А01В 37/00, А01В 79/00. № u202008018; заявл. 15.12.20; опубл. 19.05.21, Бюл. 20. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П.)
165. Спосіб глибокого розпушення ґрунту: пат. 150485 Україна: МПК А01В 79/00, А01В 13/14, А01В 49/02. № u202105250; заявл. 16.09.21; опубл. 23.02.22, Бюл. №8. 4 с. (Лук'янчук О.П., Рокочинський А.М., Волк П.П.)
166. Спосіб різноглибинного механічного обробітку ґрунту: пат. 109646 Україна, А01В79/00, А01В 49/02, № u201602939; заявл. 22.03.16; опубл. 25.08.16, Бюл. №16. 4 с.
167. 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

168. 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.
169. Станевский В.П. Совершенствование рабочего процесса землеройных машин. – К.: Вища школа. Изд-во при КГУ, 1984. – 128с.
170. Стахів О.А. Енергетична оцінка ефективності аграрного природокористування на торфових ґрунтах Західного Полісся України: автореф. дис. ... канд. економічних наук, Київ, 2001. 20 с.
171. 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>
172. 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.
173. 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.
174. Теслюк Г.В. Методика аналітичної оцінки якості розпушення ґрунту комбінованим агрегатом / Г.В.Теслюк, Б.А.Волик, А.М.Пугач // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2015. - Вип. 226. - С. 260-264.
175. 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.

176. 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.
177. 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.
178. Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П. Агромеліоративний глибокорозпушувач. Водне господарство України: *Науково-технічний часопис*. 2005. №1/2. С.34-37.
179. Ткачук В.Ф., Лук'янчук О.П., Рижий О.П. Агромеліоративні багатоярусні глибокорозпушувачі: Монографія. Рівне, 2011. 190 с.
180. 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.
181. 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.
182. 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.
183. 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.
184. 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.
 185. 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.
 186. 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.
 187. 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.
 188. 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.
 189. Тютюнник Д.А. Методичні рекомендації щодо застосування глибокого розпушення на мінеральних суглинних ґрунтах, осушених гончарним дренажем. – К.: УкрНИИГіМ. - 1996. - 44 с
 190. Тютюнник Д.А. Глибокий обробіток в меліоративному комплексі на важких перезволожених ґрунтах // Вісн. с.- г. науки. — 1977. - № 11. - С . 60-63.

191. Хлапук М.М., Тищенко О.І. Підвищення ефективності і надійності осушувально-зволожувальних систем // Вісник інженерної академії України. 2003. Вип. 2. С. 57-65.
192. Хмара Л.А. Интенсификация рабочих процессов навесных рыхлителей // Строительные и дорожные машины. №9, 1993. С. 32-34.
193. Чернёнок В.Я., Брусиловский Ш.И, Глубокое рыхление осушаемых тяжёлых почв. М.: Колос, 1983. 63 с.
194. Швец В.Б., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. Справочник по механике и динамике грунтов. Киев: Будівельник, 1987.
195. 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.
196. 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.
197. Шелудченко Б. А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир, Полісся, 1992. – 249 с.
198. 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.
199. 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.

200. 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
201. Adger W. N. Vulnerability: Global environmental change. 2006. V. 16, p. 268–281.
202. 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
203. 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
204. 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.
205. Auler A. C. et al. Soil physico-hydrical properties resulting from the management in integrated production systems / *Rev. Ciênc. Agron.*, v. 45, n. 5 (Especial), p. 976-989, 2014
206. 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>
207. Berhe F.T. et al. The effect of tillage practices on grain yield and water use efficiency. *Catena* 100 (2012) 128–138
208. 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.
209. 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
 210. 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
 211. 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.
 212. 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).
 213. 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>
 214. 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
 215. Corwin E.I., Clusel M., Siemens O.N., et al. Model for ransom packing of polydisperse frictionless // *Soft Matter*. 2010. №6. P. 2945–2959.
 216. 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 - N° 3 - 2010: 485-497. DOI:10.4067/S0718-58392010000300016
217. Czesław Waszkiewicz, Józef Kuczewski. Maszyny rolnicze. Cz. 1, Maszyny i urządzenia do produkcji roślinnej. Warszawa : Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, 1998. ISBN 8302060526
218. 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
219. Farzad Haghazari 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.
220. 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
221. 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.
222. Karlsrud, Kjell and Andresen, Lars, "Design and Performance of Deep Excavations in Sof Clays". International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. 9. 2008.
223. 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>
224. 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
225. 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
226. 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>
227. 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.
228. 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
229. 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
230. 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.
231. 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

232. Lukianchuk O., Rokochinskiy A., Gritsevich M. Applying deep loosening to improve rice fields. *The 1st 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.
233. Lukyanchuk O. Experimental Determination of the Relationship between Soil Structure Parameters and Indicators of Water Saturation and Filtration. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics* 70 (2023), pp. 89–100, DOI: <https://doi.org/10.2478/heem-2023-0006>
<https://sciendo.com/article/10.2478/heem-2023-0006>
234. Lukyanchuk O. Energy Intensity of Structural Grinding of the Soil by Deep Loosening.
Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone : Handbook of Research / Anatoliy Rokochynskiy, Lyudmyla Kuzmych, Pavlo Volk, et al. IGI Global, 2023. 243-257 pp. DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3, ISBN13: 978166848248, ISBN10: 166848248, EISBN13: 9781668482506. <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-improving-natural-ecological/312247?f=e-book&i=1#table-of-contents>
235. Lukyanchuk O., Turcheniuk V., Koptiyuk R. Improvement Deep Loosening as an Effective Adaptive Agromeliorative Practice. *Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone : Handbook of Research / Anatoliy Rokochynskiy, Lyudmyla Kuzmych, Pavlo Volk, et al.* IGI Global, 2023. 222-242 pp. DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3, ISBN13: 978166848248, ISBN10: 166848248, EISBN13: 9781668482506. <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-improving-natural-ecological/312247?f=e-book&i=1#table-of-contents>
236. 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>
237. 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)
 238. 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)
 239. 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
 240. 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
 241. 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. 1437-1446. ISSN: 0100-0683
 242. 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

243. Nidal H Abu-Hamdeh. Effect of Soil Manipulation and Other Field Parameters on Soil Physical Properties/Materials Science 12th ISCO Conference, Beijing 2002.
244. 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
245. O.P. Lukianchuk, A.M. Rokochynskiy, L.R. Volk, P.P. Volk, N.S. Kovalchuk The influence of deep loosening on the ecological and meliorational state of drained mineral soils / Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2023, Volume 1254(1), 012106. DOI 10.1088/1755-1315/1254/1/012106
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1254/1/012106>
246. 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.
247. 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.
248. 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
249. 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
250. 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
251. Ogbeche, O. S., M. S. Idowu, and E. Theophilus. 2018. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hardpan. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(3): 85–96.
 252. 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>
 253. 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
 254. 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/
 255. Rokochynskiy A. Necessity and ways to increase adaptive potential of dried land in changeable climatic conditions / A.Rokochynskiy, Y.Mazhayskiy, P.Volk, J.Yeznah, 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
 256. 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
 257. 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

258. 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>
259. 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>
- 260 Smith Pete, Martino Daniel, Cai Zucong and other. Greenhouse gas
и. mitigation in agriculture. March 2008. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* 363(1492):789-813
DOI:10.1098/rstb.2007.2184
261. 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
262. 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
263. 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>
264. 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.
265. 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.
266. 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

267. 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.
268. 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>
269. Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience. Preliminary assessment of the potential benefits of conservation agriculture. World Bank, Washington, DC and FAO, Rome. 2014.
270. 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
271. 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)
272. 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>
273. 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
274. William F. Simmons, Emerson D. Nafziger. Soil Management and Tillage: Illinois Agronomy Handbook, Chapter 10, 133-142,

<http://extension.cropsciences.illinois.edu/handbook/>

- 275. 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.
- 276. 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.
- 277. 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

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Оцінювання середніх багаторічних значень вегетаційних показників основних метеорологічних характеристик для умов Західного Полісся

Таблиця А.1 – Нормований розподіл опадів за розрахунковими періодами вегетації, мм

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	15.29	14.50	13.74	13.03	12.35
	2	16.31	15.33	14.42	13.56	12.75
	3	18.06	16.77	15.56	14.45	13.41
	$\sum x_{\tau}$	49.66	46.60	43.73	41.04	38.52
травень	1	20.56	18.78	17.15	15.66	14.31
	2	23.74	21.30	19.10	17.13	15.37
	3	30.20	26.59	23.42	20.63	18.17
	$\sum x_{\tau}$	74.50	66.67	59.68	53.43	47.85
червень	1	31.37	27.17	23.53	20.38	17.65
	2	35.05	29.93	25.57	21.84	18.65
	3	37.97	32.10	27.15	22.95	19.41
	$\sum x_{\tau}$	104.38	89.20	76.24	65.17	55.71
липень	1	39.66	33.35	28.05	23.59	19.83
	2	39.83	33.48	28.14	23.65	19.88
	3	42.29	35.70	30.14	25.45	21.48
	$\sum x_{\tau}$	121.79	102.54	86.33	72.68	61.19
серпень	1	35.74	30.45	25.95	22.11	18.83
	2	32.17	27.77	23.98	20.70	17.87
	3	31.08	27.27	23.93	21.00	18.43
	$\sum x_{\tau}$	98.99	85.50	73.86	63.81	55.14
вересень	1	24.46	21.86	19.53	17.45	15.60
	2	21.14	19.24	17.51	15.94	14.51
	3	18.49	17.12	15.84	14.66	13.57
	$\sum x_{\tau}$	64.09	58.21	52.89	48.06	43.68
жовтень	1	16.59	15.56	14.60	13.70	12.86
	2	15.43	14.61	13.84	13.10	12.41
	3	16.50	15.68	14.90	14.16	13.46
	$\sum x_{\tau}$	48.52	45.86	43.35	40.97	38.72
Всього	$\sum X_p$	561.92	494.57	436.06	385.15	340.80

Таблиця А.2 – Нормований розподіл температури повітря за розрахунковими періодами вегетації, °С

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	6.06	6.33	6.63	6.80	7.22
	2	6.74	7.06	7.42	7.62	8.12
	3	8.04	8.46	8.92	9.19	9.85
	Х _г	208.45	218.53	229.70	236.10	251.81
травень	1	9.86	10.43	11.06	11.42	12.32
	2	11.93	12.67	13.50	13.98	15.18
	3	13.78	14.69	15.71	16.30	17.78
	Х _г	369.57	392.57	418.38	433.35	470.56
червень	1	15.00	16.02	17.17	17.84	19.51
	2	15.47	16.54	17.74	18.44	20.19
	3	15.45	16.52	17.71	18.41	20.16
	Х _г	459.26	490.71	526.20	546.88	598.56
липень	1	15.32	16.37	17.55	18.24	19.97
	2	15.36	16.42	17.60	18.30	20.03
	3	15.65	16.73	17.95	18.66	20.44
	Х _г	478.96	511.86	549.02	570.66	624.79
серпень	1	16.00	17.12	18.37	19.11	20.94
	2	16.04	17.15	18.42	19.15	21.00
	3	15.35	16.41	17.59	18.29	20.02
	Х _г	489.28	523.17	561.45	583.76	639.58
вересень	1	13.81	14.72	15.74	16.34	17.82
	2	11.68	12.40	13.21	13.67	14.83
	3	9.50	10.03	10.63	10.97	11.82
	Х _г	349.89	371.50	395.73	409.77	444.67
жовтень	1	7.71	8.10	8.54	8.78	9.40
	2	6.53	6.83	7.17	7.36	7.83
	3	5.98	6.25	6.54	6.71	7.12
	Х _г	208.18	218.06	228.99	235.25	250.61
Всього	Х _р	2563.59	2726.39	2909.47	3015.76	3280.58

Таблиця А.3 – Нормований розподіл відносної вологості повітря за
розрахунковими періодами вегетації, %

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	79.67	77.67	75.70	73.53	70.98
	2	78.05	75.25	72.41	69.24	65.37
	3	76.73	73.01	69.14	64.70	59.16
	Х _т	78.15	75.31	72.42	69.16	65.17
травень	1	76.24	71.78	67.05	61.45	54.46
	2	76.70	71.87	66.74	60.46	52.75
	3	77.64	72.81	67.67	61.24	53.55
	Х _т	76.86	72.15	67.15	61.05	53.59
червень	1	78.48	73.78	68.80	62.48	55.10
	2	78.90	74.30	69.44	63.25	56.10
	3	78.94	74.36	69.54	63.38	56.28
	Х _т	78.77	74.14	69.26	63.04	55.83
липень	1	78.84	74.25	69.41	63.24	56.10
	2	78.91	74.34	69.52	63.39	56.30
	3	79.33	74.91	70.28	64.35	57.59
	Х _т	79.03	74.50	69.73	63.66	56.66
серпень	1	80.13	76.03	71.78	66.33	60.26
	2	81.08	77.45	73.74	68.99	63.86
	3	81.89	78.77	75.65	71.69	67.54
	Х _т	81.03	77.42	73.72	69.00	63.88
вересень	1	82.36	79.75	77.20	74.00	70.72
	2	82.53	80.40	78.35	75.85	73.30
	3	82.53	80.82	79.20	77.29	75.32
	Х _т	82.47	80.32	78.25	75.71	73.11
жовтень	1	82.38	80.98	79.66	78.14	76.56
	2	81.94	80.64	79.41	78.03	76.54
	3	81.05	79.56	78.13	76.55	74.78
	Х _т	81.79	80.39	79.06	77.57	75.96
Всього	Х _р	79.73	76.32	72.80	68.46	63.46

Таблиця А.4 – Нормований розподіл дефіциту вологості повітря за
розрахунковими періодами вегетації, мм

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	1.65	1.86	2.09	2.32	2.65
	2	1.88	2.20	2.54	2.91	3.43
	3	2.19	2.66	3.19	3.77	4.63
	$\sum x_{\tau}$	57.20	67.19	78.14	89.95	107.06
травень	1	2.54	3.19	3.95	4.82	6.16
	2	2.85	3.69	4.69	5.86	7.72
	3	3.07	4.05	5.24	6.66	8.94
	$\sum x_{\tau}$	87.67	113.33	144.06	180.07	237.06
червень	1	3.18	4.23	5.53	7.07	9.59
	2	3.21	4.28	5.60	7.18	9.75
	3	3.20	4.26	5.57	7.14	9.69
	$\sum x_{\tau}$	95.99	127.80	166.93	213.92	290.30
липень	1	3.19	4.24	5.54	7.10	9.62
	2	3.19	4.24	5.53	7.09	9.61
	3	3.17	4.22	5.50	7.04	9.53
	$\sum x_{\tau}$	98.71	131.25	171.25	219.23	297.12
серпень	1	3.11	4.11	5.33	6.79	9.15
	2	2.95	3.85	4.94	6.22	8.26
	3	2.69	3.43	4.31	5.32	6.90
	$\sum x_{\tau}$	90.18	117.35	150.08	188.62	249.95
вересень	1	2.37	2.92	3.56	4.28	5.37
	2	2.04	2.42	2.86	3.32	4.00
	3	1.76	2.02	2.30	2.60	3.01
	$\sum x_{\tau}$	61.61	73.71	87.21	102.02	123.84
жовтень	1	1.57	1.76	1.95	2.15	2.42
	2	1.49	1.65	1.80	1.96	2.18
	3	1.52	1.68	1.85	2.02	2.25
	$\sum x_{\tau}$	47.33	52.52	57.89	63.36	70.81
Всього	$\sum X_p$	538.69	683.16	855.56	1057.17	1376.13

Таблиця А.5 – Нормований розподіл ФАР за розрахунковими періодами
вегетації, кДж/см²

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	5.62	6.42	7.33	8.35	9.49
	2	5.79	6.62	7.55	8.60	9.77
	3	6.11	6.98	7.97	9.08	10.32
	$\sum x_t$	175.11	200.22	228.51	260.25	295.83
травень	1	6.57	7.51	8.57	9.76	11.09
	2	7.09	8.10	9.25	10.53	11.98
	3	7.56	8.65	9.87	11.24	12.77
	$\sum x_t$	219.70	251.21	286.71	326.53	371.17
червень	1	7.87	9.00	10.27	11.70	13.30
	2	8.00	9.14	10.43	11.88	13.51
	3	7.99	9.14	10.43	11.88	13.50
	$\sum x_t$	238.59	272.81	311.35	354.60	403.08
липень	1	7.96	9.10	10.38	11.82	13.44
	2	7.97	9.11	10.40	11.84	13.46
	3	8.04	9.19	10.49	11.95	13.58
	$\sum x_t$	247.67	283.19	323.20	368.10	418.42
серпень	1	6.79	7.76	8.86	10.09	11.47
	2	6.80	7.78	8.88	10.11	11.49
	3	6.52	7.46	8.51	9.70	11.02
	$\sum x_t$	207.67	237.46	271.01	308.65	350.84
вересень	1	5.90	6.74	7.70	8.77	9.96
	2	5.04	5.76	6.58	7.49	8.52
	3	4.17	4.77	5.44	6.20	7.04
	$\sum x_t$	151.08	172.75	197.16	224.54	255.24
жовтень	1	3.46	3.96	4.52	5.15	5.85
	2	3.00	3.43	3.91	4.46	5.07
	3	2.79	3.19	3.64	4.14	4.71
	$\sum x_t$	95.30	108.97	124.37	141.64	161.00
Всього	$\sum X_p$	1335.12	1526.60	1742.30	1984.30	2255.58

Таблиця А.6 – Нормований розподіл випаровуваності за розрахунковими періодами вегетації, мм

Місяць	Декада	Розрахункові періоди вегетації				
		p=10%	p=30%	p=50%	p=70%	p=90%
квітень	1	1.00	1.14	1.27	1.42	1.62
	2	1.15	1.34	1.55	1.77	2.09
	3	1.34	1.62	1.94	2.30	2.82
	$\sum x_{\tau}$	34.89	40.99	47.66	54.87	65.31
травень	1	1.55	1.95	2.41	2.94	3.75
	2	1.74	2.25	2.86	3.58	4.71
	3	1.87	2.47	3.20	4.06	5.45
	$\sum x_{\tau}$	53.48	69.13	87.88	109.84	144.60
червень	1	1.94	2.58	3.37	4.32	5.85
	2	1.96	2.61	3.41	4.38	5.95
	3	1.95	2.60	3.40	4.35	5.91
	$\sum x_{\tau}$	58.55	77.96	101.83	130.49	177.08
липень	1	1.95	2.59	3.38	4.33	5.87
	2	1.94	2.59	3.38	4.32	5.86
	3	1.94	2.57	3.36	4.29	5.81
	$\sum x_{\tau}$	60.21	80.06	104.46	133.73	181.24
серпень	1	1.90	2.51	3.25	4.14	5.58
	2	1.80	2.35	3.01	3.79	5.04
	3	1.64	2.09	2.63	3.25	4.21
	$\sum x_{\tau}$	55.01	71.58	91.55	115.06	152.47
вересень	1	1.44	1.78	2.17	2.61	3.27
	2	1.24	1.48	1.74	2.03	2.44
	3	1.07	1.23	1.41	1.59	1.84
	$\sum x_{\tau}$	37.58	44.97	53.20	62.23	75.54
жовтень	1	0.96	1.07	1.19	1.31	1.48
	2	0.91	1.00	1.10	1.20	1.33
	3	0.92	1.02	1.13	1.23	1.37
	$\sum x_{\tau}$	28.87	32.04	35.31	38.65	43.20
Всього	$\sum X_p$	328.60	416.73	521.89	644.87	839.44

ДОДАТОК Б

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник науково-дослідної частини
Національного університету водного
господарства та природокористування

Є.Г. Герасімов

28.05.2024

Протокол

**лабораторного дослідження впливу підвищення акумуляційної здатності
меліорованих мінеральних ґрунтів на ефективність використання опадів та
зрошувальної води**

Дата та місце проведення дослідження:

20.05.2024

Науково-дослідна лабораторія НУВГП «Оптимізації та автоматизації
управління у водній інженерії та водних технологіях»

Обладнання: ємність для вегетаційного дослідження; трубки для відведення та
подачі води; тензіометр; п'єзометр; мірна шкала; мірна ємність для рідини.

Технічні параметри:

- розміри ємності для вегетаційного дослідження – поперечний переріз квадратної форми з розмірами 0,25м×0,25м, висота 0,5 м;
- площа поперечного трубко для відведення та подачі води 2,4 см²;
- клас точності тензіометра: ± 1,0%

Умови дослідження. Лабораторне дослідження виконано на основі вегетаційного дослідження з вирощування багаторічних трав – люцерни сорту «Надія», із застосуванням удосконаленої технології поверхневого поливу. Для проведення дослідження використано ємності квадратної форми (0,25м×0,25м) заповнені насипним середньосуглинистим ґрунтом шаром 0,25 м поверх гравійно-піщаної дренажної суміші.

Змінні фактори: умови тепло- й вологозабезпеченості вегетаційного періоду: середні (p=50%) та дуже сухі (p=90%) вегетаційні періоди; запаси продуктивної вологи розрахункового шару ґрунту: $WPh^0=200 \text{ м}^3/\text{га}$ та $WPh^0=400 \text{ м}^3/\text{га}$, що відповідають різним акумуляційним здатностям ґрунту.

Режими дослідження. Спостереження за умовами формування водного режиму та обліку складових водного балансу здійснювалося за загальноприйнятими методами з використанням відповідних пристроїв та датчиків (тензіометр, п'єзометр, мірна шкала, мірна ємність для рідини), якими було обладнано ємність для вегетаційного дослідження.

Всі вимірювання проводились з трикратною повторюваністю і оброблялися за правилами математичної статистики.

Результати досліджень.

За результатами лабораторного дослідження, на основі аналізу значень вимірюваних складових водного балансу усереднених щодо умов тепло- й вологозабезпеченості вегетаційного періоду, отримано формули для визначення запасу продуктивної вологи в ґрунті та величини інфільтрації за короткотерміновим прогнозом у добовому перерізі, на значення яких впливає максимальний запас продуктивної вологи розрахункового шару ґрунту, що визначається акумуляційною здатністю ґрунту.

На основі отриманих результатів шляхом прогнозно-імітаційного моделювання визначені значення похідних величин, які характеризують ефективність використання опадів та зрошувальної води при $WPh^0=200$ м³/га та $WPh^0=400$ м³/га, що відповідають різній акумуляційній здатності ґрунту, зміну якої можна досягти шляхом його розпушення (табл. 1).

Таблиця 1 - Результати оцінювання впливу акумуляційної здатності ґрунту на ефективність використання опадів та зрошувальної води

Основні показники		Значення показників		Зміна, %
		при $WPh^0=200$ м ³ /га	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
частка 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

Отримані результати свідчать, що збільшення акумуляційної здатності ґрунту сприяє істотному підвищенню ефективності використання опадів та зрошувальної води. Для досліджуваних умов таке додаткове підвищення становить за відповідним коефіцієнтом ефективності 30% або 75% від початкової величини.

Таким чином, підвищення ефективності використання опадів та зрошувальної води на основі відповідного збільшення акумуляційної здатності ґрунту є ефективним рішенням для покращення вологозабезпеченості меліорованих мінеральних ґрунтів у змінюваних кліматичних умовах. При цьому досягти необхідного збільшення акумуляційної здатності ґрунту можливо за рахунок впровадження відповідних агроеліоративних заходів, насамперед розпушення ґрунту.

Виконавці:

 Рокочинський А.М.

 Лук'янчук О.П.

 Приходько Н.В.

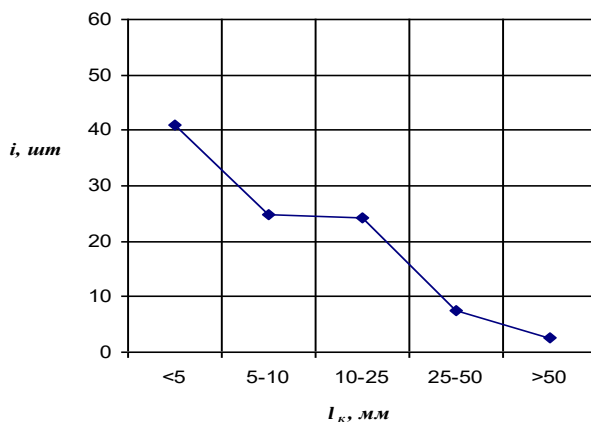
Додаток В

Структура розпушеного ґрунту

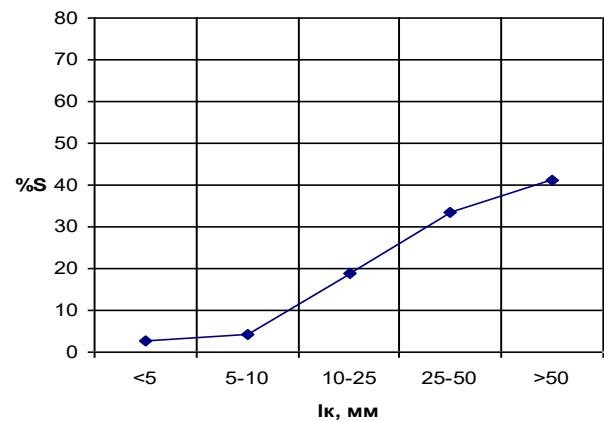
В.1 – Прогнозування структури розпушеного ґрунту при різних параметрах

Таблиця В.1. Структура розпушеного ґрунту при $h=100$ мм; $R_k=150$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	22,22	77,78	11	5233,33
2	17,28	60,49	14	4070,37
3	13,44	47,05	18	3165,84
4	10,46	36,60	23	2462,32
5	8,13	28,46	29	1915,14
6	6,33	22,14	37	1489,55
7	4,92	17,22	48	1158,54
8	3,83	13,39	62	901,09
9	2,98	10,42	79	700,85
10	2,31	8,10	102	545,10
11	1,80	6,30	131	423,97
12	1,40	4,90	168	329,75
13	1,09	3,81	216	256,47
Сума			936	22652



а)



б)

Рисунок В.1 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів

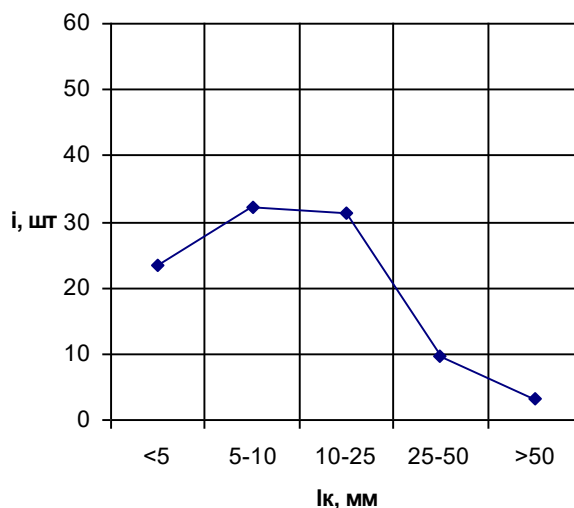
при $h=100$ мм; $R_k=150$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

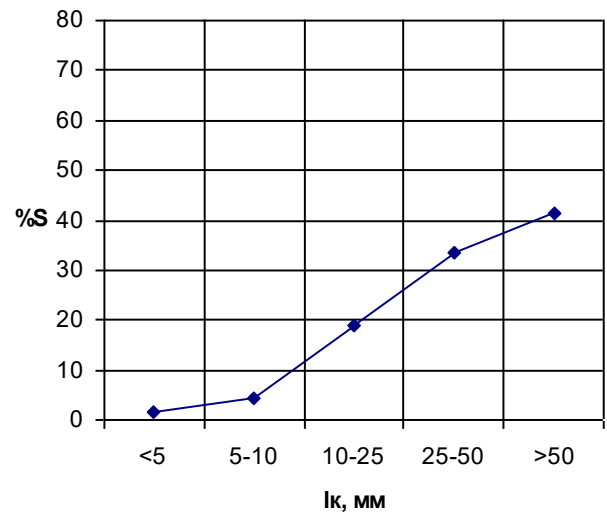
$$l_k^{сep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = \sqrt{\frac{22652}{936}} = 4,92 \text{ мм.}$$

Таблиця В.2 – Структура розпушеного ґрунту при $h=100$ мм; $R_k=200$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	22,22	77,78	14	6977,78
2	17,28	60,49	18	5427,16
3	13,44	47,05	23	4221,12
4	10,46	36,60	30	3283,10
5	8,13	28,46	39	2553,52
6	6,33	22,14	50	1986,07
7	4,92	17,22	64	1544,72
8	3,83	13,39	82	1201,45
9	2,98	10,42	106	934,46
10	2,31	8,10	136	726,80
11	1,80	6,30	174	565,29
12	1,40	4,90	224	439,67
Сума			960	29861



а)



б)

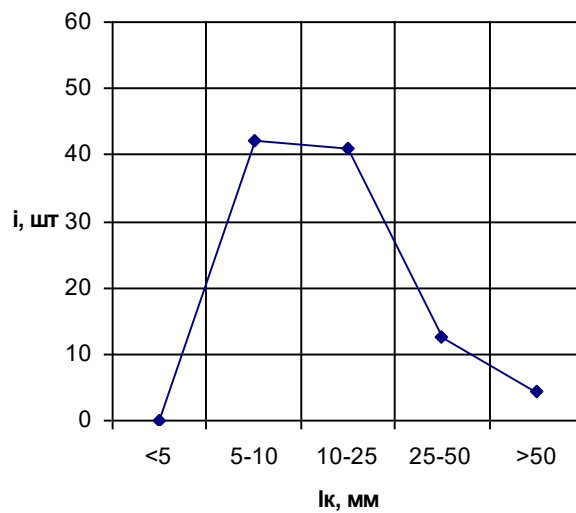
Рисунок В.2 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=100$ мм; $R_k=200$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

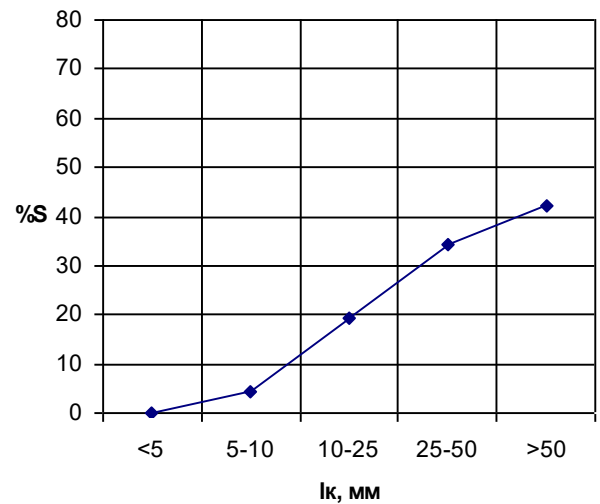
$$l_k^{сep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 5,58 \text{ мм.}$$

Таблиця В.3 – Структура розпушеного ґрунту при $h=100$ мм; $R_k=250$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	22,22	77,78	18	8722,22
2	17,28	60,49	23	6783,95
3	13,44	47,05	29	5276,41
4	10,46	36,60	38	4103,87
5	8,13	28,46	48	3191,90
6	6,33	22,14	62	2482,59
7	4,92	17,22	80	1930,90
8	3,83	13,39	103	1501,81
9	2,98	10,42	132	1168,08
10	2,31	8,10	170	908,50
11	1,80	6,30	218	706,61
Сума			919	36777



а)



б)

Рисунок В.3 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів

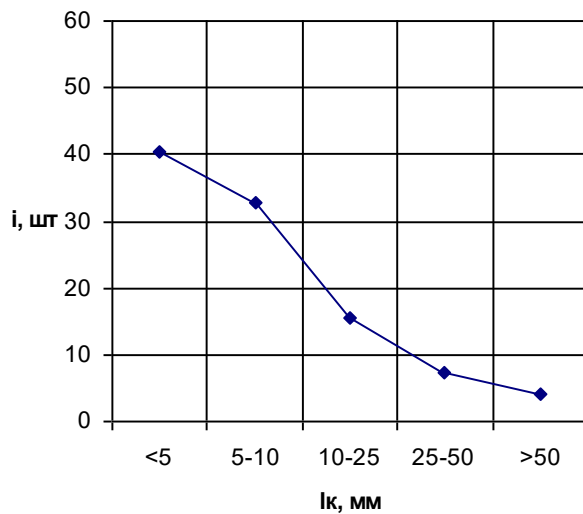
при $h=100$ мм; $R_k=250$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

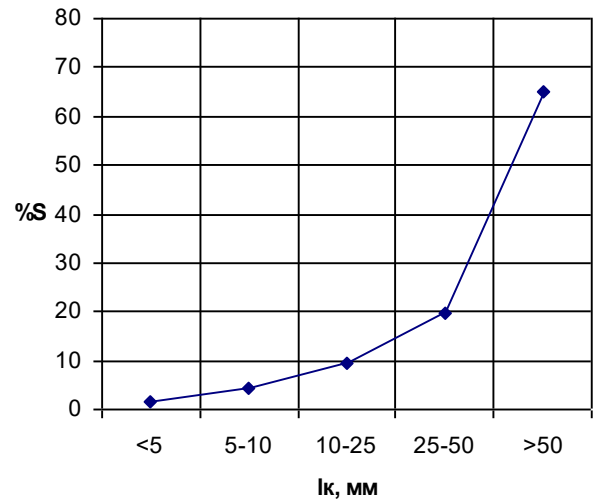
$$l_k^{сеп} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 6,33 \text{ мм.}$$

Таблиця В.4 – Структура розпушеного ґрунту при $h=150$ мм; $R_k=150$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	33,33	116,67	7	7850,00
2	25,93	90,74	9	6105,56
3	20,16	70,58	12	4748,77
4	15,68	54,89	15	3693,48
5	12,20	42,69	19	2872,71
6	9,49	33,21	25	2234,33
7	7,38	25,83	32	1737,81
8	5,74	20,09	41	1351,63
9	4,46	15,62	53	1051,27
10	3,47	12,15	68	817,65
11	2,70	9,45	87	635,95
12	2,10	7,35	112	494,63
13	1,63	5,72	144	384,71
14	1,27	4,45	185	299,22
15	0,99	3,46	238	232,73
Сума			1048	34510



а)



б)

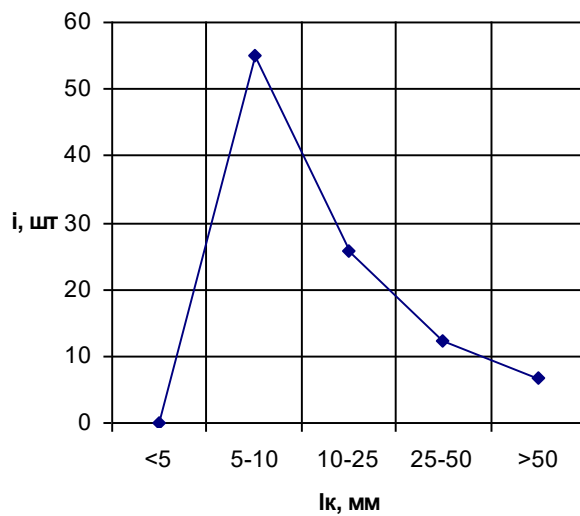
Рисунок В.4 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=150$ мм; $R_k=150$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

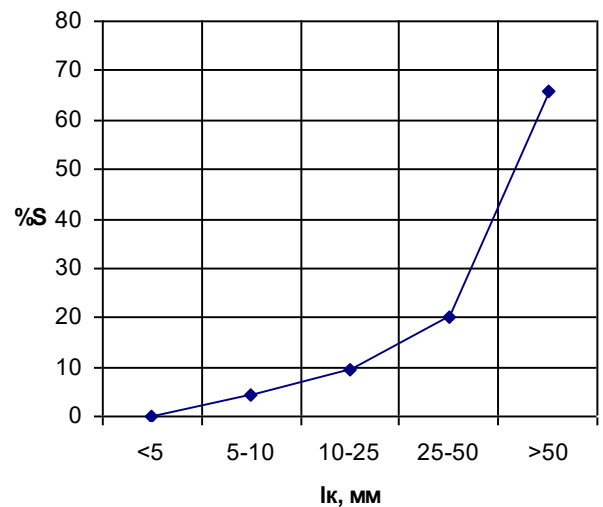
$$l_k^{сеп} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 5,74 \text{ мм.}$$

Таблиця В.5 – Структура розпушеного ґрунту при $h=150$ мм; $R_k=200$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	33,33	116,67	9	10466,67
2	25,93	90,74	12	8140,74
3	20,16	70,58	16	6331,69
4	15,68	54,89	20	4924,65
5	12,20	42,69	26	3830,28
6	9,49	33,21	33	2979,11
7	7,38	25,83	43	2317,08
8	5,74	20,09	55	1802,18
9	4,46	15,62	70	1401,69
10	3,47	12,15	90	1090,20
11	2,70	9,45	116	847,94
12	2,10	7,35	149	659,51
13	1,63	5,72	192	512,95
Сума			832	45305



а)



б)

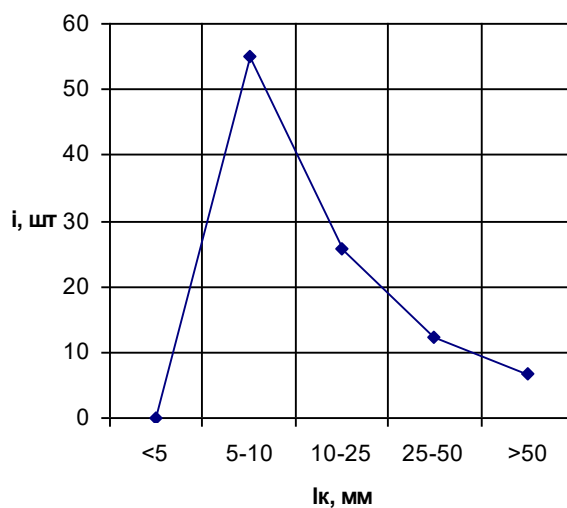
Рисунок В.5 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=150$ мм; $R_k=200$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

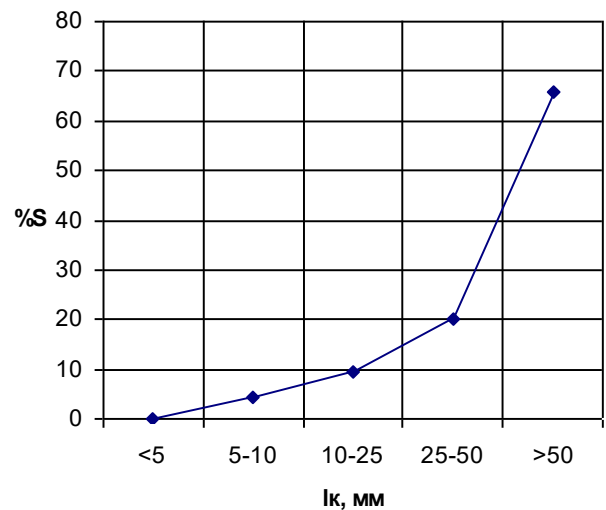
$$l_k^{сep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 7,38 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.6 – Структура розпушеного ґрунту при $h=150$ мм; $R_k=250$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	33,33	116,67	12	13083,33
2	25,93	90,74	15	10175,93
3	20,16	70,58	19	7914,61
4	15,68	54,89	25	6155,81
5	12,20	42,69	32	4787,85
6	9,49	33,21	41	3723,88
7	7,38	25,83	53	2896,35
8	5,74	20,09	68	2252,72
9	4,46	15,62	88	1752,12
10	3,47	12,15	113	1362,76
11	2,70	9,45	145	1059,92
12	2,10	7,35	187	824,38
13	1,63	5,72	240	641,19
Сума			1040	56631



а)



б)

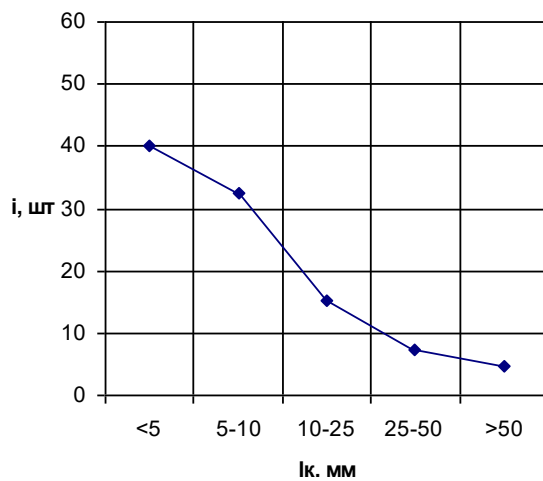
Рисунок В.6 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=150$ мм; $R_k=250$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

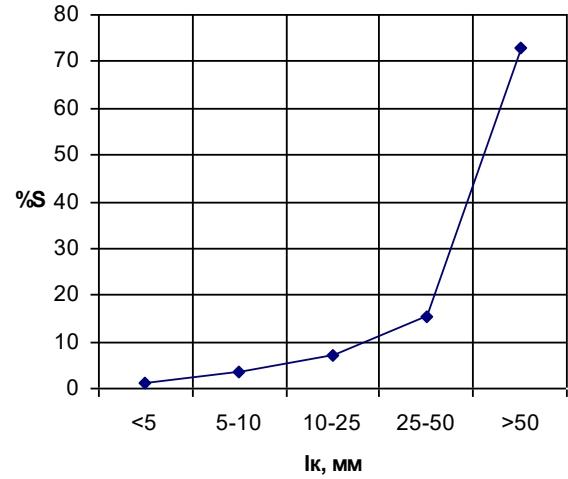
$$l_k^{сep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 7,38 \text{ мм.}$$

Таблиця В.7 – Структура розпушеного ґрунту при $h=200$ мм; $R_k=150$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	44,44	155,56	5	10466,67
2	34,57	120,99	7	8140,74
3	26,89	94,10	9	6331,69
4	20,91	73,19	11	4924,65
5	16,26	56,93	14	3830,28
6	12,65	44,28	19	2979,11
7	9,84	34,44	24	2317,08
8	7,65	26,78	31	1802,18
9	5,95	20,83	40	1401,69
10	4,63	16,20	51	1090,20
11	3,60	12,60	65	847,94
12	2,80	9,80	84	659,51
13	2,18	7,62	108	512,95
14	1,69	5,93	139	398,96
15	1,32	4,61	179	310,30
16	1,02	3,59	230	241,35
Сума			1016	46255



а)



б)

Рисунок В.7 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів

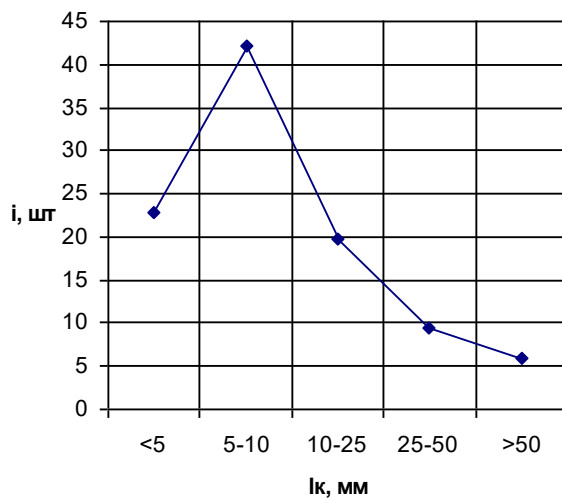
при $h=200$ мм; $R_k=150$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

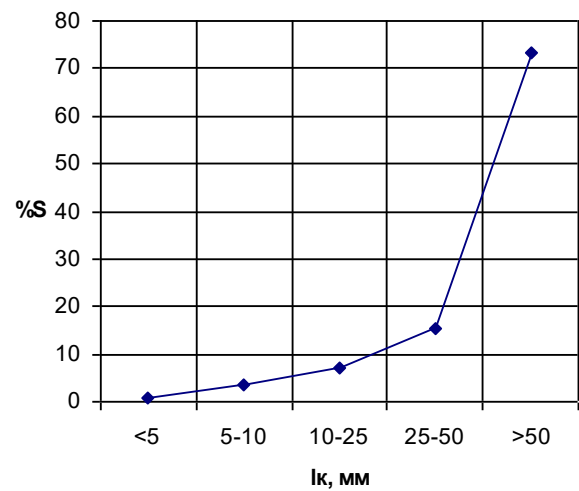
$$l_k^{cep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 6,75 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.8 – Структура розпушеного ґрунту при $h=200$ мм; $R_k=200$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	44,44	155,56	7	13955,56
2	34,57	120,99	9	10854,32
3	26,89	94,10	12	8442,25
4	20,91	73,19	15	6566,19
5	16,26	56,93	19	5107,04
6	12,65	44,28	25	3972,14
7	9,84	34,44	32	3089,44
8	7,65	26,78	41	2402,90
9	5,95	20,83	53	1868,92
10	4,63	16,20	68	1453,61
11	3,60	12,60	87	1130,58
12	2,80	9,80	112	879,34
13	2,18	7,62	144	683,93
14	1,69	5,93	185	531,95
15	1,32	4,61	238	413,74
Сума			1048	61352



а)



б)

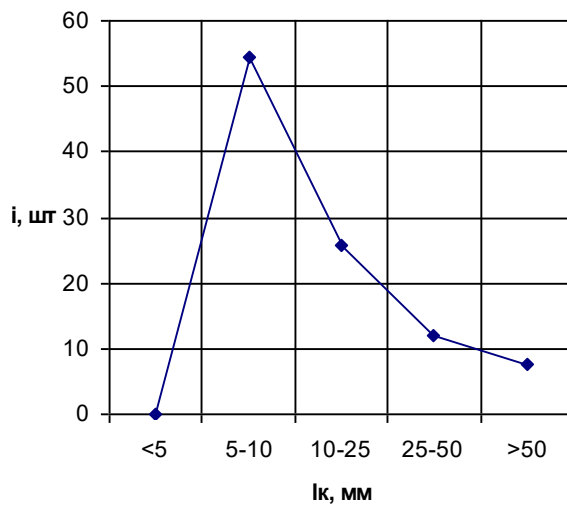
Рисунок В.8 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=200$ мм; $R_k=200$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

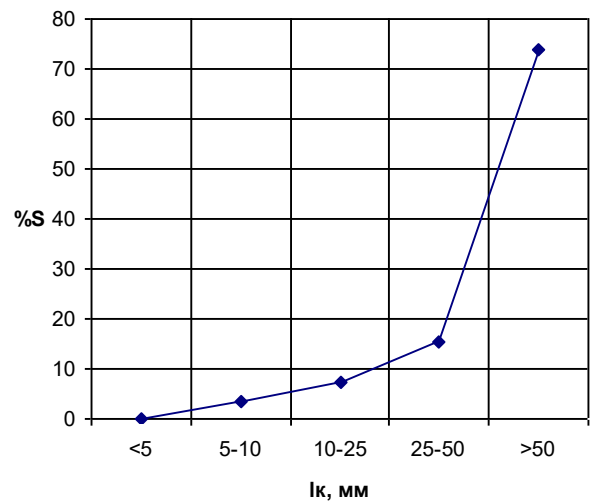
$$l_k^{сep} = \sqrt{\frac{\sum S_k}{\sum i}} = 7,65 \text{ мм.}$$

Таблиця В.9 – Структура розпушеного ґрунту при $h=200$ мм; $R_k=250$ мм

№ стадії	l_k зони стиску, мм	l_k зони розриву, мм	Кількість, i , шт.	Площа, S_k , мм ²
1	44,44	155,56	9	17444,44
2	34,57	120,99	11	13567,90
3	26,89	94,10	15	10552,81
4	20,91	73,19	19	8207,74
5	16,26	56,93	24	6383,80
6	12,65	44,28	31	4965,18
7	9,84	34,44	40	3861,80
8	7,65	26,78	51	3003,63
9	5,95	20,83	66	2336,15
10	4,63	16,20	85	1817,01
11	3,60	12,60	109	1413,23
12	2,80	9,80	140	1099,18
13	2,18	7,62	180	854,92
14	1,69	5,93	232	664,93
Сума			1012	76173



а)



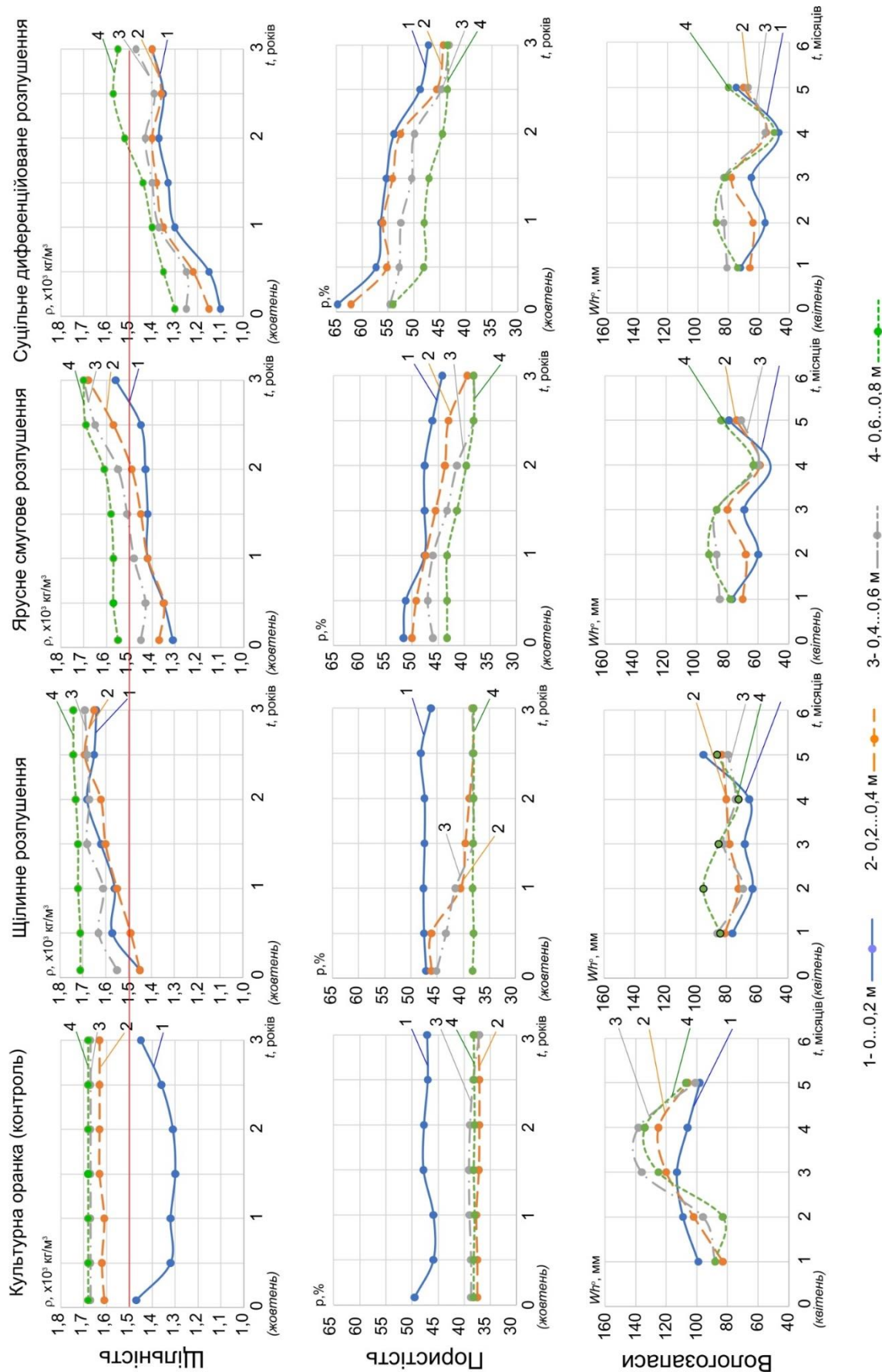
б)

Рисунок В.9 – Відсотковий вміст утворених ґрунтоагрегатів при $h=200$ мм; $R_k=250$ мм: а) - за кількістю; б) - за площею

Величина усередненого ґрунтоагрегату:

$$l_k^{сеп} = \sqrt{\frac{\sum_n S_k}{\sum_n i}} = 8,68 \text{ мм.}$$

В.2 – Результати експериментальних досліджень післядії глибокого меліоративного розпушення



ДОДАТОК Г

Визначення співвідношення силових параметрів за різними умовами розробки ґрунту щодо раціонального компоновання робочих органів в плані

Таблиця Г.1 – Визначення співвідношення силових параметрів для твердої глини, твердого суглинку, твердого супіску при роботі на глибині 0,1 м

b/h	h , м	b , м	α_p , град	ψ , град	γ , град	$P_{\text{бл.}}$, кН	$P_{\text{н.бл.}}$, кН	$\Delta P_{\text{н.бл.}}$, %	$P_{\text{віль.}}$, кН	$\Delta P_{\text{віль.}}$, %
Тверда глина										
0,25	0,1	0,025	30	53	56	3,071	1,818	59,2	0,949	30,9
0,5		0,05	30	53	56	3,326	2,104	63,3	1,245	37,4
1		0,1	30	53	56	3,835	2,677	69,8	1,837	47,9
2		0,2	30	53	56	4,852	3,822	78,8	3,021	62,3
3		0,3	30	53	56	5,870	4,967	84,6	4,205	71,6
4		0,4	30	53	56	6,888	6,112	88,7	5,389	78,2
Твердий суглинок										
0,25	0,1	0,025	30	52,05	57,5	1,808	1,081	59,8	0,549	30,4
0,5		0,05	30	52,05	57,5	1,965	1,252	63,7	0,701	35,7
1		0,1	30	52,05	57,5	2,279	1,592	69,9	1,075	47,2
2		0,2	30	52,05	57,5	2,907	2,276	78,3	1,778	61,2
3		0,3	30	52,05	57,5	3,535	2,958	83,7	2,480	70,2
4		0,4	30	52,05	57,5	4,163	3,641	87,5	3,183	76,5
Твердий супісок										
0,25	0,1	0,025	30	48,5	59	0,657	0,399	60,7	0,201	30,6
0,5		0,05	30	48,5	59	0,725	0,466	64,3	0,269	37,1
1		0,1	30	48,5	59	0,860	0,601	69,9	0,403	46,9
2		0,2	30	48,5	59	1,131	0,871	77,0	0,672	59,4
3		0,3	30	48,5	59	1,402	1,141	81,4	0,942	67,2
4		0,4	30	48,5	59	1,673	1,410	84,3	1,211	72,4

h – глибина розробки; b – ширина розробки; α_p – кут різання робочих органів; γ – кут нахилу бічних стінок сколу до горизонту; ψ – кут зсуву ґрунту в поздовжній площині; $P_{\text{бл.}}$, $P_{\text{н.бл.}}$, $P_{\text{віль.}}$ – зусилля розробки робочих органів при блокованому, напівблокованому та вільному способі; $\Delta P_{\text{н.бл.}}$, $\Delta P_{\text{віль.}}$ – співвідношення зусиль відносно блокованого способу

Таблиця Г.2 – Визначення співвідношення силових параметрів для твердої глини, твердого суглинку, твердого супіску при роботі на глибині 0,2 м

b/h	h , м	b , м	α_p , град	ψ , град	γ , град	$P_{бл.}$, кН	$P_{н.бл.}$, кН	$\Delta P_{н.бл.}$, %	$P_{віль.}$, кН	$\Delta P_{віль.}$, %
Тверда глина										
0,25	0,2	0,05	30	53	56	12,312	7,277	59,1	3,797	30,8
0,5		0,1	30	53	56	13,358	8,429	63,1	4,981	37,3
1		0,2	30	53	56	15,449	10,732	69,5	7,348	47,6
2		0,4	30	53	56	19,632	15,119	77,0	12,084	61,6
3		0,6	30	53	56	23,815	19,945	83,7	16,819	70,6
4		0,8	30	53	56	27,998	24,552	87,7	21,555	77,0
Твердий суглинок										
0,25	0,2	0,025	30	52,05	57,5	7,261	4,333	59,7	2,194	30,2
0,5		0,05	30	52,05	57,5	7,921	5,024	63,4	2,897	36,6
1		0,1	30	52,05	57,5	9,239	6,405	69,3	4,302	46,6
2		0,2	30	52,05	57,5	11,875	9,169	77,2	7,111	59,9
3		0,3	30	52,05	57,5	14,512	11,932	82,2	9,921	68,4
4		0,4	30	52,05	57,5	17,149	14,696	85,7	12,731	74,2
Твердий супісок										
0,25	0,2	0,025	30	48,5	59	2,672	1,609	60,2	0,805	30,1
0,5		0,05	30	48,5	59	2,986	1,893	63,4	1,074	36,0
1		0,1	30	48,5	59	3,614	2,460	68,1	1,613	44,6
2		0,2	30	48,5	59	4,870	3,594	73,8	2,689	55,2
3		0,3	30	48,5	59	6,126	4,728	77,2	3,766	61,5
4		0,4	30	48,5	59	7,381	5,862	79,4	4,843	65,6

h – глибина розробки; b – ширина розробки; α_p – кут різання робочих органів; γ – кут нахилу бічних стінок сколу до горизонту; ψ – кут зсуву ґрунту в поздовжній площині; $P_{бл.}$, $P_{н.бл.}$, $P_{віль.}$ – зусилля розробки робочих органів при блокованому, напівблокованому та вільному способі; $\Delta P_{н.бл.}$, $\Delta P_{віль.}$ – співвідношення зусиль відносно блокованого способу

Таблиця Г.3 – Визначення співвідношення силових параметрів для твердої глини, твердого суглинку, твердого супіску при роботі на глибині 0,3 м

b/h	h , м	b , м	α_p , град	ψ , град	γ , град	$P_{бл.}$, кН	$P_{н.бл.}$, кН	$\Delta P_{н.бл.}$, %	$P_{віль.}$, кН	$\Delta P_{віль.}$, %
Тверда глина										
0,25	0,3	0,025	30	53	56	27,765	16,388	59	8,543	30,8
0,5		0,05	30	53	56	30,18	18,994	62,9	11,206	37,1
1		0,1	30	53	56	35,011	24,205	69,1	16,534	47,2
2		0,2	30	53	56	44,673	34,629	77,5	27,189	60,9
3		0,3	30	53	56	54,335	45,052	82,9	37,843	69,6
4		0,4	30	53	56	63,997	55,475	86,7	48,498	75,8
Твердий суглинок										
0,25	0,3	0,025	30	52,05	57,5	16,408	9,767	59,5	4,937	30,1
0,5		0,05	30	52,05	57,5	17,961	11,34	63,1	6,518	36,3
1		0,1	30	52,05	57,5	21,067	14,487	68,8	9,678	45,9
2		0,2	30	52,05	57,5	27,279	20,779	76,2	16	58,7
3		0,3	30	52,05	57,5	33,491	27,072	80,8	22,322	66,7
4		0,4	30	52,05	57,5	39,704	33,364	84	28,644	72,1
Твердий супісок										
0,25	0,3	0,025	30	48,5	59	6,109	3,651	59,8	1,812	29,7
0,5		0,05	30	48,5	59	6,913	4,32	62,5	2,417	35
1		0,1	30	48,5	59	8,52	5,658	66,4	3,628	42,6
2		0,2	30	48,5	59	11,733	8,334	71	6,051	51,6
3		0,3	30	48,5	59	14,947	11,01	73,7	8,474	56,7
4		0,4	30	48,5	59	18,161	13,686	75,4	10,896	60

h – глибина розробки; b – ширина розробки; α_p – кут різання робочих органів; γ – кут нахилу бічних стінок сколу до горизонту; ψ – кут зсуву ґрунту в поздовжній площині; $P_{бл.}$, $P_{н.бл.}$, $P_{віль.}$ – зусилля розробки робочих органів при блокованому, напівблокованому та вільному способі; $\Delta P_{н.бл.}$, $\Delta P_{віль.}$ – співвідношення зусиль відносно блокованого способу

ДОДАТОК Д

Порівняльна характеристика показників технологічної та екологічної ефективності розпушеного ґрунту

Умовні позначення:

Способи водорегулювання: *ПШ* - попереджувальне шлюзування; *ДП* - зрошення дощуванням на фоні попереджувального шлюзування; *ЗШ* - зволожувальне шлюзування; *ОС* - осушення; *ДО* - зрошення дощуванням на фоні осушення; *p, %* - розрахункова забезпеченість;

K_y (IY) - коефіцієнт зниження врожаю культури; *U_p* - потенційний (кліматично і агротехнічно забезпечений) врожай; *U_ф* - фактичний врожай;

IW - рівень вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;

n (IW) - тривалість (частка) оптимальної вологозабезпеченості розрахункового шару ґрунту за вегетацію;

OR - величина атмосферних опадів за вегетацію;

EF - величина ефективного значення сумарного випаровування за вегетацію, м³/га; *VI* - величина інфільтрації за вегетацію;

n(VI) - тривалість (частка) інфільтрації за вегетацію;

VP - величина живлення розрахункового шару ґрунту з РГВ за вегетацію;

n(VP) - тривалість (частка) живлення розрахункового шару ґрунту з РГВ за вегетацію;

V - величина сумарного вологообміну за вегетацію; *M* - зволожувальна норма за вегетацію;

IC - комплексний показник вологозабезпеченості ґрунту за вегетацію; *fr* - відносний рівень погодно-кліматичного ризику щодо врожайності;

клім/мел. - дольова частка впливу відповідно кліматичного та меліоративного фактору за вегетацію;

ККД факт. - фактичне значення ККД використання ФАР вирощуваною культурою. *H* - рівень ґрунтових вод, м

Таблиця Д.1 – Результати екологічного розрахунку по полях без розпушення

Шлюз, канал Культура	Спосіб	p,Ky % (IY)	Ур, ц/га	Уф, ц/га	IW	n(IW) м3/га	OR м3/га	EF м3/га	VI	n(VI) м3/га	VP	n(VP)	V м3/га	M м3/га	IC	fr	EF/Уф м3/ц	Оцінка клім/мел.	ККД факт.	Н м
РШ-1 К-1 ПШ		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
Багаторічні трави		300,6	31,7	18,9	0,992	1	4194	4001-121	0,24	192	0,76	72	0	0,939	0,456	175,99	0,98	0,02	0,7	1,126
сіно		500,66	35	23,2	0,571	0,53	3497	40590	0	596	1	596	0	1,142	0,333	145,81	0,99	0,01	0,68	0,996
Площа 10.0 га		700,46	37,4	17,3	0,214	0,22	2937	39970	0	922	1	922	0	1,443	0,504	193,07	0,94	0,06	0,42	1,047
Грунт Супіщаний		900,25	41,3	10,3	0,148	0,19	2313	33290	0	836	1	836	0	2,16	0,703	268,36	0,89	0,11	0,2	0,973
WPh0 : 350 м3/га		0,51	34,8	17,4	0,566	0,57	3514	3802-219	0,15	545	0,85	326	0	1,297	0,515	191,33	0,96	0,04	0,53	1,046
WPhкр.: 175 м3/га																				
ДП		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
		300,6	31,7	18,9	0,992	1	4194	4001-121	0,24	192	0,76	72	0	0,939	0,456	175,99	0,98	0,02	0,7	1,126
		500,68	35	23,9	0,707	1	3481	41120	0	423	1	423	250	1,125	0,312	143,11	0,91	0,09	0,7	0,964
		700,65	37,4	24,4	0,711	0,94	2903	50000	0	657	1	657	1500	1,101	0,3	171,06	0,56	0,44	0,59	1,008
		900,63	41,3	26,1	0,772	0,88	2285	62580	0	751	1	751	3250	1,083	0,25	199,8	0,33	0,67	0,5	0,961
		0,62	34,8	21,7	0,818	0,97	3497	4505-219	0,15	422	0,85	203	925	1,046	0,395	174,86	0,76	0,24	0,62	1,027
ЗШ		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
		300,6	31,7	18,9	0,992	1	4194	4001-121	0,24	192	0,76	72	0	0,939	0,456	176	0,98	0,02	0,7	1,126
		500,68	35	23,7	0,631	0,79	3481	40670	0	627	1	627	31	1,129	0,319	142,92	0,95	0,05	0,7	0,976
		700,61	37,4	22,9	0,404	0,28	2934	47430	0	1758	1	1758	1193	0,947	0,341	172,29	0,61	0,39	0,56	0,908
		900,32	41,3	13,3	0,159	0,19	2312	39630	0	1482	1	1482	1055	1,403	0,617	247,74	0,69	0,31	0,26	0,864
		0,56	34,8	19,4	0,63	0,64	3509	4086-219	0,15	858	0,85	639	464	1,057	0,46	182,32	0,84	0,16	0,57	0,991
ОС		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985	0,625	207,71	1	0	0,55	1,098
		300,59	31,7	18,7	0,989	1	4198	3999-321	0,62	202	0,38	-119	0	0,982	0,464	178,62	1	0	0,68	1,164
		500,64	35	22,3	0,577	0,53	3506	40750	0	635	1	635	0	1,128	0,358	152,07	1	0	0,66	1,252
		700,41	37,4	15,5	0,198	0,22	2953	39340	0	885	1	885	0	1,451	0,554	211,29	1	0	0,38	1,299
		900,22	41,3	9	0,119	0,12	2322	32450	0	804	1	804	0	2,177	0,741	299,68	1	0	0,17	1,381
		0,48	34,8	16,5	0,559	0,56	3522	3777-289	0,27	542	0,73	253	0	1,316	0,541	202,67	1	0	0,5	1,242
ДО		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985	0,625	207,71	1	0	0,55	1,098
		300,59	31,7	18,7	0,989	1	4198	3999-321	0,62	202	0,38	-119	0	0,982	0,464	178,62	1	0	0,68	1,164
		500,66	35	23,1	0,702	1	3492	41280	0	458	1	458	250	1,113	0,337	149,04	0,93	0,07	0,68	1,211
		700,59	37,4	22,1	0,69	0,94	2920	49570	0	641	1	641	1500	1,101	0,365	186,89	0,58	0,42	0,54	1,253
		900,58	41,3	24	0,778	1	2283	61600	0	711	1	711	3250	1,09	0,311	214,06	0,34	0,66	0,46	1,256
		0,59	34,8	20,6	0,812	0,99	3505	4484-289	0,27	423	0,73	134	925	1,061	0,421	182,97	0,78	0,22	0,59	1,202

Таблиця Д.2 – Результати екологічного розрахунку по полях з розпушенням

Шлюз, канал Культура	Спосіб	p,Ky % (IY)	Ур, ц/га	Уф, ц/га	IW	n(IW) м3/га	OR м3/га	EF м3/га	VI	n(VI) м3/га	VP n(VP)	V м3/га	M м3/га	IC	fr	EF/Уф м3/ц	Оцінка клім/мел.	ККД факт.	Н м	
РШ-1 К-1 ПШ		100,47	27,7	13,1	0,998	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
Багаторічні трави		300,6	31,7	19,1	0,993	1	4197	4002-121	0,24	200	0,76	79	0	0,937	0,45	174,35	1,06	0	0,7	1,132
сіно		500,68	35	23,6	0,622	0,74	3532	40320	0	496	1	496	0	1,16	0,32	142,11	0,99	0,01	0,7	0,971
Площа 10.0 га		700,49	37,4	18,4	0,336	0,28	2957	40270	0	873	1	873	0	1,455	0,471	182,28	0,92	0,08	0,45	1,036
Грунт Супіщаний		900,28	41,3	11,5	0,23	0,19	2322	34210	0	816	1	816	0	2,169	0,669	247,79	0,88	0,12	0,22	0,966
WPh0 : 550 м3/га		0,53	34,8	18	0,622	0,63	3529	3817-219	0,15	506	0,85	287	0	1,306	0,497	184,29	0,97	0,04	0,54	1,038
WPhкр.: 275 м3/га																				
ДП		100,47	27,7	13,1	0,998	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
		300,6	31,7	19,1	0,993	1	4197	4002-121	0,24	200	0,76	79	0	0,937	0,45	174,35	1,06	0	0,7	1,132
		500,72	35	25,4	0,732	1	3529	41460	0	385	1	385	250	1,122	0,271	136,28	0,91	0,09	0,75	0,953
		700,68	37,4	25,6	0,775	1	2954	50770	0	577	1	577	1500	1,107	0,263	164,98	0,59	0,41	0,63	0,994
		900,67	41,3	27,5	0,82	1	2291	62370	0	731	1	731	3250	1,085	0,209	188,77	0,36	0,64	0,53	0,955
		0,64	34,8	22,7	0,848	1	3523	4530-219	0,15	391	0,85	173	925	1,047	0,376	169,66	0,79	0,22	0,64	1,021
ЗШ		100,47	27,7	13,1	0,998	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929	0,625	207,71	0,98	0,02	0,55	1,098
		300,6	31,7	19,1	0,993	1	4197	4002-121	0,24	200	0,76	79	0	0,937	0,45	174,35	1,06	0	0,7	1,132
		500,68	35	23,7	0,683	1	3528	40310	0	528	1	528	0	1,152	0,318	141,6	0,96	0,04	0,7	0,953
		700,6	37,4	22,4	0,455	0,33	2955	45940	0	1501	1	1501	952	1,03	0,357	171,11	0,7	0,3	0,55	0,902
		900,35	41,3	14,6	0,21	0,25	2322	40790	0	1446	1	1446	1014	1,423	0,581	233,06	0,74	0,26	0,28	0,867
		0,56	34,8	19,5	0,665	0,72	3528	4057-219	0,15	765	0,85	547	390	1,086	0,455	179,17	0,88	0,13	0,58	0,985
ОС		100,47	27,7	13,1	0,998	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985	0,625	207,71	1	0	0,55	1,098
		300,78	31,7	24,8	0,939	1	4229	3927-266	0,52	64	0,48	-202	0	0,995	0,286	131,72	1	0	0,91	1,107
		500,63	35	22,2	0,639	0,84	3552	40060	0	523	1	523	0	1,147	0,362	150,29	1	0	0,65	1,223
		700,43	37,4	16,1	0,303	0,22	2971	39450	0	847	1	847	0	1,459	0,538	204,44	1	0	0,39	1,288
		900,23	41,3	9,5	0,19	0,19	2322	32990	0	792	1	792	0	2,185	0,726	288,64	1	0	0,18	1,376
		0,53	34,8	17,9	0,602	0,64	3544	3756-278	0,25	475	0,75	197	0	1,326	0,509	189,48	1	0	0,55	1,22
ДО		100,47	27,7	13,1	0,998	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985	0,625	207,71	1	0	0,55	1,098
		300,78	31,7	24,8	0,939	1	4229	3927-266	0,52	64	0,48	-202	0	0,995	0,286	131,72	1	0	0,91	1,107
		500,67	35	23,6	0,724	1	3550	41470	0	419	1	419	250	1,108	0,322	146,41	0,93	0,07	0,69	1,2
		700,62	37,4	23,3	0,741	1	2937	49820	0	569	1	569	1500	1,113	0,331	178,33	0,62	0,38	0,57	1,237
		900,63	41,3	26,1	0,788	1	2269	61070	0	715	1	715	3250	1,091	0,25	194,99	0,37	0,63	0,5	1,257
		0,65	34,8	22,6	0,822	1	3528	4472-278	0,25	368	0,75	90	925	1,065	0,371	167,93	0,79	0,21	0,66	1,184

Таблиця Д.3 – Результати екологічного розрахунку по полях з розпушенням з післядією в 1 рік

Шлюз, канал Культура	Спосіб	p,Ky % (IY)	Ур, ц/га	Уф, ц/га	IW	n(IW) м3/га	OR м3/га	EF м3/га	VI	n(VI) м3/га	VP n(VP)	V м3/га	M м3/га	IC	fr	EF/УфОцінка м3/ц клім/мел.	ККД факт.	Н м
РШ-1 К-1 ПШ		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929		0,625207,71	0,98 0,02 0,55	1,098
Багаторічні трави		300,6	31,7	19	0,992	1	4195	4001-121	0,24	195	0,76	75	0	0,938		0,453175,23	1 0 0,7	1,129
сіно		500,67	35	23,4	0,591	0,53	3514	40450	0	556	1	556	0	1,148		0,327143,9	0,99 0,01 0,69	0,986
Площа 10.0 га		700,48	37,4	17,8	0,232	0,22	2944	40380	0	907	1	907	0	1,446		0,489189,19	0,93 0,07 0,43	1,043
Грунт Супіщаний		900,27	41,3	10,9	0,166	0,19	2320	33600	0	828	1	828	0	2,162		0,685255,87	0,88 0,12 0,21	0,969
WPh0 : 420 м3/га		0,52	34,8	17,7	0,579	0,57	3521	3814-219	0,15	530	0,85	311	0	1,3		0,506187,86	0,96 0,04 0,53	1,043
WPhкр.: 210 м3/га																		
ДП		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929		0,625207,71	0,98 0,02 0,55	1,098
		300,6	31,7	19	0,992	1	4195	4001-121	0,24	195	0,76	75	0	0,938		0,453175,23	1 0 0,7	1,129
		500,7	35	24,4	0,714	1	3500	41230	0	408	1	408	250	1,124		0,299140,91	0,92 0,08 0,72	0,958
		700,65	37,4	24,2	0,755	1	2897	49980	0	611	1	611	1500	1,112		0,306172,39	0,57 0,43 0,59	1,001
		900,6	41,3	24,8	0,762	1	2297	60140	0	747	1	747	3000	1,126		0,287202,02	0,35 0,65 0,48	0,959
		0,62	34,8	21,6	0,83	1	3502	4471-219	0,15	407	0,85	188	888	1,055		0,397174,83	0,77 0,23 0,62	1,024
ЗШ		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1297	0,67	7	0,33	-1290	0	0,929		0,625207,71	0,98 0,02 0,55	1,098
		300,6	31,7	19	0,992	1	4195	4001-121	0,24	195	0,76	75	0	0,938		0,453175,24	1 0 0,7	1,129
		500,67	35	23,5	0,656	0,89	3499	40410	0	579	1	579	0	1,146		0,324143,06	0,96 0,04 0,69	0,971
		700,61	37,4	22,7	0,427	0,33	2943	46690	0	1647	1	1647	1089	0,981		0,348171,49	0,62 0,38 0,55	0,906
		900,33	41,3	13,7	0,177	0,19	2319	40040	0	1465	1	1465	1027	1,414		0,606243,16	0,69 0,31 0,26	0,869
		0,56	34,8	19,4	0,645	0,69	3517	4067-219	0,15	816	0,85	598	426	1,071		0,459181,32	0,85 0,15 0,57	0,99
ОС		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985		0,625207,71	1 0 0,55	1,098
		300,64	31,7	20,2	0,987	1	4206	3997-321	0,62	199	0,38	-122	0	0,981		0,421165,28	1 0 0,74	1,161
		500,64	35	22,4	0,595	0,63	3527	40590	0	596	1	596	0	1,133		0,355150,74	1 0 0,66	1,242
		700,43	37,4	16,1	0,208	0,22	2964	39710	0	874	1	874	0	1,451		0,538206,07	1 0 0,39	1,296
		900,22	41,3	9,2	0,133	0,12	2322	32790	0	800	1	800	0	2,179		0,737297,99	1 0 0,18	1,379
		0,5	34,8	17	0,568	0,58	3532	3787-289	0,27	529	0,73	240	0	1,317		0,528198,11	1 0 0,52	1,238
ДО		100,47	27,7	13,1	0,997	1	4797	3257-1497	0,95	7	0,05	-1490	0	0,985		0,625207,71	1 0 0,55	1,098
		300,64	31,7	20,2	0,987	1	4206	3997-321	0,62	199	0,38	-122	0	0,981		0,421165,28	1 0 0,74	1,161
		500,67	35	23,4	0,709	1	3515	41360	0	444	1	444	250	1,11		0,328147,42	0,93 0,07 0,69	1,208
		700,61	37,4	22,9	0,729	1	2956	50260	0	591	1	591	1500	1,104		0,342182,86	0,58 0,42 0,56	1,244
		900,56	41,3	23	0,771	1	2289	61460	0	708	1	708	3250	1,089		0,339222,78	0,36 0,64 0,44	1,254
		0,6	34,8	21	0,822	1	3522	4500-289	0,27	406	0,73	117	925	1,061		0,409180,2	0,78 0,22 0,61	1,198

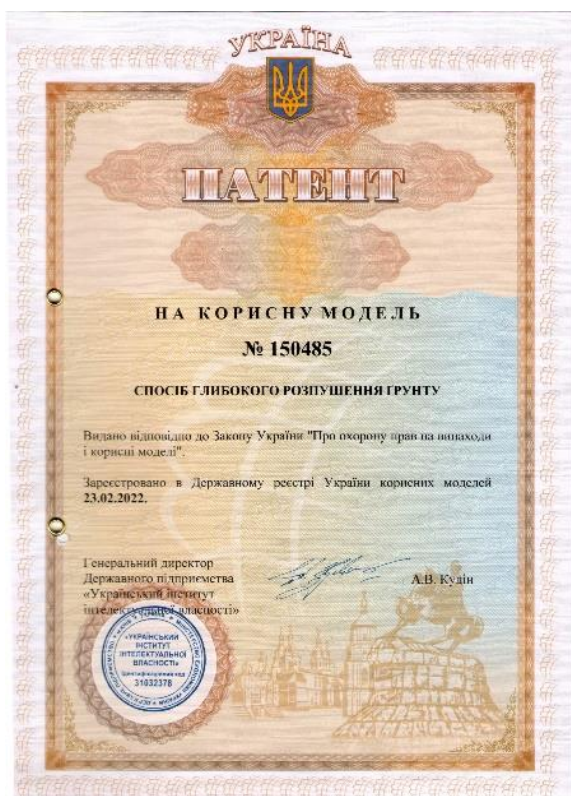
ДОДАТОК Е

Патенти, апобація, впровадження

Патенти на технічні засоби глибокого розпушення



Патенти на технології глибокого розпушення

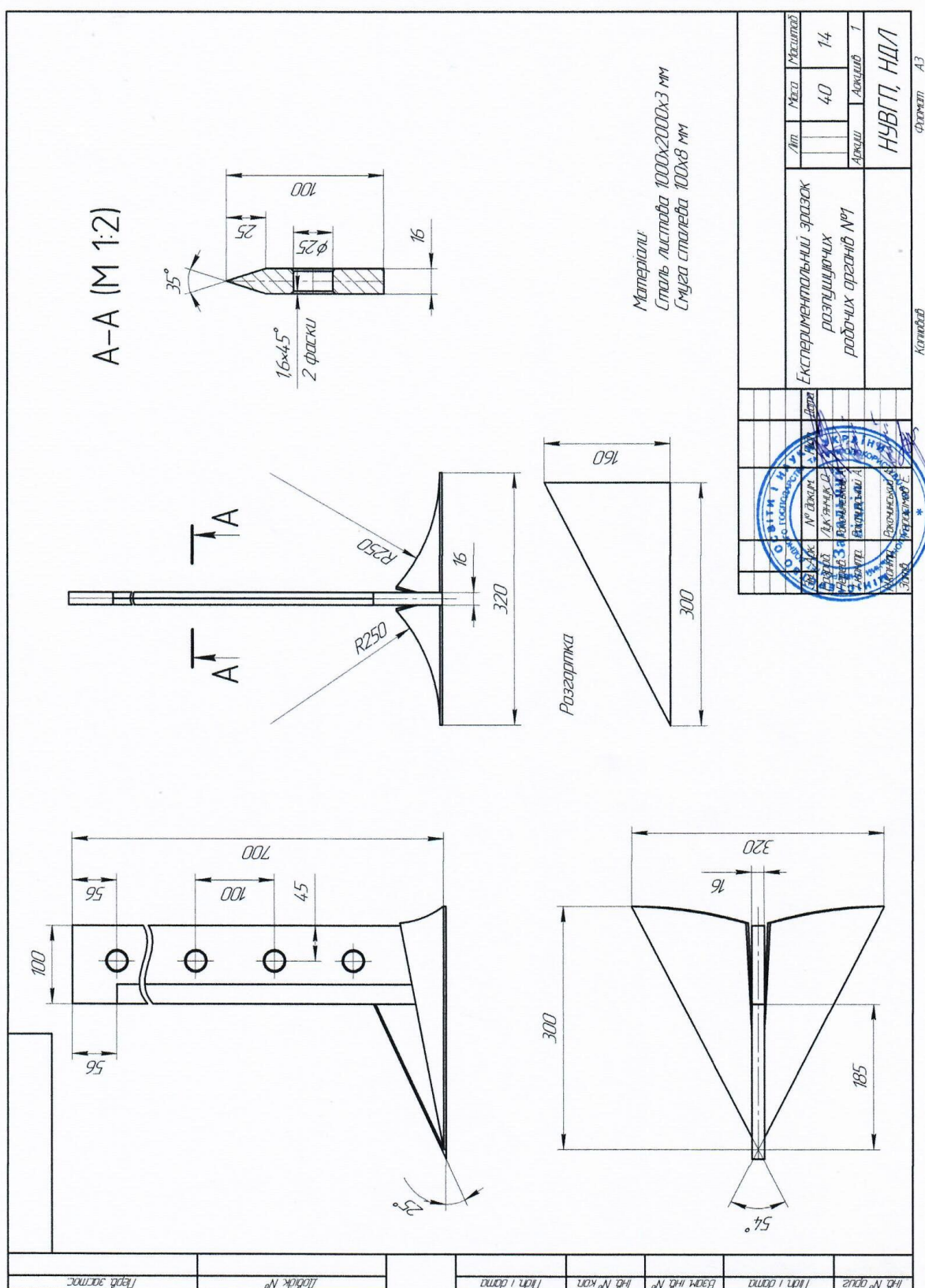


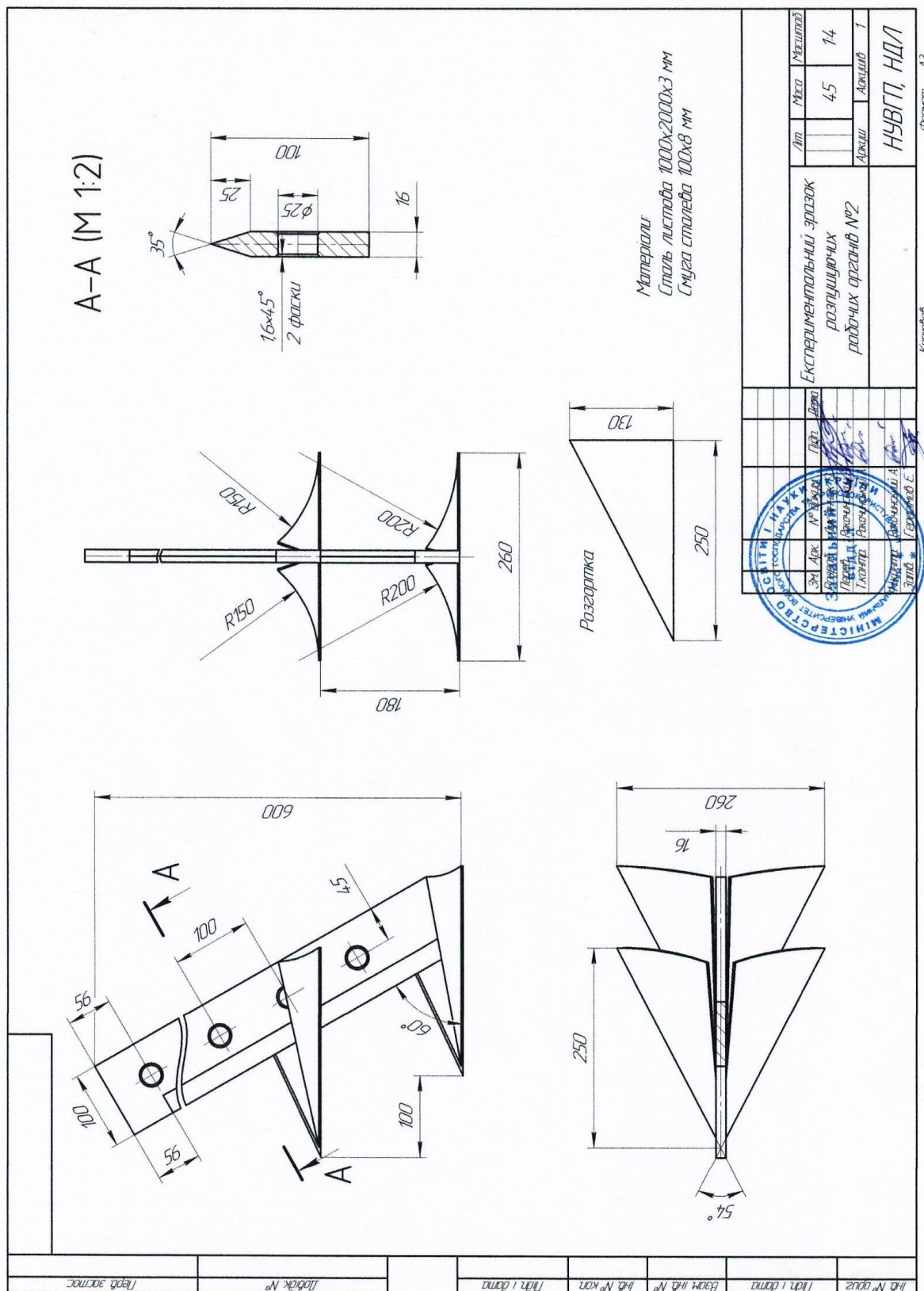
Додаток
до наказу Міністерства освіти і науки України
від 06.10 2023 року № 1413

**Перелік науково-технічних (експериментальних) розробок
в рамках виконання державного замовлення на найважливіші науково-технічні (експериментальні)
розробки та науково-технічну продукцію та обсяги їх фінансування**

№ з/п	Назва науково-технічної (експериментальної) розробки	Виконавець науково-технічної розробки, науковий керівник	Строк виконання, роки	Обсяг фінансування, тис. грн		
				усього	у тому числі 2023 рік	2024 рік
1.	Розроблення поляризаційно-двоканального радара для безпеки польотів вертольотів на малих висотах	Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Попов Анатолій Владиславович	2023-2024	6 000,0	1 500,0	4 500,0
2.	Розроблення цифрової моделі двомісного легкого літака та відповідного льотного демонстратора для первинної підготовки пілотів	Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» Воробйов Юрій Анатолійович	2023-2024	6 000,0	1 500,0	4 500,0
3.	Розроблення технологій очищення внутрішньої порожнини та внутрішньотрубного ремонту складних трубопровідних систем	Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Дорошенко Ярослав Васильович	2023-2024	950,0	240,0	710,0

№ з/п	Назва науково-технічної (експериментальної) розробки	Виконавець науково-технічної розробки, науковий керівник	Строк виконання, роки	Обсяг фінансування, тис. грн		
				усього	у тому числі 2023 рік	2024 рік
4.	Розроблення комбінованого генератора теплової та електричної енергії	Інститут відновлюваної енергетики НАН України Лобунець Юрій Миколайович	2023-2024	2 287,8	947,0	1 340,8
5.	Розроблення енергоефективного тепломасообмінного обладнання для виробництва продуктів харчування	Одеський національний технологічний університет Бурдо Олег Григорович	2023-2024	1 615,8	785,4	830,4
6.	Розроблення інтелектуальної низькотемпературної системи теплозабезпечення будівель на базі конденсаційної модульної котельні	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Волощук Володимир Анатолійович	2023-2024	2 299,0	796,4	1 502,6
7.	Розроблення ресурсозберігаючих технологій для підвищення рівня агровиробництва на меліорованих землях Українського Полісся	Національний університет водного господарства та природокористування Лук'янчук Олександр Петрович	2023-2024	1 071,6	352,2	719,4
8.	Розроблення електротехнології для переробки кератиновмісних відходів і сировини	Національний університет біоресурсів і природокористування України Заблудський Микола Миколайович	2023-2024	1 400,0	420,0	980,0





«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник науково-дослідної частини
Національного університету водного
господарства та природокористування



Є.Г. Герасімов

10.06.2024

Акт

виготовлення експериментальних зразків розпушуючих робочих органів

Цим актом засвідчується те, що виконавцями науково-технічної роботи «Розроблення ресурсозберігаючих технологій для підвищення рівня агровиробництва на меліорованих землях Українського Полісся» у відповідності до розробленої ескізної документації в умовах науково-дослідної лабораторії НУВГП «Інжиніринг машин та обладнання» було виготовлено два експериментальні зразки розпушуючих робочих органів з різними конструкційними параметрами у натуральну величину (рис. 1).

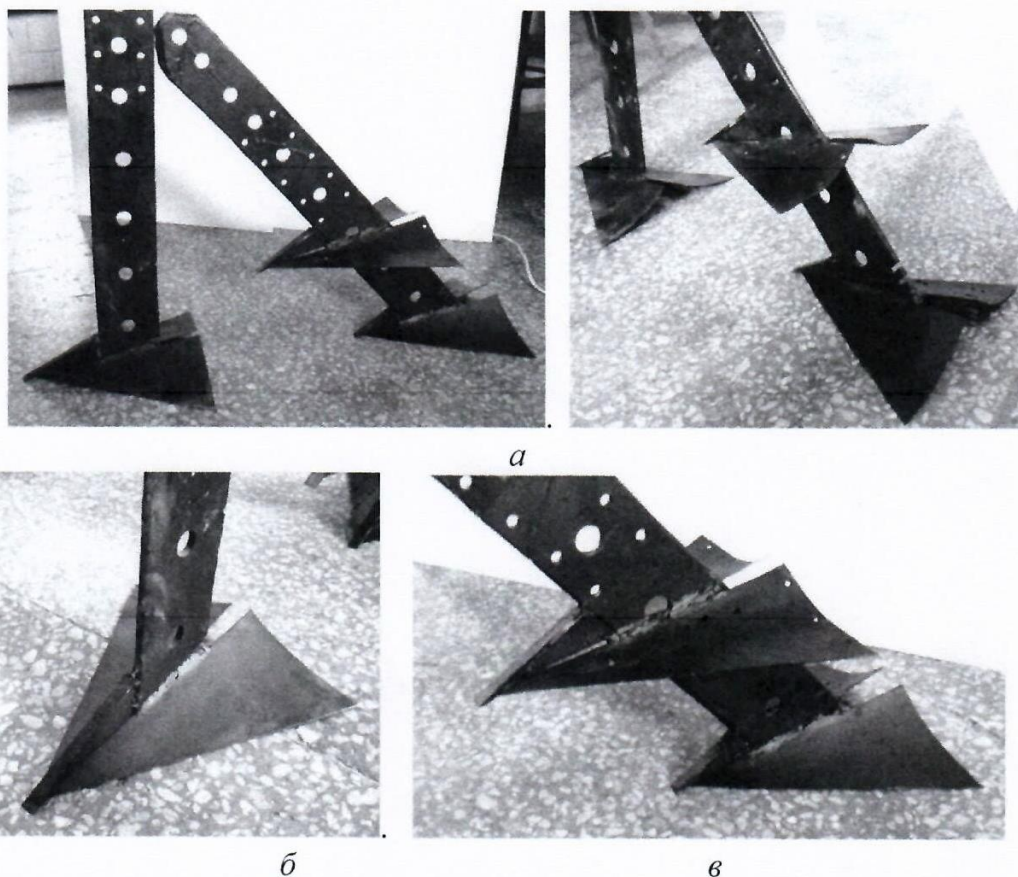


Рисунок 1. Експериментальні зразки розпушуючих робочих органів: а – загальний вигляд; б – експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №1; в – експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №2

Період виконання робіт: 27.05.2024-31.05.2024.

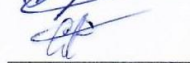
Використані матеріали: сталь листова товщиною 3 мм; смуга сталевіа 100x8 мм.

Технічні параметри експериментальних зразків розпушуючих робочих органів:

- експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №1: стояк прямий, кількість спарених розпушуючих елементів – 1; кінцевий радіус поперечного перерізу розпушуючих елементів 0,25 м, ширина розпушуючих елементів 0,32 м, довжина розпушуючих елементів 0,3 м;
- експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №2: стояк похилий, кількість спарених розпушуючих елементів – 2; кінцеві радіуси поперечних перерізів розпушуючих елементів: 0,15 м та 0,2 м, ширина розпушуючих елементів 0,26 м, довжина розпушуючих елементів 0,25 м

Виконавці:

 Лук'янчук О.П.

 Степанюк Б.І.

 Ілючок О.В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник науково-дослідної частини
Національного університету водного
господарства та природокористування



Є.Г. Герасімов

20.06.2024

Протокол

лабораторного дослідження впливу експериментальних зразків розпушуючих робочих органів на зміну макроструктури ґрунтового середовища та енергоємність процесу розпушення.

Дата та місце проведення дослідження:

14.06.2024

Науково-дослідна лабораторія НУВГП «Інжиніринг машин та обладнання»

Обладнання: 2 експериментальні зразки розпушуючих робочих органів, вологомір ґрунту Walcom MC-7828SOIL, аналізатор ґрунту Soil Tester JHL9918, ґрунтовий канал з динамометричним візком з канатним приводом від електродвигуна, електронний динамометр ВН-2500, динамічний щільномір (ударник ДорНДІ) за ГОСТ 19618-85, лінійка вимірвальна металева довжиною 0,5 м за ГОСТ 427-86.

Технічні параметри експериментальних зразків розпушуючих робочих органів:

- експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №1: стояк прямий, кінцевий радіус поперечного перерізу розпушуючих елементів 0,25 м, ширина розпушуючих елементів 0,32 м, довжина розпушуючих елементів 0,3 м;
- експериментальний зразок розпушуючих робочих органів №2: стояк похилий, кінцевий радіус поперечного перерізу розпушуючих елементів 0,15 м та 0,2 м, ширина розпушуючих елементів 0,26 м, довжина розпушуючих елементів 0,25 м;

Умови дослідження: ґрунтовий канал у вигляді бетонованої ємності прямокутного перерізу з розмірами 10×1,8×1,5 м, яка заповнена попередньо розпушеною і ущільненою піщано-глинистою сумішшю вологістю ($\omega=14\%$). За числом ударів щільноміра ДорНДІ ($C_{\gamma 0}=4$ -удари) це ґрунт 1-2 категорії – твердий супісок зі щільністю $\rho=1,9\ldots 2,0$ г/см³, експериментальні зразки розпушуючих робочих органів почергово закріплюються на рамній конструкції динамометричного візка та через систему важелів пов'язуються з електронним динамометром. Для регулюючого переміщення експериментальних зразків розпушуючих робочих органів в горизонтальному та вертикальному напрямку використовуються ручні маховики динамометричного візка.

Змінні фактори: дискретно змінювана глибина розробки ґрунту експериментальними зразками розпушуючих робочих органів 0,10 м, 0,15 м та 0,20 м; дискретно змінюваний радіус поперечного перерізу експериментальних зразків розпушуючих робочих органів 0,15 м, 0,20 м та 0,25 м.

Режими дослідження: кількісна оцінка макроструктури розпушеного ґрунтового середовища та визначення зусилля тяги руху динамометричного візка

з експериментальними зразками розпушуючих робочих органів при усталеній швидкості руху 2,75 м/хв та довжині кожної ділянки руху 1,5 м.

Результати досліджень.

Таблиця 1 – Дослідні дані за тяговим зусиллям

№	Фактори		Тягове зусилля, кН				Відносн а похибка, ε, %
	h, м	R _к , м	Повторюваність			Серед нє	
			1-а	2-а	3-я		
1	0,05	0,15	0,35	0,40	0,43	0,39	7,34
2	0,05	0,25	0,25	0,31	0,30	0,29	8,53
3	0,15	0,15	1,65	1,73	1,86	1,75	4,33
4	0,15	0,25	1,30	1,35	1,45	1,37	4,07
Середні значення:							6,07

h – глибина розробки ґрунту експериментальними зразками розпушуючих робочих органів
R_к – радіус поперечного перерізу експериментальних зразків розпушуючих робочих органів

Таблиця 2 – Показники структурності розпушеного ґрунту

№	Дослідні параметри		К-кість агрегатів, шт.							$K_{стр}$	Коеф. варіації, v , %	P_T , кН	E_n , кДж/м ³
			l_K , мм										
	h , м	R_K , м	<5	5-10	10-25	25-50	>50	0,25 – 7	<0,25 – >7				
1	0,15	0,15	45	44	18	13	2	67	55	1,22	134,0	1,75	182,3
3	0,10	0,20	38	16	27	8	2	60	54	1,11	79,7	0,95	148,5
2	0,15	0,25	45	31	32	5	1	46	45	1,02	149,0	1,37	142,7

*K*_{стр} – коефіцієнт структурності, відносний вміст агрономічно цінних структурних агрегатів ґрунту серед інших; *P_т* – тягове зусилля; *l_к* – величина поперечника структурних агрегатів ґрунту; *E_п* – енергоємність процесу

У результаті досліджень встановлено, що тягове зусилля залежить у більшій мірі від глибини розробки ґрунту ніж від кінцевого поперечного радіусу поверхні. Наведені дані експериментальних досліджень підтверджують теоретичні дослідження.

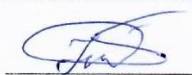
Найбільше агрономічноцінних структурних агрегатів (5-10 мм) утворюється при *h*=0,15 м та *R_к*=0,15 м. Одночасно з цим, при цих же параметрах, утворюється і найбільша кількість крупних частинок (>25 мм). Найбільш однорідна структура, згідно до коефіцієнта варіації (табл. 2), утворюється при *h*=0,15 м та *R_к*=0,25 м.

Дрібні частинки (<10 мм) утворюються у нижньому шарі ґрунту, що розробляється. Крупні частинки (>25 мм) утворюються у верхньому шарі ґрунту, що розробляється, через неоднорідність середовища та зменшення інтенсивності руйнуючого зусилля.

Виконавці:

 Лук'янчук О.П.

 Степанюк Б.І.

 Ілючок О.В.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

директор ТОВ СВК ГОРИНЬ

Титечко О.П.

Рівненська обл., с. Новосілки

“04” 10 2024 р.

Акт

про надання консультативної допомоги та апробації

Колективом виконавців від Національного університету водного господарства та природокористування було здійснено апробацію розроблених науково-практичних підходів до вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів у польових умовах.

Надання консультативної допомоги та апробацію проведено на староорних землях товариства в Рівненському районі Рівненської області з наявністю на них дренажних осушувальних систем поблизу сіл Новомильськ 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 глибину до 0,6 м. За даними моніторингу рівнів ґрунтових вод їх залягання зафіксовано на глибині від 0,75 до 2,0 м.

Технологічні операції ґрунтообробки проводилися під посів кукурудзи, були рознесені в часі та реалізовувались пошарово шляхом обробітку на глибину 0...0,25 м в кінці осені (окремо без та з глибоким розпушенням на глибину 0,25...0,6 м суцільним за площею та профілем поля) та обробітку верхнього шару ґрунту на глибину 0...0,10 м наприкінці весни комбінованим знаряддям.

У варіанті з застосуванням глибокого розпушення на глибину до 0,6 м в основному було зафіксовано у верхньому шарі до 0,10 м щільність ґрунту 0,9...1,1 г/см³ з утворенням зернистої та дрібногрудочкової структури розміром 3...27 мм; у шарі 0,10...0,25 м – щільність ґрунту 1,2...1,3 г/см³ з

утворенням середньогрудчоватої структури розміром 10...35 мм з наявністю окремих крупних грудок 60...80 мм; у шарі до 0,25...0,60 м – щільність ґрунту 1,4...1,5 г/см³ з утворенням крупногрудчоватої структури розміром 40...95 мм (у варіанті без глибокого розпушення – наявність ущільненої плужної підшви щільністю 1,6...1,8 г/см³); а також вирівнювання фільтрації за площею поля з відсутністю водяних блюдець; що вилилося у підвищення врожайності посівної культури до 20%.

Суміщення робочих органів для обробітку різних шарів ґрунту в одному ярусно-комбінованому технічному засобі позитивно впливає на зменшення загальних витрат енергоресурсів.



професор каф. водної інженерії та водних технологій НУВГП
Рокочинський А.М.



доцент каф. будівельних, дорожніх, меліоративних машин НУВГП
Лук'янчук О.П.



аспірант каф. будівельних, дорожніх, меліоративних машин НУВГП
Ілючок О.В.

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

директор ПСП СВИТАНОК

Чернецький Ю.П.

Рівненська обл., с. Деражне

“24” 09 2024 р.



Акт

про надання консультативної допомоги та апробації

Для апробації результатів виконання науково-дослідницької роботи щодо науково-практичних підходів до вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів співробітникам Національного університету водного господарства та природокористування було здійснено надання консультативної допомоги щодо застосування розроблених технологій та технічних засобів у польових умовах і реалізовано на виробничих потужностях ПСП при вирощуванні зернової культури – пшениці озимої.

Виробничі потужності ПСП є староорними землями розташованими 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. В геологічній будові масиву беруть участь четвертинні алювіальні піски, супіски, що підстилаються верхньокрейдяними відкладами. На денну поверхню виходять дрібнозернисті піски (потужністю 3 і більше метри) сірі і жовтуваті-сірі. Супіски зустрічаються легкі і важкі, сірі і брудно-сірі. Ґрунти на системі дернові середньо-підзолисті, піщані і є типовими для зони Полісся.

Передпосівні технологічні операції ґрунтообробки були рознесені в часі та реалізовувались пошарово ярусно-комбінованими технічними засобами шляхом суцільного безвідвального обробітку з розпушенням на глибину 0,25...0,6 м (та

варіант без обробітку цього шару для порівняння), обробітку на глибину 0,15...0,25 м та обробітку верхнього шару ґрунту на глибину 0...0,15 м.

При застосуванні пошарової обробки з глибоким розпушенням на глибину до 0,6 м в основному було зафіксовано наступні усереднені значення основних показників водно-фізичних властивостей оброблених шарів ґрунту: щільність 1,15...1,21 т/м³; шпаруватість 53...57%; водопроникність 0,51...0,55 м/добу; (у варіанті без глибокого розпушення – наявність ущільненої плужної підшви на глибині від 0,25 м щільністю 1,72...1,81 г/см³) та підвищення врожайності пшениці озимої на зерно до 22% в межах 30...31 ц/га.



професор каф. водної інженерії та
водних технологій НУВГП
Волк П.П.



доцент каф. будівельних, дорожніх,
меліоративних машин НУВГП
Лук'янчук О.П.



аспірант каф. будівельних, дорожніх,
меліоративних машин НУВГП
Ілючок О.В.

ТОВ «СВК ГОРИНЬ»

35723, вул. Шкільна, 1, с. Новосілки, Здолбунівський р-н., Рівненська обл.;
Код ЄДРПОУ 39260081, р/р UA 28 325365 000000 2600801531200 в АТ «Кредобанк»

Від 14.10.2024 № 1/14-10

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Лук'янчука Олександра Петровича

на тему: «Науково-практичні засади вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів»

Наданою довідкою підтверджуємо, що результати дисертаційної роботи доцента кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин Національного університету водного господарства та природокористування Лук'янчука Олександра Петровича на тему: «Науково-практичні засади вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів» були взяті до впровадження в товаристві з обмеженою відповідальністю «СВК Горинь».

Зокрема, було використано удосконалені технологічні рішення та застосовано розроблену методику розрахунку технологічних параметрів пошарового глибокого розпушення ґрунту при проведенні осіннього комплексу польових робіт на староорних землях товариства в Рівненському районі Рівненської області поблизу сіл Новомильськ та Копиткове загальною площею 513 га де проводиться вирощування зернових (кукурудзи) та олійних (ріпак) культур.

Директор



Олександр ТИТЕЧКО



**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
(ДЕРЖВОДАГЕНТСТВО)**

вул. Велика Васильківська, 8, м. Київ, 01024, тел./факс: (044) 235-31-92, тел. (044) 235-61-46

E-mail: davr@davr.gov.ua, сайт: davr.gov.ua, код згідно з ЄДРПОУ 37472104

До Спеціалізованої Вченої Ради
Д 47.104.01
Національного університету водного
господарства та природокористування

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження на тему:
"Науково-практичні засади вдосконалення технологій та
технічних засобів глибокого меліоративного розпушення
осушуваних мінеральних ґрунтів"**

Видана Лук'янчуку Олександрю Петровичу, доценту кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин Національного університету водного господарства та природокористування про те, що результати виконаних досліджень відображені у «Науково-методичних рекомендаціях щодо створення та функціонування дренажних систем у змінних сучасних умовах», затверджених науково-технічною радою Національного університету водного господарства та природокористування, (протокол №142 від 23 квітня 2021 року), технічною Радою ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «ДІПРОМІСТО» Імені Ю.М. Білоконя, (протокол №1 від 05 червня 2021 року).

Згідно представлених рекомендацій автором розроблено адаптивні агро меліоративні заходи для ведення аграрного виробництва на осушуваних землях на основі удосконалення технологій та засобів глибокого суцільного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів для підвищення їх вологозабезпеченості та поліпшення еколого-меліорованого стану щодо сучасних змінюваних умов та вимог.

Державне агентство водних ресурсів України
№ 1065/9/13/11-25 від 24.02.2025



Розроблені рекомендації мають важливе практичне значення, спрямовані на підвищення загальної технічної, технологічної та еколого-економічної ефективності створення та функціонування дренажних систем з урахуванням сучасних умов та вимог на основі системної оптимізації режимних, технологічних та конструктивних рішень у проектах їх будівництва, реконструкції й модернізації та будуть враховані при реалізації «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року», зокрема на осушуваних землях у зоні Західного Полісся України.

**Т.в.о. Голови,
доктор технічних наук**



Ігор ГОПЧАК



ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
РЕГІОНАЛЬНИЙ ОФІС ВОДНИХ РЕСУРСІВ У РІВНЕНСЬКІЙ ОБЛАСТІ

вул. Кавказька, 7, м. Рівне, 33013, тел.: (0362) 63-36-43

E-mail: rivneovr@gmail.com, сайт: www.rivnevodres.gov.ua, код згідно з ЄДРПОУ 21085555

Від 24.01.25 № 50/1

На № _____ від _____

До Спеціалізованої Вченої Ради
Д 47.104.01
Національного університету водного
господарства та природокористування

ДОВІДКА

про використання наукових результатів дисертаційного дослідження
Лук'янчука Олександра Петровича на тему: «**Науково-практичні засади
вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного
розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів**»

Дана довідка, видана доценту кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин Національного університету водного господарства та природокористування Лук'янчуку Олександр Петровичу, про прийняття до використання при експлуатації водогосподарських систем розроблених за результатами дисертаційного дослідження практичних рекомендацій щодо удосконалення способу регулювання водного режиму мінеральних ґрунтів, що полягає в акумуляції частини води на спаді весняної повені шляхом поєднання здійснення попереджувального шлюзування на водогосподарських об'єктах та глибокого суцільного розпушення на землях, що перебувають у зоні їх впливу.

Даний спосіб забезпечить акумуляцію більшої частини атмосферних опадів та збільшить вологозапаси ґрунту за рахунок вологоутримання в його верхніх та нижніх шарах у межах водогосподарської системи впродовж вегетаційного періоду в інтервалі 0,8-1,2 м, що підвищить ефективність роботи регулювання водного режиму мінеральних ґрунтів у різні за вологозабезпеченістю періоди вегетації на 30-90 %.

Начальник

Ігор МОСІЙЧУК



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, тел. (0362) 63-30-98, факс (0362) 63-32-09, mail@nuwm.edu.ua

Від 17н-24 № 17.11.2024
 На № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання досліджень
Лук'янчука Олександра Петровича,
 отриманих при виконанні дисертаційної роботи
 на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
 06.01.02 - сільськогосподарські меліорації (технічні науки),
 в науково-дослідних роботах, які виконувалися у науково-дослідній частині
 Національного університету водного господарства та природокористування

Видана *Лук'янчуку Олександр Петровичу* з підтвердженням того, що результати досліджень, викладених в дисертаційній роботі на тему: «Науково-практичні засади вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів», використовувались при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт:

- «Розробка і створення багатоярусних агроеліоративних енергозберігаючих засобів розпушення ґрунтів» (№ держреєстрації 01054001484, терміни виконання 2005-2007 рр.), де здобувачем обґрунтовано параметри робочого процесу розпушення ґрунту та розроблено конструкцію ярусного глибокорозпушувача;

- «Забезпечення сталого розвитку меліорованих агроландшафтів Полісся в умовах змін клімату на основі адаптивних заходів» (№ держреєстрації 0121U109614, терміни виконання 2021-2022 рр.); де здобувачем розроблено способи глибокого меліоративного розпушення на меліорованих землях та обґрунтовано їх параметри;

- «Розроблення ресурсозберігаючих технологій для підвищення рівня агровиробництва на меліорованих землях Українського Полісся» (№ держреєстрації 0123U104213, терміни виконання 2023-2024 рр.), де здобувач брав участь у виготовленні та випробуванні експериментальних зразків глибокорозпушувача, а також в апробації технологій суцільного глибокого меліоративного розпушення у виробничих умовах;

- «Забезпечення продовольчої безпеки країни у воєнний та повоєнний періоди шляхом інтенсифікації агровиробництва на меліорованих землях Полісся» (№ держреєстрації 0123U101922, терміни виконання 2023-2025 рр.), де здобувач розробив методику розрахунку удосконалених технічних засобів глибокого меліоративного розпушення.

Проректор з наукової роботи
 та міжнародних зв'язків,
 д.е.н., професор

Куницький 0967375013



Наталія САВІНА



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
(НУВГП)

вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, тел. (0362) 63 30 98, факс (0362) 63 32 09,
 e-mail: mail@nuwm.edu.ua, web: https://nuwm.edu.ua
 код ЄДРПОУ 02071116

Від 15.11.2024 № 011-07 На № _____ від _____

ДОВІДКА

про використання у навчальному процесі

Національного університету водного господарства та природокористування
 результатів досліджень і розробок, одержаних при виконанні дисертаційної роботи

Лук'янчука Олександра Петровича

на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
 за спеціальністю 06.01.02 – сільськогосподарські меліорації (технічні науки)

Використані у навчальному процесі науково-методичні розробки та результати наукових досліджень докторанта Лук'янчука Олександра Петровича, що викладені в його дисертації, пов'язані з розробкою науково-прикладних засад вдосконалення технологій та технічних засобів глибокого меліоративного розпушення осушуваних мінеральних ґрунтів, забезпечують набуття здобувачами вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів відповідних теоретичних знань та практичних навичок з проектування технологій водорегулювання та глибокого меліоративного розпушення, створення та конструювання багаторушних технічних засобів. У навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування використовуються при викладанні за відповідними спеціальностями таких освітніх компонент:

- 133 «Галузеве машинобудування» (галузь знань 13 «Механічна інженерія»): *«Наукові основи створення землерийно-ярусних машин»* Тема 5. Основні принципи і умови створення багаторушних землерийних робочих органів; *«Теорія руйнування робочих середовищ»*. Тема 2. Ґрунтове середовище як об'єкт руйнування землерийними машинами. Фізичні характеристики ґрунтів; *«Меліоративні машини та обладнання для водного господарства»*. Тема 4. Машини для культуртехнічних робіт, конструкції машин для культуртехнічних робіт, розрахунок основних параметрів машин для культуртехнічних робіт.

- 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» (галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»): *«Водна інженерія та водні технології»*. Тема 7. Управління водним режимом ґрунтів за допомогою осушувальних та осушувально-зволожувальних систем.

- 208 «Агроінженерія» (галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»): *«Меліоративні машини та обладнання для водного господарства»*. Тема 1. Класифікація машин для водного господарства, види робіт меліоративних машин та обладнання; Тема 5. Машини для виконання культуртехнічних робіт, машини для глибокого суцільного фрезерування та розпушення ґрунту;

Проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків Національного університету водного господарства та природокористування
 д.е.н., професор

Євген ТХОПУК 0686219521



Наталія САВІНА