

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Онуфрієнко Олександр Миколайович

УДК 631.316.4:631.51

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення технологічного процесу основного обробітку
грунту з обґрунтуванням робочих параметрів
глибокорозпушувача об'ємного типу
208 “Агроінженерія”**

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ Онуфрієнко О.М.

**Керівник роботи
Боровський В.М.
старший викладач**

АНОТАЦІЯ

Онуфрієнко Олександр Миколайович. Удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту з обґрунтуванням робочих параметрів глибокорозпушувача об'ємного типу. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто обґрунтування робочих параметрів глибокорозпушувача об'ємного типу, призначеного для глибокого розпушування ущільнених ґрунтових шарів без обертання пласта. Актуальність теми зумовлена потребою підвищення ефективності обробітку ґрунту, поліпшення його водно-повітряного режиму, зменшення щільності підорного горизонту та зниження енергоємності технологічної операції. У роботі проаналізовано існуючі конструкції глибокорозпушувачів, особливості процесу об'ємного розпушування ґрунту та фактори, що впливають на якість розпушування і тяговий опір агрегату. Основну увагу приділено параметрам робочого органу, формі стійок, глибині обробітку, ширині захвату та взаємодії робочих поверхонь із ґрунтом. У розрахунковій частині обґрунтовано основні робочі параметри глибокорозпушувача, визначено тяговий опір, енергетичні показники та продуктивність машинно-тракторного агрегату. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення повноти розпушування ґрунтового профілю, зменшення витрат пального та забезпечення стабільної роботи знаряддя на заданій глибині. У конструктивному розділі розглянуто будову глибокорозпушувача, обґрунтовано вибір основних елементів конструкції та параметрів робочого органу. Розроблене технічне рішення забезпечує руйнування ущільненого шару ґрунту, накопичення вологи, розвиток кореневої системи рослин і підвищення родючості ґрунту. У розділі з охорони праці визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації агрегату, запропоновано заходи безпечної роботи та виконано відповідний розрахунок. У техніко-економічному обґрунтуванні розраховано експлуатаційні витрати, собівартість робіт, річний економічний ефект і строк окупності. Результати роботи можуть бути використані для удосконалення ґрунтообробних машин, організації глибокого обробітку ущільнених ґрунтів і підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів у сільському господарстві.

Ключові слова: глибокорозпушувач, об'ємне розпушування, робочий орган, ґрунт, ущільнений шар, тяговий опір.

ANNOTATION

Oleksandr Mykolayovych Onufrienko. Improvements to the primary soil tillage process, with a justification of the operating parameters of a volumetric deep loosener. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines the justification of the operating parameters of a volumetric deep loosener designed for deep loosening of compacted soil layers without turning the soil. The relevance of the topic stems from the need to increase the efficiency of soil cultivation, improve its water-air regime, reduce the density of the subsoil horizon and lower the energy consumption of the operation. The paper analyses existing designs of deep loosening machines, the characteristics of the volumetric soil loosening process, and the factors influencing the quality of loosening and the traction resistance of the machine. The main focus is on the parameters of the working body, the shape of the tines, the working depth, the working width and the interaction of the working surfaces with the soil. The calculation section substantiates the main operating parameters of the deep loosener, determines the traction resistance, energy consumption and productivity of the machine-tractor unit. The proposed solutions are aimed at improving the thoroughness of soil profile loosening, reducing fuel consumption and ensuring stable operation of the implement at a specified depth. The design section examines the structure of the deep loosener and justifies the selection of the main structural elements and parameters of the working body. The developed technical solution ensures the breaking up of the compacted soil layer, moisture accumulation, the development of the plant root system and an increase in soil fertility. The occupational health and safety section identifies hazardous and harmful production factors during the operation of the unit, proposes safety measures and performs the relevant calculations. The technical and economic justification calculates operating costs, the cost of works, the annual economic benefit and the payback period. The results of this work can be used to improve soil cultivation machinery, organise deep tillage of compacted soils and enhance the efficiency of machine-tractor units in agriculture.

Keywords: deep loosener, volumetric loosening, working body, soil, compacted layer, traction resistance.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	10
1.1. Призначення та сфера застосування об'ємного розпушувача.....	16
1.2. Огляд способів і засобів об'ємного розпушування.....	19
1.3. Двоступеневий об'ємний розпушувач.....	23
1.4. Розробка конструкції об'ємного розпушувача з урахуванням морфологічної карти для важких ґрунтів.....	24
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПУШУВАННЯ.....	27
РОЗДІЛ 3. КІНЕМАТИКА ТА ВИДИ РУХУ ҐРУНТОВИХ ЧАСТИНОК ПРИ ГЛИБОКІЙ ОБРОБЦІ УЩІЛЬНЕНИХ ЧОРНОЗЕМІВ.....	32
РОЗДІЛ 4. СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК.....	37
РОЗДІЛ 5. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК.....	42
РОЗДІЛ 6. АГРЕГАТУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ МЕЛІОРАТИВНИХ РОЗПУШУВАЧІВ.....	47
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	53
7.1. Загальні положення.....	53
7.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	53
7.3. Вимоги безпеки перед початком роботи.....	54
7.4. Вимоги безпеки під час виконання технологічного процесу.....	55
7.5. Розрахунок параметрів безпечної організації роботи.....	55
7.6. Технічне обслуговування, пожежна безпека та аварійні дії.....	57
Висновки до розділу.....	58
РОЗДІЛ 8. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.....	59
8.1. Мета та вихідні положення економічного обґрунтування.....	59

	5
8.2. Розрахунок продуктивності агрегату.....	60
8.3. Розрахунок енергоємності та витрат пального.....	60
8.4. Розрахунок експлуатаційних витрат.....	61
8.5. Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності.....	62
Висновок за розділом.....	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ефективне ведення сучасного сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від раціонального використання земельних ресурсів, підтримання родючості ґрунтів та впровадження енергозберігаючих технологій обробітку. Однією з важливих проблем аграрного виробництва є ущільнення ґрунтового профілю, яке виникає внаслідок багаторазового проходу машинно-тракторних агрегатів, дії ходових систем важких тракторів, природного осідання ґрунту, зрошення, опадів та інших факторів. Ущільнені шари погіршують водно-повітряний режим ґрунту, знижують його фільтраційну здатність, ускладнюють розвиток кореневої системи рослин і, як наслідок, призводять до зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Одним із ефективних способів усунення надмірного ущільнення є глибоке об'ємне розпушування ґрунту без обертання пласта. Такий спосіб обробітку дає змогу зруйнувати ущільнені горизонти, поліпшити структуру ґрунту, підвищити його водопроникність, повітроємність і здатність накопичувати вологу. На відміну від традиційного обробітку, об'ємне розпушування забезпечує вплив на значну глибину ґрунтового профілю, що особливо важливо для важких, перезвожених, засолених і ущільнених ґрунтів.

Водночас застосування глибокорозпушувачів пов'язане зі значними енергетичними витратами. Зі збільшенням глибини обробітку різко зростає тяговий опір робочих органів, підвищується витрата пального, збільшується навантаження на трактор і деталі знаряддя.

Тому важливим інженерним завданням є обґрунтування таких робочих параметрів глибокорозпушувача, які забезпечують якісне руйнування ущільненого шару ґрунту за мінімально можливих енергетичних витрат.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності вдосконалення конструктивних і робочих параметрів глибокорозпушувача

об'ємного типу з метою підвищення якості обробітку ґрунту, зниження тягового опору, поліпшення водно-фізичних властивостей ґрунтового профілю та забезпечення ефективного використання машинно-тракторного агрегату в умовах сільськогосподарського виробництва.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування робочих параметрів глибокорозпушувача об'ємного типу, які забезпечують підвищення ефективності процесу глибокого розпушування ґрунту при зниженні енергоємності виконання технологічної операції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати призначення, умови застосування та технологічні особливості глибокого об'ємного розпушування ґрунту;
- розглянути існуючі конструкції глибокорозпушувачів і визначити їх основні переваги та недоліки;
- дослідити вплив форми та параметрів робочих органів на процес руйнування ущільненого ґрунтового шару;
- обґрунтувати раціональні робочі параметри глибокорозпушувача об'ємного типу;
- виконати інженерні розрахунки основних конструктивних і технологічних параметрів знаряддя;
- оцінити тягово-енергетичні показники роботи агрегату;
- розглянути питання охорони праці під час експлуатації глибокорозпушувача;
- визначити техніко-економічну доцільність запропонованих проектних рішень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес глибокого об'ємного розпушування ущільненого ґрунтового профілю.

Предметом дослідження є робочі параметри глибокорозпушувача об'ємного типу та їх вплив на якість розпушування ґрунту, тяговий опір і енергоємність процесу.

Методи дослідження ґрунтуються на аналізі науково-технічної інформації, порівнянні існуючих конструкцій ґрунтообробних машин, використанні положень теорії взаємодії робочих органів із ґрунтом, інженерних розрахунках конструктивних і технологічних параметрів, а також техніко-економічній оцінці запропонованого рішення.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Боровський В.М., **Онуфрієнко О.М.**, Червінський Ю.В., Бучко І.О. Екологобезпечні способи обробітку ґрунту. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 118-120

2. Білецький В.Р., Маліновський О.А., Мельничук М.М., **Онуфрієнко О.М.**, Кравченко А.Ю. Технології обробітку ґрунту: види, застосування, переваги й недоліки. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/bileckyj_26-2.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає в можливості використання обґрунтованих параметрів глибокорозпушувача об'ємного типу для підвищення ефективності глибокого обробітку ґрунту, зменшення енергетичних витрат, поліпшення умов розвитку кореневої системи рослин і підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь.

Отже, виконання даної кваліфікаційної роботи спрямоване на вирішення актуального завдання агроінженерії – удосконалення технічного засобу для глибокого об'ємного розпушування ґрунту шляхом обґрунтування його робочих параметрів, що забезпечують поєднання високої якості обробітку, надійності роботи та економічної ефективності застосування.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку та списку використаних джерел з 17

найменувань. Загальний обсяг роботи становить 67 сторінок комп'ютерного тексту, містить 8 рисунків, 11 таблиць та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Глибоке об'ємне розпушування без відбору пласта – ефективний метод інтенсивної меліорації важких і засолених ґрунтів, спрямований на поліпшення структури ґрунтового профілю на глибину 0,5...1,2 м і більше, що забезпечує істотне підвищення родючості та продуктивності сільськогосподарських угідь.

В результаті об'ємного розпушування ґрунт розпадається на окремі грудки, ґрунтові агрегати пронизуються мережею тріщин, формується нова структура та мікроструктура ґрунтового профілю. При цьому поліпшуються водно-фізичні (водопроникність, пористість, волого- та повітроємність), хімічні (окислювально-відновний потенціал) і термічні (теплопровідність, теплоємність) властивості ґрунту.

Глибоке об'ємне розпушування застосовують на зрошуваних і осушуваних землях з метою:

- регулювання поверхневого стоку;
- посилення дії закритого дренажу;
- прискорення освоєння важких, засолених, солонцевих ґрунтів і солонців;
- запобігання засоленню, інтенсифікації процесів розсолення ґрунтів під час промивання;
- усунення геологічних, генетичних ущільнень ґрунту, а також тих, що викликані дією важких колісних тракторів, сільськогосподарських машин, фільтраційних потоків, опадів та зрошувальної води;
- економії зрошувальної води шляхом накопичення атмосферних опадів, внаслідок придушення висхідних потоків вологи в ґрунті (підвищення ефективності використання природних опадів при регулюванні водно-сольового режиму ґрунтів);
- попередження висхідних капілярних потоків з мінералізованих ґрунтових вод та вторинного засолення (або його відновлення);

- використання «мертвого запасу» ґрунтових вод та зниження випаровування з поверхні ґрунту;
- підвищення повітроємності слабоструктурованих ґрунтів та створення сприятливих умов для росту й розвитку кореневої системи рослин на меліорованих землях;
- акумуляції поверхневого стоку на водозбірній площі з метою ліквідації перезволоження у замкнених пониженнях;
- запобігання водній та вітровій ерозії ґрунтів;
- внутрішньоґрунтового внесення хімічних, органічних меліорантів та добрив;
- боротьби з бур'янами;
- інтенсифікації меліоративно-будівельних робіт (передзимове розпушування тощо).

Глибоке об'ємне розпушування є важливою складовою технології вирощування запланованих врожаїв на орних землях, лучно-пасовищних угіддях, виноградниках і в садах. Також глибоке об'ємне розпушування необхідно поєднувати з внесенням хімічних меліорантів, мінеральних та органічних добрив, застосуванням культур-освоєників з потужною та глибокою кореневою системою, інтенсивною агротехнікою з урахуванням зональних ґрунтово-кліматичних умов.

Застосування техніки глибокого об'ємного розпушування зобов'язує враховувати такі характеристики та особливості земель, що підлягають обробці:

- кліматичні особливості території, склад і властивості ґрунтів для обґрунтування доцільності та ефективності їх глибокого розпушування;
- потреба та склад меліоративних і агро меліоративних заходів, що забезпечують створення необхідних умов вирощування сільськогосподарських культур для отримання високих врожаїв;
- біологічні та сортові особливості сільськогосподарських культур, залежність їх продуктивності від водно-повітряного та сольового режимів;

- водно-фізичні властивості ґрунту, що визначають його потенційну родючість, товщину гумусового горизонту, наявність безструктурних шарів та їх фізико-хімічний склад;
- гранулометричний склад ґрунтоутворюючих та підстилаючих порід, їхній вплив на водно-фізичні властивості ґрунту;
- тип і ступінь засолення ґрунтів, потреба в меліоративних заходах, у тому числі в хімічних меліораціях;
- ступінь окультуреності ґрунту, ефективність його родючості, потреба в агро меліоративних заходах та добривах, рівень врожайності вирощуваних сільськогосподарських культур

Об'ємному розпушуванню підлягають важкосуглинні та глинисті ґрунти з об'ємною масою понад 1400 кг/м^3 та коефіцієнтом фільтрації менше $0,3 \text{ м/добу}$ при вологості $15\ldots 35\%$ за масою. Можливе застосування глибокого об'ємного розпушування ґрунтів з щільністю менше 1400 кг/м^3 для збільшення окислювально-відновного потенціалу сильнозасолених ґрунтів.

На сильнозасолених землях при розробці комплексу меліоративних заходів, у тому числі промивок засолених земель, залежно від типу, ступеня засолення та властивостей токсичних солей, об'ємне розпушування слід передбачити на максимально можливу глибину $1,2 \text{ м}$ і більше. При використанні дощувальних машин для розсолення ґрунтів об'ємне розпушування проводять для підвищення швидкостей вбирання та фільтрації розрахункової промивної норми, а також для збільшення повітроємності ґрунту, що дозволяє проводити переривчасті промивання на тлі сільськогосподарських культур, не викликаючи пригнічення їх росту та розвитку. З метою підвищення ефективності промивок та зрошення на землях, що мають водонепроникні прошарки (глинисті, гіпсовані, залізисті, карбонатні), об'ємне розпушування проводять на глибину, що перевищує товщину цього шару. На солончакових ґрунтах, що мають низькі фільтраційні властивості та дуже малу повітроємність, ефективність промивання земель із комплексним солончаковим покривом можлива лише на тлі глибокого розпушування. З огляду на низьку водопроникність і

водостійкість цих ґрунтів при зрошенні, глибоке розпушування слід проводити через 2...3 роки, а в окремих випадках – щорічно, до повної меліорації цих ґрунтів. На глибоких солонцях слід застосовувати об'ємне розпушування з одночасним внутрішньоґрунтовим внесенням хімічних меліорантів.

Після проведення промивок засолених земель і тривалого зрошення при частих поливах відбувається ущільнення ґрунтів, погіршення їх водно-фізичних властивостей (збільшення об'ємної маси до 1500...1600 кг/м³ та зменшення водопроникності до 0,1 м/добу). Для забезпечення нормальних умов росту та розвитку кореневої системи рослин на цих землях слід проводити об'ємне розпушування, яке зменшує об'ємну масу на 18...22%, збільшує водопроникність у 6...10 разів і більше.

На зрошуваних землях об'ємне розпушування застосовують для регулювання сольового та водного режиму ґрунтів. При близькому заляганні мінералізованих ґрунтових вод в умовах зрошення глибоке розпушування проводять для запобігання вторинному засоленню, яке, розриваючи ґрунтові капіляри, запобігає підняттю сольових розчинів у активні кореневі шари. Крім того, глибоке об'ємне розпушування покращує режим зволоження ґрунту, сприяє перерозподілу вологи по глибині, забезпечує рівномірне зволоження та живлення кореневої системи. У 2,5...4 рази зростає швидкість вбирання води, що збільшує водопоглинальну здатність ґрунту, прискорює надходження води в нижні шари та сприяє скороченню її втрат на випаровування.

Як показали дослідження в Житомирській області, при меліорації замкнутих понижень, в результаті об'ємного розпушування водозбірної площі надходження води в пониження скоротилося на 60...66%. При цьому глибина промерзання на водозбірній площі після розпушування зменшилася на 0,3, а в пониженні – на 0,2 м. Це забезпечує більш ранні терміни сівби (на 10...14 днів) на землях, де проведено об'ємне розпушування.

Норми поливу з урахуванням підвищеної швидкості вбирання зрошувальної води в ґрунт встановлюють за формулою:

$$K_{en} = \frac{K_{en}^o}{t^\alpha}, \quad (1.1)$$

де K_{en} – поточне значення швидкості вбирання;

K_{en}^o – початкове значення швидкості вбирання після розпушування;

t – час;

α – коефіцієнт пропорційності, що дорівнює 0,3...0,9.

Під впливом глибокого об'ємного розпушування спостерігається істотне зменшення щільності шарів по всьому ґрунтовому профілю (на 20...24%), досягаючи оптимальних для рослин значень 1200...1400 кг/м³. Пилувата фракція («фізична глина») зумовлює найбільш несприятливі фізичні властивості ґрунтів: погіршує їхню водо- та повітропроникність, призводить до малоструктурності, при виконанні весняно-осінньої оранки, призводить до посилення тягового опору робочого органу. А нашою метою є саме зниження тягових опорів, використовуючи нові моделі розпушувачів.

Для умов каштанових, чорноземних ґрунтів, сіроземів застосування об'ємного розпушування покращує температурний режим ґрунту; знижує денну температуру по всьому профілю в середньому на 1...2° (від 3...7° на глибині 0,05 м до 0...2° на глибині 0,4...0,6 м), зменшує амплітуду коливань температури, особливо у верхніх шарах (до 50%). Розпушений цим способом ґрунт прогрівається рівномірно по всій глибині. Середньодобове випаровування з поверхні ґрунту скорочується на 10% за рахунок зниження температури верхнього шару, створення дрібно-грудкуватої структури, в у збільшення її пористості (на 5...9%) та підвищення повітроємності. В умовах зрошення підвищення врожайності сільськогосподарських культур обмежується низькою аерацією ґрунтів (їхня повітроємність менше 10%), що перешкоджає розвитку кореневої системи рослин. Для збільшення аерації ґрунтів, їх водопроникності при зрошенні дощуванням та накопичення вологи за рахунок атмосферних опадів на важких ґрунтах, слід проводити об'ємне розпушування на глибину 0,5...0,8 м.

У зонах недостатнього та нестабільного зволоження об'ємне розпушування виконують з метою накопичення природних опадів, а також поступового розсолення ґрунтів природними опадами.

Під впливом глибокого об'ємного розпушування спостерігається зменшення щільності шарів по всьому ґрунтовому профілю (на 20...24%), досягаючи оптимальних для рослин значень. У таблиці 1 наведено результати аналізів проведеного розпушування ґрунтів на глибину 0,6 м в одному з радгоспів Підмосков'я для поліпшення водно-фізичних та хімічних властивостей ґрунтів, руйнуючи утворені в процесі експлуатації ущільнення.

Зміна водно-фізичних властивостей сероземного ґрунту під дією глибокого розпушування.

Таблиця 1.1 – Водно-фізичних властивостей ґрунтів.

Шар, м	Щільність твердої фази ґрунту, кг/м ³	Щільність ґрунту, кг/м ³	Пористість, %	МГ, % від маси ґрунту
Контрольна ділянка				
0...0,2	2540	1400	45	10,7
0,2...0,4	2530	1470	42	10,88
0,4...0,6	2540	1510	40	9,86
Розпушена ділянка				
0...0,2	2530	1240	51	10,74
0,2...0,4	2540	1300	49	-
0,4...0,6	2550	1390	45	9,88
0,8...1,0	2550	-	-	9,21

З таблиці 1.1 видно, що в результаті глибокого розпушування щільність ґрунту зменшується на 15...20% (з 1470–1510 до 1300–1390 кг/м³) і наближається до оптимальної. При цьому щільність твердої фази ґрунту залишилася практично незмінною. Збільшилася пористість у підорному горизонті (з 40–42 % до 45–49 %) при практично незмінному значенні МГ (міцно зв'язана вода). При об'ємному розпушуванні ґрунтового профілю, зі збільшенням пористості ґрунту збільшується його акумулююча здатність, підвищується ефективність використання атмосферних опадів.

Механічне розпушування ґрунтового профілю разом зі зменшенням щільності забезпечує підвищення її пористості та повітропроникності. Водночас уже до кінця вегетаційного періоду спостерігається збільшення щільності ґрунту з 1220–1320 кг/м³ у шарі 0–0,4 м до 1260–1390 кг/м³. Але ця зміна в обох випадках не перевищує 1...2% . На розпушених ділянках пористість ґрунту поступово знижуватиметься до вихідної. Спостереження показують, що з часом розпушений ґрунт ущільнюється. Найбільш помітний ефект глибокого об'ємного розпушування у перший рік і спостерігається ще один-два роки.

На підставі виконаного аналізу встановлено, що глибока обробка ущільнених ґрунтів є системним меліоративним заходом, що виконується один раз на 3-4 роки, а серед технічних засобів перевага надається об'ємним V-подібним розпушувачам. Водночас їхня конструкція потребує подальшого вдосконалення в напрямку зниження енергоємності, забезпечення меліоративних та агротехнічних вимог:

- більшої повноти розпушування на глибину кореневого шару та стійкості ходу знаряддя без додаткових опор;
- збільшення часу та тривалості ефекту розпушення ґрунтового профілю при вирощуванні високоефективних культур (цукровий буряк, кукурудза, люцерна та ін.) та безперервному підвищенні родючості чорноземів;
- високій продуктивності меліоративного агрегату в умовах фермерських господарств, низькій вартості робіт;
- недопущення суцільної «плужної підшви» при роботі меліоративного знаряддя, недопущення підйому на поверхню неродючих шарів ґрунту.

1.1. Призначення та сфера застосування об'ємного розпушувача

Об'ємне розпушування виконують за проектами, під час будівництва меліоративних систем, перед і під час проведення капітальних промивок, у процесі освоєння та експлуатації земель. Для виконання глибокого розпушування застосовують об'ємні розпушувачі пасивної дії.

Розпушувачі об'ємного типу РГ-0,5; РГ-0,8; РГ-1,2 призначені для суцільного та смугового розпушування ґрунтів. Двоступеневий об'ємний розпушувач, що відрізняється від вищезазначених наявністю другого ступеня розпушування, також може бути використаний для суцільного розпушування, крім того, використанням даного розпушувача досягається більш повне розпушування ґрунтів і зниження тягових опорів.

Усі перелічені розпушувачі відрізняються від інших типів розпушувачів конструкцією стійки, що має V-подібну форму. Стійка складається з лемеша, двох бічних ножів, розташованих у поперечних площинах під кутом 90° один до одного. Бічний ніж має раціональну геометрію з точки зору різання ґрунту (передній кут 30° , задній 3°). В основі стійки розташований леміш з кутом різання 20° і заднім кутом 5° . За конструкцією об'ємні розпушувачі РГ-0,5; РГ-0,8 однотипні, складаються з передньої рами з двома V-подібними стійками, перехідної рами та задньої V-подібної стійки між двома передніми та опорних коліс (рис. 1.1).

Залежно від глибини обробки, щільності ґрунту, наявності дернового покриву розпушування може здійснюватися трьома або двома стійками. При розпушуванні двома стійками демонтується задня стійка. У складних умовах можливе також розпушування однією задньою стійкою. Розпушувачі є навісними і монтуються на триточкову навіску, агрегатуються: РГ-0,5 – з гусеничними та колісними тракторами; РГ-0,8 – з гусеничними та колісними тракторами.

Залежно від глибини обробки, щільності ґрунту, наявності дернового покриву розпушування може здійснюватися трьома або двома стійками. При розпушуванні двома стійками демонтується задня стійка. У складних умовах можливе також розпушування однією задньою стійкою. Розпушувачі є навісними і монтуються на триточкову навіску, агрегатуються: РГ-0,5 – з гусеничними та колісними тракторами ДТ-75, Т-150К, К-701; РГ-0,8 – з гусеничними та колісними тракторами Т-130, Т-130Б, К-701.

Технічна характеристика об'ємних розпушувачів РГ-0,5, РГ-0,8 і РГ-1,2 наведена в таблиці 2. При дооснащенні РГ-0,5 і РГ-0,8 інжекторними пристроями у вигляді трубопроводу з соплами по контуру похилих стійок, розпушувачі можуть здійснювати внутрішньогрунтове внесення хіміліорантів або добрив.

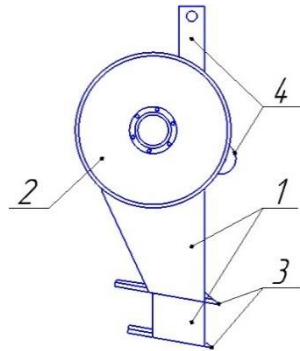


Рис. 1.1. Загальний вигляд розпушувача (збоку): 1 – бічні стійки; 2 – опорні колеса; 3 – лемеші; 4 – кронштейни.

Робота об'ємних розпушувачів здійснюється при симетричному триточковому налагодженні навісної системи, при встановленні гідросистеми в п у плаваюче положення, з опорою розпушувача на колеса. Глибину розпушування встановлюють за допомогою перестановки опорних коліс.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики глибоких об'ємних розпушувачів ґрунту

Показники	Розпушувачі		
	РГ-0,5	РГ-0,8	РГ-1,2
Тип розпушувача	Навісний		
Базовий трактор	Т-4А, ДТ-75, Т-150К, К-701	Т-130, Т-130Б, К-701	
Тип стійок	V-подібний		
Кількість стійок, шт.	1...3		1
Глибина розпушування, м	0,5	0,5...0,8	1...1,2
Ширина захвату, м	2,75	3,3	2,7
Робоча швидкість, км/год	до 10...12		
Крок установки стійок, мм	610	940	-
Продуктивність, га/год	до 15	До 2,5	0,6
Обслуговуючий персонал, осіб	1		

Вибір типу розпушувача визначається відповідно до регіональних особливостей та умов, в яких знаходиться об'єкт меліорації, та наявністю відповідної базової техніки.

Важливе значення при конструюванні об'ємних розпушувачів, поряд з їх основною метою (розпушуванням), має зниження тягового опору.

Метою роботи є розробка розпушувача, що має кращі якісні показники порівняно з показниками розпушувачів, наведених у таблиці 2.

1.2 Огляд способів і засобів об'ємного розпушування

Залежно від водно-фізичних властивостей ґрунтів, природних та виробничих умов застосовують такі способи глибокого розпушування: суцільне, смугове та смугове по квадратах.

Суцільне розпушування забезпечує розпушування певного шару ґрунту на всій площі на глибину, що залежить від типу застосовуваних розпушувачів і ґрунтів. Суцільне розпушування ґрунтів виконують так, щоб паралельні розпушені смуги перекривалися на 0,3...0,4 м. При двостійковому варіанті розпушувача (з демонтованою задньою стійкою) після проходу між двома розпушеними смугами залишається слабо розпушена смуга; наступним проходом ця смуга та суміжна з нею розпушуються.

Суцільне розпушування однією стійкою РГ-0,5 або РГ-0,8 виконують, переміщуючи агрегат паралельно розпушеній смузі. Гусениця трактора рухається по розпушеній смузі з таким розрахунком, щоб розпушені смуги перекривалися. У сухому стані ґрунту гусениця трактора, що рухається по розпушеній смузі, незначно ущільнює ґрунт і подрібнює великі грудки. При більшій вологості ґрунтів проводити суцільне розпушування таким чином не рекомендується, оскільки сильно ущільнюється розпушений ґрунт.

Смугове розпушування проводиться двома або однією стійкою розпушувача.

Чим менша відстань між розпушеними смугами, тим інтенсивніше і повніше розпушується ґрунт і тим вищий ефект від глибокого розпушування.

Відстань між окремими смугами приймається: для глинистих ґрунтів – 1,0...1,5; для важкосуглинистих – 1,5...2,0 та середньосуглинистих ґрунтів – 2...3 м.

Глибоке розпушування по квадратах (перехресне) доцільно передбачати на щільних, неокультурених або слабоокультурених ґрунтах, особливо за наявності водонепроникних прошарків, перед і після промивання засолених земель для підвищення фільтраційних властивостей ґрунтів.

При подальшому експлуатаційному розпушуванні ґрунтів на промивних ділянках, що здійснюється через 3...4 роки для поліпшення водно-фізичних властивостей ґрунтів, проводять суцільне або смугове розпушування в одному напрямку.

Параметри глибокого розпушування призначають, виходячи з будови та властивостей меліорованих ґрунтів, а також інтенсивності дренажу зрошуваних земель. Основними параметрами глибокого розпушування є глибина та повнота розпушування.

Глибину встановлюють залежно від цілей та умов залягання і потужності «плужної підшви», ущільненого підорного та водопроникного шарів. У безструктурних важких ґрунтах за наявності ущільнених шарів великої потужності, а також на засолених землях, що підлягають промиванню, розпушування доцільно виконувати на глибину 1...2 м, враховуючи, що велика глибина розпушування дає значний ефект розсолення. У зонах зі значною кількістю осінньо-зимових опадів розпушування доцільно проводити на якомога більшу глибину для створення акумулюючої ємності – 0,8...1,2 м. Ущільнені малопотужні звичайні чорноземи рекомендується розпушувати на глибину 0,5...0,8 м.

Повнота розпушування характеризується коефіцієнтом K_n , що показує об'єм розпушеного ґрунту по перетину проходження робочих органів розпушувача, який визначають за формулою:

$$K_n = \frac{F_p}{F_0 + F_p}, \quad (1.2)$$

де F_p – площа розпушеного перерізу; F_0 – площа нерозпушеного перерізу смуг між стійками розпушувача.

При використанні розпушувачів об'ємного типу РГ-0,5; РГ-0,8 повнота розпушування при незмінній його глибині залишається постійною і залежить тільки від відстані між смугами розпушування; при суцільному розпушуванні повнота розпушування становить 0,8. Для запобігання швидкому ущільненню ґрунту, особливо при промиванні засолених земель, достатньо застосовувати розпушування з повнотою 0,6...0,7, що забезпечує акумулюючу ємність і зберігає смугу нерозпушеного ґрунту, що покращує прохідність сільськогосподарської техніки (тобто використовувати об'ємні розпушувачі у двостійковому та одностійковому варіантах).

Організація робіт з глибокого об'ємного розпушування. Перед проведенням робіт з глибокого розпушування складається календарний план заходів, заздалегідь намічаються площі для розпушування з урахуванням ґрунтових умов ділянок та сівозміни оброблених культур. Намічаються терміни виконання об'ємного розпушування, враховуючи вологість ґрунту, терміни посіву сільськогосподарських культур та промивок земель.

Оптимальним терміном об'ємного розпушування є осінь (до настання тривалих дощів), у цьому випадку розпушений ґрунт інтенсивно акумулює осінньо-зимові та весняні опади (від 500 до 1000 м³/га), зменшується глибина промерзання ґрунту, прискорюється його відтавання.

Для продовження сезону робіт і кращого використання сільськогосподарської техніки глибоке розпушування на вільних від посівів площах можна проводити і пізньою осінню, з настанням заморозків, поки товщина промерзлого шару не перевищує 0,1 м. Наявність мерзлої кірки знижує ущільнювальну дію на ґрунт рухомого трактора. Бруски мерзлого ґрунту взимку сприяють затримці снігу та накопиченню вологи, а навесні вони розпадаються на дрібні грудки. Глибоке розпушування можна проводити і навесні під трави, зернові та просапні культури, за умови подачі поливу, що

стимулює сходи, оскільки після розпушування відбувається перерозподіл вологи по горизонтах.

За даними ННЦ «ІМЕСГ» оптимальна вологість ґрунтів за масою, для проведення робіт з об'ємного розпушування на всю глибину обробки, становить 20...22%. При великій вологості виникає небезпека швидкого повторного ущільнення. Крім того, процес розпушування ускладнюється через погіршення зчеплення ходового обладнання трактора. При великій вологості ґрунту зменшується інтенсивність розпушування і на поверхні землі утворюються великі грудки. В експлуатаційний період проведення глибокого розпушування при сильному висушуванні вологість ґрунту становить менше 60%.

Перед початком глибокого розпушування визначають особливості та меліоративний стан території та порядок проведення робіт. При цьому встановлюють:

- наявність дренажних систем (тип та інтенсивність дренажу), їхнє розташування в плані, глибину закладення закритих дренів;
- характер рельєфу;
- наявність твердих порід, що виступають вище робочої глибини;
- наявність водонепроникних прошарків, їх потужність і глибина залягання;
- на засолених землях – тип і ступінь засолення ґрунтів;
- наявність підземних комунікацій;
- уточнюється повторність глибокого розпушування при меліорації даних ділянок.

На підставі отриманих даних встановлюють контури площ, що підлягають глибокому розпушуванню, намічають параметри. Перед початком робіт з глибокого розпушування ґрунтів призначають відповідального працівника (агронома або меліоратора), який безпосередньо керує цими роботами.

За наявності осушувальної мережі напрямки розпушування обирають залежно від типу дренажу. Не можна допускати тупикових борозен розпушування, по яких ґрунтова вода має скидатися в канал або закриті дрени.

При виконанні робіт на сильно ущільнених ґрунтах, в якості підготовчих операцій, виконують дискування або оранку, для зменшення тягових зусиль при глибокому розпушуванні ґрунту.

У всіх варіантах передбачається, що дискування та планування виконуються у два проходи. Технологія підготовчих та заключних операцій приймається звичайною для агротехнічних робіт. У складних меліоративних умовах, що не дозволяють за один прийом розпушувати на потрібну глибину, проводять розпушування у два прийоми – спочатку на глибину, можливу за тяговими зусиллями трактора (0,5...0,6 м), потім поперек на проектну глибину.

1.3. Двоступеневий об'ємний розпушувач

Метою запропонованого нового технічного рішення «Двоступеневий розпушувач» є підвищення повноти розпушування ґрунту та зниження тягового опору.

На відміну від V-подібних розпушувачів, новий розпушувач має дві (аналогічні) ступені загальною глибиною 0,5 м, глибина нижньої ступені дорівнює 0,18 м, а ширина $B_{\text{розпушувач}} = 1,0$ м.

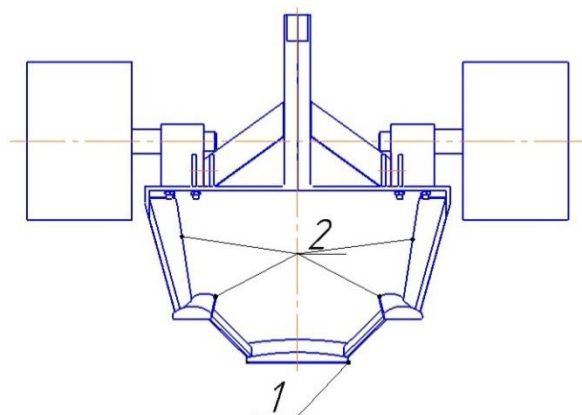


Рис. 1.3. Двоступеневий меліоративний розпушувач об'ємного типу: 1 – долото (леміш); 2 – бічні ножі.

Новий двоступеневий об'ємний розпушувач призначений для глибокого (до 0,5 м) розпушування важких мінеральних ґрунтів у процесі комплексної реконструкції та експлуатації земель.

Двоступеневий розпушувач важких ґрунтів агрегується з тракторами класу 3 т, виготовляється як зварна металоконструкція з прокатної сталі та складається з таких основних вузлів (рис. 3): рами з одним зубом (дві ступені) та опорних коліс. Основна відмінність розпушувача – конструкція зуба, який виконаний у V-подібній формі (з двома ступенями) і складається з долота (лемеша) та бічних ножів. Кожен ніж має раціональну геометрію з у з точки зору різання ґрунту, тобто передній кут 25° , у основі долота розташоване з кутом різання 30° .

Технічна характеристика

Базовий трактор	- ДТ-75
Тип зубів	-
Кількість	- 1...3
Глибина розпушування, м	- до 0,5
Ширина захвату, мм	- 1000...2000
Продуктивність, га/год	- 0,4
Обслуговуючий персонал, осіб	- 1

1.4 Розробка конструкції об'ємного розпушувача з урахуванням морфологічної карти для важких ґрунтів

Для комплексного вирішення поставлених проблем поліпшення параметрів ущільненого ґрунтового профілю складено морфологічну карту для розробки технології глибокого меліоративного розпушування та конструкції розпушувачів об'ємного типу, що забезпечують створення сприятливих водно-повітряного та водно-сольового режимів ґрунтів. Необхідними передумовами є: з'ясування умов ґрунтового-кліматичних, гідротехнічних сільськогосподарських меліорацій у різних зонах Московської області, умов технічного забезпечення

виконання меліоративних робіт та умов меліоративно-будівельного виробництва. При цьому виділено необхідні та достатні передумови функціонування технологічного процесу.

Загалом морфологічна карта являє собою впорядкування етапів робіт щодо вибору конструкцій меліоративних розпушувачів та технології їх роботи. Вона дозволяє планувати дисертаційну роботу в цілому. У контурі природних і кліматичних умов виділено основні характеристики щодо опадів, температури, поверхневого стоку, а також щодо ґрунтів з характеристикою гранулометричного складу, наявності залізистих сполук у вигляді латеритів та засоленості. Загалом зроблено оцінку, що в основному ґрунти потенційно родючі і за допомогою різних видів меліорації можуть бути використані для виробництва сільськогосподарської продукції.

Складено основні умови, що забезпечують проведення меліоративних робіт на цих ґрунтах. Тут виділено необхідні та достатні умови, до них належать створення сприятливих водно-повітряного та водно-сольового режимів підґрунтя при збереженні природної родючості. Водночас необхідно враховувати наявність дрібних контурів полів та необхідність створення відкритої дренажної мережі там, де це дозволяють ґрунтово-кліматичні ресурси. Як достатні умови висувуються: розпушення ґрунтових горизонтів, створення акумулюючої ємності для опадів та забезпечення промивного режиму засолених ґрунтів. Все це має забезпечувати також аерацію ґрунтового профілю.

Серед основних умов технічного забезпечення виробництва меліоративних робіт виділяються: наявність дренажу, проведення агро меліоративних заходів, організація поверхневого стоку, наявність добрив, меліорантів, а також культур – освоєників.

Достатньою умовою, в даному випадку, є розробка та застосування об'ємного способу глибокого меліоративного розпушування з внутрішньоґрунтовим внесенням різних меліорантів та добрив.

Умови матеріально-будівельного виробництва передбачають наявність базових тракторів з невисоким питомим тиском на ґрунт (найбільш ефективним є застосування гусеничних тракторів на поверхнево зволжених ґрунтах), об'ємних розпушувачів декількох видів з різною глибиною ходу від 0,4 до 1,2 м для забезпечення виконання робіт. Техніка, що використовується для меліоративних робіт, повинна забезпечувати вимоги охорони природи та не створювати вторинних ущільнень ґрунту.

З аналізу морфологічної карти впливають мета роботи та наступні основні завдання і напрямки досліджень:

1. За допомогою аналізу сучасного стану оброблюваних ґрунтів меліоративного фонду України, на основі теоретичних, лабораторних та дослідних робіт створити ефективні технологічні процеси розпушування ґрунтового профілю на глибину до 1,2 м на засолених ґрунтах і глибину 0,5...0,8 м на перезволжених ґрунтах за наявності різного роду ущільнень. При цьому використовується комплекс технологічних прийомів, що включають у себе глибоке меліоративне розпушування, внесення різного роду меліорантів, добрив та використання культур – освоєників з глибокою кореневою системою. Це дозволяє забезпечувати тривале функціонування новоствореного профілю та створити нову структуру ґрунту.

2. На підставі виконаного аналізу лабораторних практичних робіт необхідно встановити раціональні способи деструкції складу ґрунтових горизонтів, забезпечуючи при цьому природну родючість ґрунтового профілю.

3. Використовуючи принцип математичного моделювання, а також результати теоретичних та експериментальних досліджень, необхідно розробити математичні моделі технологічного процесу розпушування ґрунтів, що дозволять обрати оптимальні параметри в процесі розпушування та забезпечити необхідні характеристики ґрунтів у результаті деструкції різних ущільнень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОЗПУШУВАННЯ

Рух ґрунтових частинок вивчався на ґрунтовому лотку, рух у вигляді потоку частинок формується під рухом робочого органу, що підтверджується лабораторними дослідженнями. У ґрунтовому каналі під час руху знаряддя в ґрунті з пофарбованими шарами видно, що шари деформувалися, утворився потік ґрунтових частинок попереду робочого органу (рис. 2.1).

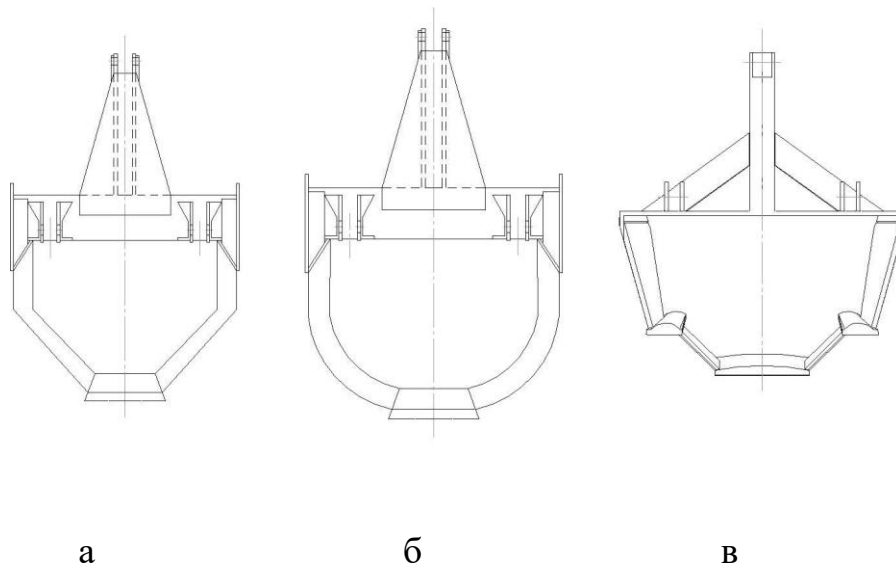


Рис. 2.1. Профілі розпушувача ґрунту: а – V-подібний; б – U-подібний; в – W-подібний.

Швидкість ґрунтових частинок має три вектори:

- горизонтальна швидкість разом із розпушувачем;
- деформаційна швидкість;
- обертальна швидкість.

Щоб показати це, виділимо паралелепіпед ґрунту з осями dx , dy , dz .

Точка А має швидкості V_A (V_x , V_y , V_z) точка К – V_K (V_{Kx} V_{Ky} V_{Kz})
або:

$$V_K = V_A + dV$$

$$V_{Kx} = f(x+dx, y+dy, z+dz)$$

$$V_{Ky} = f(x+dx, y+dy, z+dz)$$

$$V_{Kz} = f(x+dx, y+dy, z+dz)$$

У процесі розпушування, коли робочий орган і ґрунт знаходяться в контакті, формується потік Q ґрунтових частинок. Величина цього потоку дорівнює:

$$Q = \frac{dW}{dt}, \quad (2.1)$$

де W – об'єм ґрунту, що розпушується; t – час.

Встановлено, що додаткове розпушування ґрунту відбувається під час руху потоку ґрунтових частинок у просторі між вхідним і вихідним перерізами об'ємного розпушувача. Це пояснюється тим, що за одиницю часу через перерізи проходить одна й та сама масова витрата ґрунту.

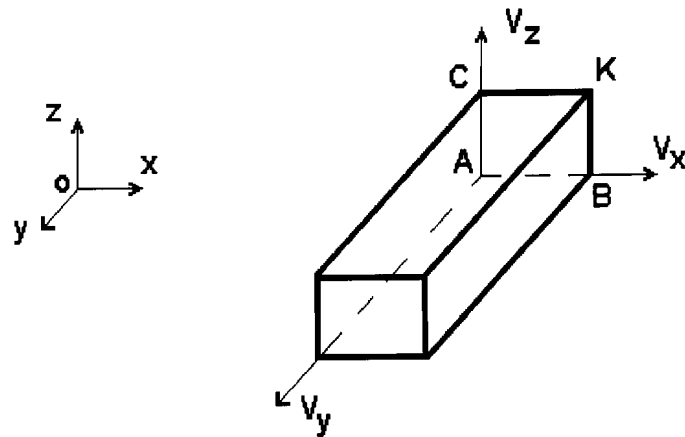


Рис. 2.2. Ґрунтовий паралелепіпед.

Під час руху ґрунту між стійками відбувається додаткова зміна щільності, і при $\Delta\rho > 0$ маємо розпушення ґрунту. Цю умову можна також записати у вигляді диференціального рівняння кінематики частинок ґрунту:

$$D_{ivV} = (1/\rho)V \operatorname{grad} \rho, \quad (2.2)$$

де d_{ivV} – дивергент швидкості частинок ґрунту між вхідним і вихідним перерізами об'ємного розпушувача. Звідси випливає, що:

- 1) чим більша швидкість частинок у потоці, тим більший дивергент, тим більші нормальні напруження та деформації ґрунту;
- 2) градієнт щільності також впливає на дивергент і нормальні напруження в ґрунті;

3) з рівняння масової витрати $Q_m = \frac{dm}{dt} = -\rho \cdot W \cdot \operatorname{div} V$ випливає, що дивергент швидкості впливає прямо пропорційно на масову витрату потоку

грунтових частинок Q_m , тобто на продуктивність знаряддя в процесі розпушування (тут m – маса ґрунту, t – час, W – об'єм ґрунту).

Вибір схеми агрегування базового трактора з знаряддями для глибокої обробки ущільнених чорноземних ґрунтів багато в чому визначають сили, що діють на робочий орган меліоративного агрегату. Встановлено, що на знаряддя діють такі сили:

Зовнішні – сили опору розпушуванню, сили інерції ґрунту; опір знаряддя перекочуванню; сили тертя; сила тяги та інерції трактора;

Внутрішні – сила тяжіння знаряддя, сили інерції знаряддя.

Для розрахунку сили опору P об'ємного розпушувача рекомендується використовувати раціональну формулу В.П. Горячкіна у вигляді:

$$P = k F + \tau S + \varepsilon F V^2, \quad (2.3)$$

де k – питомий опір ґрунту розпушуванню; F – площа перерізу борозни розпушування; V – робоча швидкість знаряддя; ε – коефіцієнт відкидання; τ – дотичні напруження ґрунту при його русі між стійками розпушувача; S – поверхня контакту ґрунту по периметру розпушувача.

При цьому рекомендується приймати значення $\varepsilon = (1100-1200) \text{ кг/м}^3$; $k = (12-20) \text{ кН/м}^2$; $\tau = (5-10) \text{ кН/м}^2$ у межах робочих швидкостей $5,0 \dots 10,0 \text{ км/год}$.

У формулі В.П. Горячкіна додатково враховані дотичні сили, що діють по периметру внутрішньої частини об'ємного розпушувача.

Згідно з експериментальними та теоретичними даними, у балансі сил опору інерційні сили досягають 20–25 % стосовно об'ємних розпушувачів. В абсолютному значенні вони дорівнюють 1000–1500 Н при глибині ходу 0,5 м та швидкості агрегату до 10,0 км/ч. Рекомендована формула для розрахунку опору знаряддя є подальшим розвитком раціональної формули В.П. Горячкіна. Останній член цієї формули представлений у вигляді добутку маси рухомого ґрунту між стійками розпушування та сил, що діють на елемент ґрунту в даному просторі.

Продуктивність розпушувача. Продуктивність меліоративного агрегату можна обчислити (у кубічних метрах на годину) за допомогою наступної формули:

$$\Pi = \frac{W}{t} = \frac{W \cdot V_p}{l + \Delta l} = \frac{W \cdot V_p}{l + V_p \sum t}, \quad (2.4)$$

$$\Pi = \frac{l \cdot h \cdot B \cdot V_p}{l + V_p \sum t} \text{ — для випадку прямокутного перерізу борозни,}$$

де W – об'єм ґрунту, що розпушується; l – довжина ходу; V_p – робоча швидкість знаряддя; B – ширина захвату; h – глибина ходу; Δl – приріст довжини ходу як результат витрат часу на повороти та розвороти; $\sum t$ – сумарні витрати часу на ділянці Δl ; t – час.

Якщо поперечний переріз борозни розпушування відрізняється від прямокутного і має вигляд, наприклад, трапеції, тоді продуктивність Π за один цикл розраховується за формулою:

$$\Pi = \frac{l \cdot h \cdot (B + b) \cdot V_p}{2 \cdot (l + V_p \sum t)}, \quad (2.5)$$

де b – ширина лемеша.

У загальному вигляді продуктивність в умовах циклічного виконання робіт дорівнює:

$$\Pi = \frac{1}{t_{\text{ц}}} \int_0^{t_p} V_p dt \quad (2.6)$$

де $t_{\text{ц}}$ – цикловий час.

Крім того, продуктивність розпушувача можна розрахувати за формулою, запропонованою В.С. Казаковим:

$$M(\Pi) = \frac{k_m \cdot L \cdot M(v) \cdot B}{L + M(v) \cdot M(t_n)} M(T), \quad (2.7)$$

де $M(\Pi)$ – математичне очікування продуктивності розпушування; L – довжина ходу; B – ширина захвату; $M(v)$ – математичне очікування робочої швидкості розпушування; $M(t_n)$ – математичне очікування непродуктивних витрат часу на один прохід (час на розвороти тощо); $M(T)$ – математичне очікування завантаження розпушувача протягом року; k_m – коефіцієнт використання змінного часу.

У даній формулі параметри, що характеризують режим роботи розпушувача, мають випадковий характер, тому підставляти треба математичне очікування їх величин.

Для орієнтовних розрахунків продуктивності розпушувача залежно від робочої швидкості та ширини захвату можна користуватися номограмою.

При розпушуванні середньоущільнених ґрунтів за допомогою РГ-0,8, в агрегаті з гусеничними тракторами класу 60...100 кН можна розпушувач на глибину до 0,6 м и трьома стійками, на глибину 0,6...0,7 м – двома. Тягові опори розпушувача РГ-0,8 на важкому суглинку дорівнюють: при глибині 0,6 м опір однієї стійки робочого органу 27...30 кН, а при глибині розпушування 0,8 м – 45...55 кН. При двох робочих органах опір розпушувача подвоюється. При глибині 0,6 м тяговий опір розпушувача з трьома стійками становить 60...80 кН.

Тяговий опір розпушувача РГ – 1,2 дорівнює; при глибині ходу 0,8 м – 50...60 кН, при глибині 1...1,2 м – 80...120 кН.

Розрахунок необхідної потужності трактора при розпушуванні на глибину 0,5...0,8 м залежно від ширини захвату знаряддя проводять за номограмою, що наведена.

Залежно від природних та господарських умов розпушений ґрунт ущільнюється з різною інтенсивністю. Тривалість об'ємного розпушування становить 3...4 роки. При цьому значення коефіцієнта розпушування змінюється за такою залежністю: $k_p = \frac{k_p^0}{t^\beta}$, де k_p – поточне значення коефіцієнта розпушування, k_p^0 – значення коефіцієнта розпушування після обробки ґрунту, рівне 1,2...1,3; t – час, β – коефіцієнт пропорційності, рівний 0,4...0,45.

РОЗДІЛ 3

КІНЕМАТИКА ТА ВИДИ РУХУ ҐРУНТОВИХ ЧАСТИНОК ПРИ ГЛИБОКІЙ ОБРОБЦІ УЩІЛЬНЕНИХ ЧОРНОЗЕМІВ

Рух ґрунтових частинок (виділених обсягів) вивчався в гідравлічному та ґрунтовому потоках, рух у вигляді потоку частинок формується під дією робочого органу, що підтверджується лабораторними дослідженнями. У ґрунтовому каналі під час руху знаряддя в середовищі піску з пофарбованими шарами видно, що шари деформувалися, утворивши потік ґрунтових частинок попереду робочого органу.

Швидкість ґрунтових частинок (виділених об'ємів) має три вектори:

- горизонтальна швидкість разом з розпушувачем;
- деформаційна швидкість;
- обертальна швидкість.

Щоб показати це, виділимо паралелепіпед ґрунту з осями dx , dy , dz .

Точка А має швидкості $V_A (V_x, V_y, V_z)$; точка К- $V_K (V_{Kx}, V_{Ky}, V_{Kz})$

$$\text{або } \overline{V_K} = \overline{V_A} + d\overline{V}.$$

$$V_{Kx} = f(x+dx, y+dy, z+dz);$$

$$V_{Ky} = f(x+dx, y+dy, z+dz);$$

$$V_{Kz} = f(x+dx, y+dy, z+dz);$$

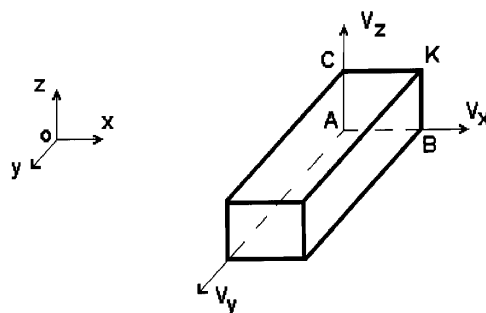


Рис. 3.1. Ґрунтовий паралелепіпед.

Після розкладу рівнянь у ряд Тейлора маємо

$$\Theta_y = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\alpha - d\beta}{2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial x} \right)$$

$$\Theta_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial z} \right); \Theta_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)$$

сума відповідних діагональних елементів блокових матриць [J].

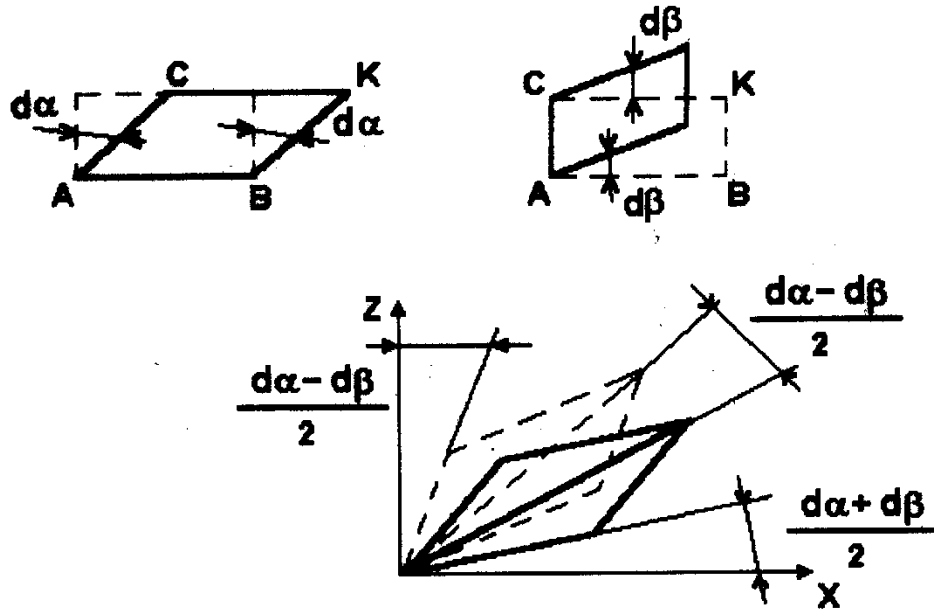


Рис. 3.2. Деформації граней паралелепіпеда

Кутові швидкості обертання з матриці [J]

$$\omega_y = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\alpha - d\beta}{2} \right) = \left(\frac{\partial V_x}{\partial z} - \frac{\partial V_z}{\partial x} \right) = \frac{1}{2} \text{rot}_y \bar{V};$$

$$\omega_x = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_z}{\partial y} - \frac{\partial V_y}{\partial z} \right) = \frac{1}{2} \text{rot}_x \bar{V};$$

$$\omega_z = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \right) = \frac{1}{2} \text{rot}_z \bar{V}.$$

У цих формулах $\text{rot } V$ – вектор швидкості V .

Наведені рівняння характеризують параметри поля швидкостей ґрунтових частинок у процесі обробки. Результат кінематичних досліджень швидкості різних точок можна зобразити так, як показано на рис. 3.3.

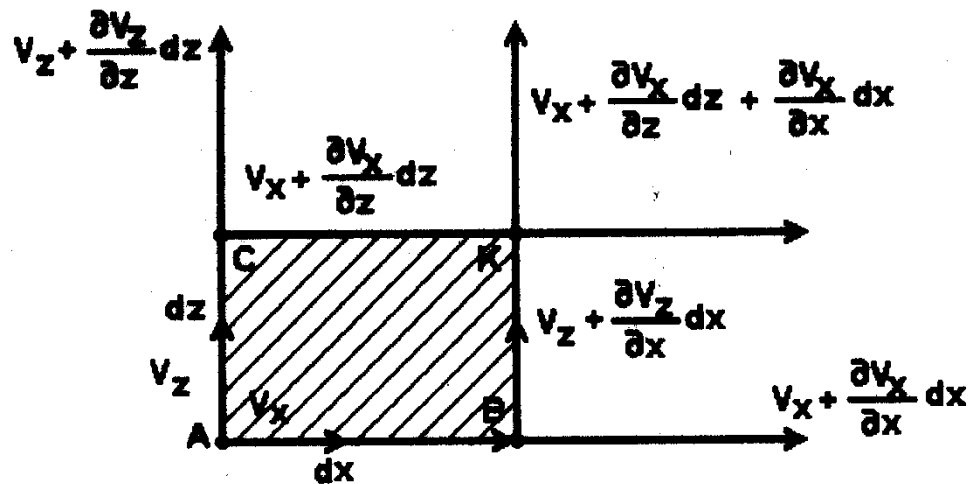


Рис. 3.4. Швидкості ґрунтових частинок

Згідно з малюнком, кожна точка цього паралелепіпеда має свою власну швидкість. Найбільші швидкості частинок спостерігаються біля поверхні ґрунту, у верхній частині профілю.

Види руху ґрунтових частинок. Виконано групування видів руху частинок ґрунту в потоці під час розпушування. Згідно з наведеним групуванням, частинки ґрунту під час розпушування можуть мати вихровий, гвинтовий та циркуляційний рух. Потік ґрунтових частинок може бути розривним, коли дивергенція швидкостей частинок не дорівнює нулю, а також потенційним, коли дивергенція і ротор швидкості дорівнюють нулю. При цьому циркуляція Γ_{ABCD} по якому-небудь контуру ABCD дорівнює нулю, тобто

$$\Gamma_{ABCD} = \oint \text{rot } V \, ds = 0,$$

де S – орієнтована площадка. При потенційному русі існує потенціал швидкості $U(x,y)$ і при цьому розпушуванні (ω - кутова швидкість частинок; V_τ – дотична швидкість)

$$\frac{\partial U(x,y)}{\partial x} = V_x; \quad \frac{\partial U(x,y)}{\partial y} = -V_y,$$

або $V = \text{grad } U$, тобто існують лінії рівних швидкостей ґрунту, які рухаються з однаковою швидкістю і при цьому не відбувається їх відносного руху, а, отже, дотичні напруження в цьому елементі ґрунту дорівнюють нулю.

Такий рух можливий при роботі на перезволожених ґрунтах при «зливній стружці», але при її сходженні з розпушувача почнеться обвалення ґрунту і ротор потоку ґрунтових частинок буде відмінним від нуля. При розробці розпушувача необхідно прагнути до того, щоб рух ґрунтових частинок у потоці був вихровим (об'ємне розпушування). При цьому ротор потоку і дивергенція швидкості не повинні дорівнювати нулю, отже, дотичні та нормальні напруження не будуть дорівнювати нулю, що сприятиме розпушуванню ґрунту.

Рівняння ліній струму знаходить за допомогою векторного добутку:

- лінійної швидкості частинки $\vec{V}$ на кутову швидкість її обертання $\vec{\omega}$, тобто—

$$\vec{V} \times \vec{\omega} = 0, \text{ або } (-\omega_y V_x + \omega_x V_y) = 0 - \text{гвинтовий рух};$$

- лінійної швидкості $\vec{V}$ на переміщення частинок dx, dy , тобто

$$(-V_y dx + V_x dy) = 0 - \text{циркуляційний рух};$$

- кутової швидкості $\vec{\omega}$ на переміщення dx, dy , тобто

$$(-\omega_y dx + \omega_x dy) = 0 - \text{вихровий рух}.$$

При цьому циркуляція Γ_{ABCD} є

$$\Gamma_{ABCD} = \oint (-V_y dx + V_x dy), \text{ т.е.}$$

інтегрується рівняння відповідної лінії струму.

Виконаний аналіз видів руху дозволяє цілеспрямовано змінювати потоки ґрунтових частинок, надаючи їм той чи інший вид руху, а отже, створювати дотичні та нормальні напруження з метою посилення або зменшення деформації та руйнування частинок.

РОЗДІЛ 4

СТАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Вихідною умовою для розрахунку меліоративного розпушувача на стійкість є: коефіцієнт запасу стійкості при максимальному вильоті робочого органу та встановленні трактора на горизонтальній площадці з твердим покриттям повинен бути не менше 1,4.

Розрахункові схеми представлені на рис. 4.1, рис. 4.2.

Коефіцієнт стійкості визначається як:

$$K_{cm} = \frac{M_{восст}}{M_{опр}}, \quad (4.1)$$

де $M_{восст}$ – сума відновних моментів, $H \cdot m$;

$M_{опр}$ – сума перекидальних моментів, $H \cdot m$.

Сума відновлюючих моментів:

$$M_{восст} = G_{тр} \cdot L_{тр} + G_{нр} \cdot L_{нр}, \quad (4.2)$$

де $G_{тр}$ – маса трактора, $кг$; $G_{тр} = 6540$ $кг$;

$G_{нр}$ – маса насосної станції, $кг$; $G_{нр} = 670$ $кг$;

$L_{тр}$ – відстань від ц. т. трактора до лінії перекидання, $мм$; $L_{тр} = 1200$ $мм$;

$L_{нр}$ – відстань від центру ваги розпушувача до лінії перекидання, $L_{нр} = 800$ $мм$.

Підставляючи дані у формулу, отримуємо:

$$M_{восст} = 6540 \times 9,81 \times 1,2 + 670 \times 9,81 \times 0,8 = 76988,88 + 5258,16 = 82247 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Сума перекидальних моментів:

$$M_{опр} = G_{нр} \times L_{нр} = 670 \times 9,81 \times 0,8 = 5258 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.3)$$

де $G_{нр}$ – маса розпушувача, $кг$; $G_{нр} = 670$ $кг$;

$L_{нр}$ – відстань від ц. т. стріли до лінії перекидання, $мм$;

$L_{нр} = 800$ $мм$;

Використовуючи формулу для визначення коефіцієнта стійкості, отримуємо:

$$K_{cm} = \frac{M_{восст}}{M_{опр}} = \frac{82247}{5258} = 15,6.$$

Коефіцієнт запасу стійкості $15,6 > 1,4$, отже, машина є абсолютно стійкою.

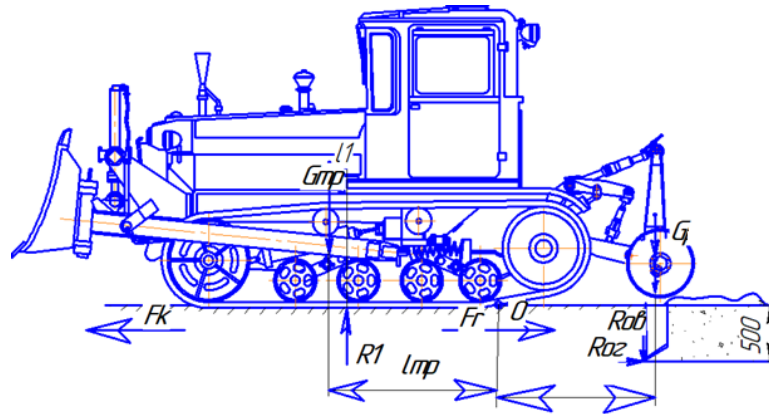


Рис. 4.1. Розрахунок стабільності прямолінійного руху (горизонтальної стійкості).

Горизонтальну стійкість оцінюють коефіцієнтом запасу горизонтальної стійкості:

$$K_{y.z} = \frac{M_{уд}}{M_{пов}} \geq 2 - 3, \quad (4.4)$$

де $M_{уд}$ – сумарний утримуючий момент, $Нм$;

$M_{пов}$ – сумарний момент повороту, $Нм$.

Сумарний момент повороту дорівнює:

$$M_{пов} = R_{\delta} \cdot L_{mp} - R_1 \cdot L_2, \quad (4.5)$$

де $R_{\delta} = F_{po}$ – опір переміщенню робочого органу;

$$R_{\delta} = 3500 \text{ Н};$$

L_{mp} – відстань від точки прикладання сили R_{δ} до центральної осі трактора;

$$L_{тр} = 2,0 \text{ м};$$

$R_1 = F_{рез}$ – сила різання;

$$R_e = 4500 \text{ Н};$$

$L_{рих}$ – відстань від точки прикладання сили R_e до осі задніх коліс трактора; $L_{рих} = 1,20 \text{ м}$.

Підставляючи дані у формулу, отримуємо:

$$M_{пов} = 3500 \times 2,0 - 4500 \times 1,2 = 1600 \text{ Нм}.$$

Сумарний утримуючий момент дорівнює:

$$M_{уд} = R_1 \cdot k_{cu} \cdot l_{\delta}, \quad (4.6)$$

де R_1 – реакція ґрунту на гусениці трактора;

$k_{сц}$ – коефіцієнт зчеплення гусениці з ґрунтом; $k_{сц} = 0,85–1,0$;

$l_6 = 2,510$ м – база трактора.

Знайдемо R_2 з рівняння:

$$R_2 = G_{тр} + G_{рпх} + R_1 - (G_{тр} \cdot l_1 + G_{рпх} \times l_2 + F_r \times l_2 - F_6 \cdot z1) / l_6 \quad (4.7)$$

де $G_{рпх}$ – сумарна вага робочого обладнання ;

l_1 – відстань від центру ваги до осі z ; $l_1 = 2,1$ м;

l_2 – відстань від точки прикладання сили R_r до осі z ; $l_2 = 0,8$ м;

$z1$ – відстань від точки прикладання сили R_6 до осі x ; $z1 = 1$ м.

$$R_2 = 64157,4 + 6572,7 + 4500 - (64157,4 \times 2,1 + 6572,7 \times 0,8 + 4500 \times 0,8 - 3500 \times 1) / 2,51 = 19458 \text{ Н}$$

$$R_2 = 19458 \text{ Н.}$$

Таким чином $M_{уд} = 19458 \times 0,85 \times 2,51 = 41513,6$ Нм.

Використовуючи формулу для визначення коефіцієнта горизонтальної стійкості, отримуємо: $K_{yz} = 41513,6 / 1600 = 25,9$

Розрахунок показав, що машина має достатню горизонтальну стійкість, оскільки $25,9 > 3$.

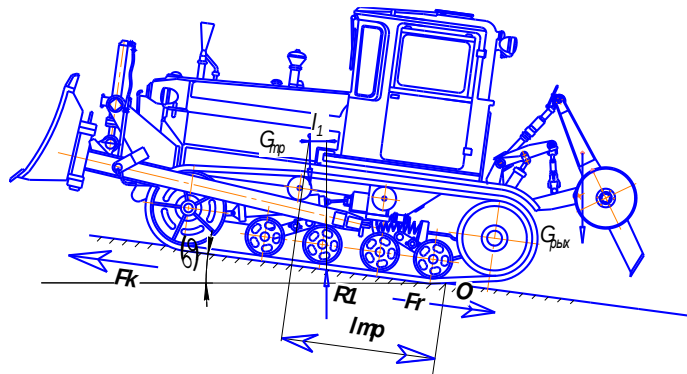


Рис. 4.2. Схема діючих сил для розрахунку стійкості машин із симетричним заднім навішуванням робочих органів у вертикальній поздовжній площині (у транспортному положенні).

Визначимо суму моментів сил тяжіння базової машини та навісного обладнання:

$$\sum M_y = G_T l_{mp} = 63765 \times 1,2 = 76518 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.8)$$

$$\sum M_z = G_T l_{mp} - G_{рпх} \times l_{рпх} = 63765 \times 1,2 - 6572,7 \times 0,8 = 55956,24 \text{ Н} \times \text{м} \quad (4.9)$$

Координати центру тиску для машин із задньою навіскою визначаються за такою формулою:

$$\gamma_D = \frac{\sum M_X \pm \sum R_{g//} \gamma_0 + \sum R_r z_0 + R_{oz}(H_k - z_{30}) - R_{OB} \gamma_{OB}}{G_r + G_{HO} \pm \sum R_{B//} + R_{OB}} = =$$

$$\frac{-17111,3 + 29554 \times 1,9 + 28148,6 \times 1,2 + 3750,21 - 112,5 \times 4,64}{16110 + 7249,5 + 29554,2 + 115,5} = \frac{5310}{53026} = 0,1 \quad (4.10)$$

$$x_D = \frac{\sum M_Y}{G_r + G_{HO} \pm \sum R_{B//} + R_{OB}} = \frac{76518}{70337,7} = 1,08$$

$$R_i = G_r + G_{HO} \pm \sum R_{B//} + R_{OB} = 53026 \text{ Н}. \quad (4.11)$$

R_i – вертикальна складова сумарної реакції ґрунту.

R_r – реакція ґрунту.

$$R_r = R_i \frac{e_B + x_D}{x_{\delta}} \quad (4.12)$$

e_B – ширина полів.

Середній, максимальний і мінімальний питомий тиск.

$$P_{cp} = \frac{R_i}{2e_r l_{\delta}} = \frac{53026}{2 \times 400 \times 2510} = 0,026 \text{ МПа} \quad (4.13)$$

e_r – ширина гусениці = 400 мм.

l_{δ} – довжина опорної поверхні гусениці = 2510 мм.

$$P_{\max} = P_{cp} \times (1 + 6 \times l_1) / l_{\delta} = 0,026 \times (1 + 6 \times 0,2) / 2,51 = 0,023 \text{ МПа} \quad (4.14)$$

$$P_{\min} = P_{cp} \times (1 - 6 \times l_1) / l_{\delta} = 0,026 \times (1 - 6 \times 0,2) / 2,51 = 0,0021 \text{ МПа} \quad (4.15)$$

Прохідність машини на мінеральних ґрунтах буде забезпечена, якщо:

$$\frac{\gamma_{\delta}}{l_{\delta}} \leq 0,2 \quad (4.16)$$

На неосушених торфовищах.

$$\frac{P_{\max}}{P_{cp}^3} \quad (4.17)$$

Висновок. Проектована машина має достатню прохідність і відповідає даним умовам. Для машин з глибокорильником робочими органами поперечну стійкість у робочому положенні можна вважати достатньою.

Для машин перевіряють стійкість у транспортному положенні, а також на поздовжньому ухилі в момент рушання з місця з умови перекидання. Для цього випадку знаходять граничний ухил поздовжнього ухилу $\alpha_p^{//}$ з умови

$$M_{уст} = K_y \times M_{опр.} \quad (4.18)$$

K_y – коефіцієнт стійкості = 1,4 – 1,5.

$$a_{\gamma}^{np} = \arctg \frac{G(\frac{l_{\delta}}{2} \pm \gamma_T)/K_y - G_{pez}(\gamma_{pez} - \frac{l_{\delta}}{2}) - G_P(\gamma_P - \frac{l_{\delta}}{2})}{G_T Z_T + G_{pez} Z_{pez} + G_{HP} Z_{HP} + G_P Z_P} - \frac{G_{PO}(\gamma_{PO} - \frac{l_{\delta}}{2}) - F_u Z_T - F_B Z_B}{G_{PO} Z_{PO}} \quad (4.19)$$

$$F_u = \frac{G}{g} \times \frac{V_k}{t_p} = \frac{23359}{9.8} \times \frac{0.036}{3} = 28.6 \quad (4.20)$$

$$G = 16110 + 7249.5 = 23359.5$$

G – вага машини; V_k – швидкість машини; $t_p = 3$ – час розгону.

$$S_e = b_{\delta}' \times h_{\delta} = 4,05 \quad (4.21)$$

b_{δ}' – ширина базової машини = 1,740 м

h_{δ} – висота базової машини = 2,335 м

F_e – сила вітру p_e – тиск вітру = 245 Па

$$F_e = p_e \times S_e = 245 \times 4,05 = 992,23 \text{ Н} \quad (4.22)$$

$$a_{\gamma}^{np} = \arctg \frac{12921,3 - 3,8664 - 488,796 - 5429,07 - 20,9 - 4103,8}{11776,4 + 132,825 + 818,3 + 845 + 4510,8} = 0,1583$$

$$a_y^{np} = 9^0$$

Висновок: кут граничного нахилу a_y знаходиться в межах $5 - 10^0$, що є нормальним для більшості меліоративних машин.

РОЗДІЛ 5

ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК

Під час руху базового трактора з розпушувачем виникає загальний опір руху машини, Н:

$$W = W_0 \pm W_i; \quad (5.1)$$

де W_0 – основний опір руху на прямій горизонтальній ділянці шляху, що представляє суму опорів коченню гусениць, тертя в трансмісії та розпушування робочим органом, Н; W_i – додатковий опір руху на підйомі (зі знаком «мінус») або на ухилі (зі знаком «плюс»), Н.

При виконанні тягових розрахунків використано величини питомих опорів руху ω . Значення основного питомого опору руху ω_i на підйомі приймають рівним величині ухилу шляху в тисячних.

Повний опір руху базового трактора при розпушуванні дорівнює:

$$W = G_m(\omega_0^1 \pm \omega_i) + Q_n(\omega_0^{11} \pm \omega_i) \quad (5.2)$$

де G_t – власна вага трактора, Н; Q_p – вага розпушувача, Н; ω_0^1 – основний питомий опір руху трактора; ω_0^{11} – основний питомий опір руху розпушувача.

Для руху трактора з розпушувачем необхідно, щоб дотримувалися такі умови:

$$T \geq W \quad \text{та} \quad T \leq G_{сц} \phi$$

де T – сила тяги на гусеницях, що виникає в результаті роботи двигуна та взаємодії гусениць з дорогою, Н; $G_{сц}$ – зчіпна вага, тобто вага машини з розпушувачем, що припадає на гусениці, Н; ϕ – коефіцієнт зчеплення гусениць з поверхнею дороги (грунту), що дорівнює 0,3–0,6 та 0,5–0,9.

Якщо остання умова не дотримується, то виникає пробуксовка гусениць.

Для вибору базового трактора, рекомендацій щодо режимів роботи меліоративного агрегату велике значення має оцінка витрат споживаної потужності на розпушування та енергоємності цього технологічного процесу.

Витрати потужності на розпушування визначаються за формулою:

$$N_x = \frac{1}{3}(F \cdot V_{sz} \cdot \rho \cdot g \cdot h) + \left[(P_x \cdot tg \cdot \phi_l) \cdot V_{sz} \cdot h \cdot \frac{1}{3l} \right] \quad (5.3)$$

де N_x – потужність, що витрачається на розпушування; W_1 – кут внутрішнього тертя; F – площа поперечного перерізу борозни розпушування; ρ – щільність ґрунту; P_x – горизонтальна складова сили опору знаряддя; V_{sz} – горизонтальна складова швидкості частинок ґрунту; h – висота зони розпушування над поверхнею; l – довжина цієї зони; g – прискорення вільного падіння.

Витрати потужності, значною мірою, залежать від твердості ґрунту, тому порівняльні випробування об'ємного розпушувача двоступеневого та V-подібного були продовжені.

Порівняльні випробування об'ємних розпушувачів показали, що в результаті застосування нової технології досягається не тільки економія витрат потужності, але й економія витрати пального.

Існує кілька принципових схем агрегування об'ємних меліоративних розпушувачів ущільнених чорноземних ґрунтів з базовим трактором, що забезпечують стабільну роботу знаряддя. При цьому схема агрегування об'ємного розпушувача повинна забезпечити прямолінійність ходу машини та роботу розпушувача при плаваючому положенні гідронавіски трактора, щоб уникнути надмірного заглиблення знаряддя при проходженні нерівностей поля. При цьому колеса або гусениці базового трактора не повинні рухатися по розпушеному ґрунті. Схеми агрегування залежно від умов експлуатації можуть бути:

- симетричними та асиметричними;
- зсув робочого органу об'ємного розпушувача вправо з додаванням зліва інших знарядь, наприклад, дискових борін при роботі на задернованих ґрунтах;
- двокорпусне симетричне розташування робочих органів розпушувача, з можливістю зміни відстані між ними;
- трикорпусне розташування: два корпуси по фронту, а третій – за ними по осі трактора.

Найбільш прийнятними є симетричні схеми агрегування об'ємних розпушувачів, у нашому випадку використовується саме така схема. Однак, при однокорпусному виконанні агрегату, ширина захвату знаряддя може бути меншою за габарит трактора, а збільшення її додаванням другого корпусу або зміною параметрів робочого органу призводить до заклинювання машини. У цьому випадку можна рекомендувати установку розпушувачів зі зміщенням гаків навантаження, а утворений момент компенсувати за допомогою асиметричних робочих органів.

Експериментальні дослідження процесу обробки ущільнених ґрунтів показали, що розташування робочого органу відносно базового трактора може створювати підпір ґрунту знизу і поширюватися на задню частину гусениць. У свою чергу, напруження ґрунту від гусениць трактора створюють підпір у зоні розпушування, збільшуючи при цьому тяговий опір знаряддя. Зона розпушування не повинна перетинатися із зоною поширення нормальних і дотичних напружень від коліс базового трактора.

Заглиблення робочого органу в агрегаті з тракторами класу 12...30 кН відбувається швидко, під дією сил різання та при плаваючому положенні гідронавіски робочого органу. Час заглиблення на $H = 0,5$ м становить 3...5 с на довжині 2...5 м. Виглиблення робочого органу забезпечується під дією гідроциліндрів навіски. Шлях виглиблення також дуже короткий (2...3 м), що забезпечує високий коефіцієнт використання машини. Параметри робочого органу об'ємного розпушувача, його навіска, дозволяють копіювати поверхню ґрунту, зменшуючи при цьому амплітуду дна борозни (порівняно з профілем поверхні в 1,8...2,0 рази), тобто коефіцієнт передачі нерівностей $K_n = \frac{\Delta H_g}{\Delta H_n} = 0,5$. Зі збільшенням бази робочого органу, тобто відстані між точками опори на навісці трактора та поверхнею ґрунту, коефіцієнт передачі нерівностей буде ще меншим, а амплітуда дна розпушеної борозни зменшується.

Таблиця 5.1 – Параметри системи та розрахункові залежності

Визначення розрахункового масштабного коефіцієнта	Параметри системи та розрахункові залежності
Розрахунок параметрів моделі робочого обладнання:	
Кут різання (розпушування), град	$\alpha_H = \alpha_M$
Глибина розпушування, м	$\delta_H = \delta_M$
Ширина розпушувача, м	$b_H = b_M i$
Питомий опір, Н/м ²	$K_H = K_M i^{(2-n)}$
Інші лінійні розміри, м	$l_H = l_M i$
Інші кутові розміри (параметри)	$\alpha_H = \alpha_M$
Швидкість різання (розпушування), м/с	$V_H = V_M i^{-(1-0,5n)}$
Силкові фактори, Н	$F_H = F_M i^{-n}$
Потужні фактори, кВт	$N_H = N_M i^{(1,5n-1)}$
Момент, Нм	$T_H = T_M i^{(n+1)}$
Перехід від параметра моделі до параметра оригіналу: показник ступеня, що залежить від характеру подібності об'єктів ($1 < n < 3$), визначається з виразу $F_H = F_M i^{-n}$; $n=2$ – для мерзлих ґрунтів; $n=3$ – для талих ґрунтів.	Параметри оригіналу визначаються за розрахунковими формулами наближеного моделювання

Максимальні відхилення дна борозни розпушування близько 50 мм. Проведені дослідження показують, що базовий трактор є одним з основних джерел збурень, що діють на робочий орган агрегату в процесі розпушування ущільненого ґрунту. Серед цих збурень: перешкоди на шляху гусениць (нерівності), вимушені переміщення точки з у підвіски робочого органу до навіски базового трактора. Ці збурення зменшуються за допомогою демпфірування зв'язків трактора з робочим органом при використанні гідроциліндрів навіски, виборі бази робочого органу.

За результатами, отриманими в ході експериментальних досліджень, можна визначити повний опір руху базового трактора при розпушуванні, використовуючи робочу методику наближеного фізичного моделювання процесів розпушування ґрунту без зміни його властивостей (за В.І. Баловнєвим), для робочого органу (розпушувача) у натуральну величину.

За максимальними тяговими опорами для моделі переходимо до натури (проводимо перерахунок на робочий орган у натуральну величину) за формулою:

$$F_H = F_M i^{-n} \quad (5.4)$$

У нашому випадку для двоступеневого розпушувача це дорівнюватиме:

$$F_H = 270 \text{ Н} \times 3^2 = 1215 \text{ Н} - \text{для мерзлих ґрунтів (ґрунтів);}$$

$$F_H = 270 \text{ Н} \times 3^3 = 3645 \text{ Н} - \text{для талих ґрунтів (ґрунтів).}$$

Звідси повний опір руху базового трактора ДТ-75 при розпушуванні двоступеневим глибокорозпушувачем (глибина розпушування $H_p = 0,5 \text{ м}$) визначаємо за формулою:

$$W = 60500 \text{ Н} \cdot 0,3 + 3645 \text{ Н} = 26,775 \text{ кН}$$

$$T = 30 \text{ кН}$$

$$T > W \quad 30 \text{ кН} > 26,775 \text{ кН}$$

$$T < G_{\text{сц}} \varphi \quad 30 \text{ кН} < 30,7 \text{ кН}$$

Умова дотримується, пробуксовування немає, і тягові опори долаються базовим трактором з великим запасом.

РОЗДІЛ 6

АГРЕГАТУВАННЯ ОБ'ЄМНИХ МЕЛІОРАТИВНИХ РОЗПУШУВАЧІВ

Розроблено кілька принципових схем агрегування об'ємних меліоративних розпушувачів ущільнених чорноземних ґрунтів з базовим трактором, що забезпечують стійку роботу знаряддя. При цьому схема агрегування об'ємного розпушувача повинна забезпечити прямолінійність ходу машини; роботу розпушувача при плаваючому положенні гідронавіски трактора, щоб уникнути надмірного заглиблення знаряддя при проходженні нерівностей поля. При цьому колеса базового трактора не повинні рухатися по розпушеному ґрунті. Схеми агрегування залежно від умов експлуатації можуть бути:

- симетричними та асиметричними;
- зсув робочого органу об'ємного розпушувача вправо з додаванням зліва інших знарядь, наприклад, дискових борін при роботі на задернованих ґрунтах;
- двокорпусне симетричне розташування робочих органів розпушувача, можливість зміни відстані між ними;
- трикорпусне розташування: два корпуси по фронту, а третій за ними по осі трактора.

Найбільш прийнятними є симетричні схеми агрегування об'ємних розпушувачів. Однак при однокорпусному виконанні агрегату ширина захвату знаряддя може бути меншою за габарит трактора, а збільшення її додаванням другого корпусу або зміною параметрів робочого органу призводить до заклинювання машини. У цьому випадку можна рекомендувати установку розпушувачів зі зміщенням гакового навантаження, а утворений момент компенсувати за допомогою асиметричних робочих органів.

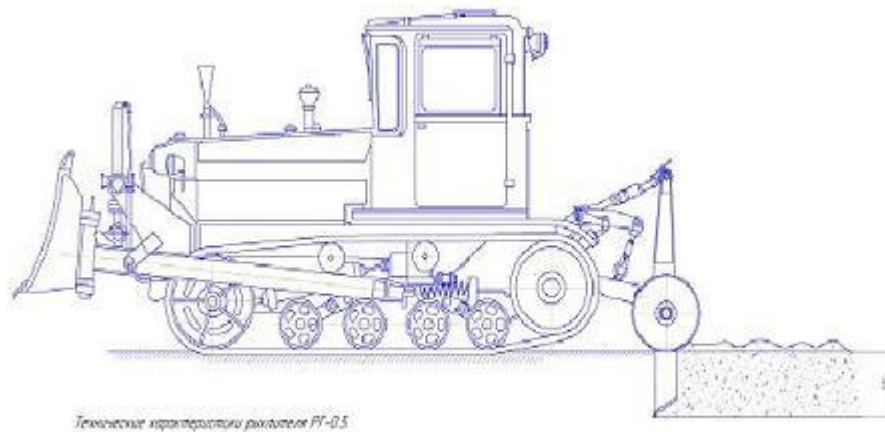


Рис. 6.1. Принципова схема агрегування.

Вибір схеми агрегування базового трактора з знаряддями для глибокої обробки ущільнених ґрунтів багато в чому визначають сили, що діють на робочий орган меліоративного агрегату. Встановлено, що на знаряддя діють такі сили:

Зовнішні - сили опору розпушуванню, сили інерції ґрунту;

- опір знаряддя перекочуванню;
- сили тертя;
- сила тяги та інерції трактора.

Внутрішні – сила тяжіння знаряддя;

- сила інерції знаряддя.

Силу опору розпушуванню можна поділити на поверхневі на межі двох тіл і масові (об'ємні) сили (сили інерції, сили тяжіння).

Для розрахунку сили опору P об'ємного розпушувача рекомендується раціональна формула В.П. Горячкіна у вигляді

$$p = kF + \tau S + \varepsilon F V_p^2, \quad (6.1)$$

де k – питомий опір ґрунту розпушуванню; F – площа перерізу борозни розпушування; V_p – робоча швидкість знаряддя; ε - коефіцієнт відкидання; τ - дотичні напруження ґрунту при його русі між стійками розпушувача; S – поверхня контакту ґрунту по периметру розпушувача.

При цьому рекомендується приймати значення $\varepsilon = (1100 - 1200) \text{ кг/м}^3$; $k=(12-20) \text{ кН/м}^2$; $\tau = (5 - 10) \text{ кН/м}^2$ в межах робочих швидкостей 5,0-10,0 км/год.

У формулі В.П. Горячкіна додатково враховані дотичні сили, що діють по периметру внутрішньої частини об'ємного розпушувача.

Згідно з експериментальними та теоретичними даними, у балансі сил опору інерційні сили досягають 20–25 % стосовно об'ємних розпушувачів. В абсолютному значенні вони дорівнюють 1000–1500 Н при глибині ходу 0,5 м та швидкості агрегату до 10,0 км/год.

Рекомендована формула для розрахунку опору знаряддя є подальшим розвитком раціональної формули В.П. Горячкіна. Останній член цієї формули представлений у вигляді добутку маси рухомого ґрунту між стійками розпушувача на його прискорення. У цих умовах велике значення набуває вивчення динаміки розпушування ґрунту при проходженні між стійками розпушувача та сил, що діють на елемент ґрунту в даному просторі.

Динаміка елемента ґрунту

На елемент ґрунту, що рухається між похилими стійками об'ємного розпушувача, діють:

- поверхневі сили нормального тиску і тертя;
- масові (об'ємні) сили інерції, сили тяжіння.

Сили тиску P_q дорівнюють:

$$\Delta P_{q1} = \sigma_x \Delta y \Delta z \quad - \text{на вході}; \quad (6.2)$$

$$\Delta P_{q2} = (\sigma_x + (\delta \sigma_x / \delta x) \Delta x) \Delta y \Delta z \quad - \text{на виході}. \quad (6.3)$$

Сили інерції P_j дорівнюють:

$$\Delta P_{jx} = \rho X \Delta y \Delta z; \Delta P_{jy} = \rho Y \Delta x \Delta y; \quad (6.4)$$

дер - щільність ґрунту; X, Y – прискорення масових сил по осях x, y.

Прискорення масових сил рекомендується визначати наступним чином.

1. Уявімо вектор швидкості $\bar{V}$ у такому вигляді

$$V = \bar{V} \exp(i\phi_v) \quad (6.5)$$

де V – модуль швидкості; ϕ_v – аргумент вектора $\bar{V}$.

2. Після диференціювання цього вектора $\bar{V}$ знаходять вектор прискорення $\bar{V}' = \frac{|V'|}{|V|} \bar{V} + ij_v' \bar{V}$

де $|V'|$ – модуль прискорення; ϕ_v – похідна аргументу вектора швидкості; i – комплексне число.

Проекції прискорень масових сил $\epsilon X = \bar{V}_x'$ – уявна частина вектора V ; $\bar{V}_y'$ – дійсна частина вектора V .

Слід мати на увазі, що елемент ґрунту між похилими стійками об'ємного розпушувача переміщується в просторі по кривій. Це відзначається стійким прискоренням ϕ_v' . При прямолінійному русі елемента ґрунту між стійками прискорення $\phi_v' = 0$, тоді вектор прискорення V' діятиме вздовж вектора швидкості V . Це відображено в раціональній формулі В.П. Горячкіна.

Інерційні ж сили при об'ємному розпушуванні, маючи на увазі обвалення ґрунту, мають велику питому вагу в балансі сил. Їх значення дозволяє цілеспрямовано конструювати знаряддя для забезпечення необхідної якості обробки ґрунту при невисокій енергоємності технологічного процесу глибокої обробки ґрунту.

Динаміка агрегату, стійкість ходу робочого органу. Аналіз показав, що як у випадку коливального, так і апериодичного ланок є статистична похибка при $p = 0$, величина якої не повинна перевищувати заданих граничних значень.

У всіх розглянутих випадках умова стійкої роботи визначається за значеннями коефіцієнтів, що входять до передавальних функцій. Автором за допомогою математичних методів досліджено умови появи коливального та апериодичного характеру руху розроблюваного агрегату. Досліджено області стійкості роботи знаряддя із застосуванням дельта-розбиття у площині одного або двох параметрів, тобто $\Delta\phi$ та ΔH , а також за розташуванням коренів характеристичного рівняння на комплексній площині з виділенням запасу стійкості в лівій півплощині.

Одним із спрощених рішень цих рівнянь може бути рівняння виду: $\Delta\phi = K_{\Delta\phi} \exp(-C_{\Delta\phi} t)$.

За допомогою цього рівняння можна досліджувати характер руху робочого органу агрегату при глибокій обробці ґрунту в функції часу. У цьому рівнянні для простоти значення коефіцієнтів $K_{\Delta\phi}$ і $C_{\Delta\phi}$ прийнято за постійні. Аналіз показав, що при додатному значенні $C_{\Delta\phi}$ і збільшенні часу t значення $\Delta\phi$ наближається до нуля.

Рух робочого органу асимптотично стійкий і найбільш прийнятний при розрахунку параметрів агрегування робочого органу. При від'ємному значенні $C_{\Delta\phi}$ і збільшенні t значення $\Delta\phi$ зростає безмежно. Цей рух робочого органу нестійкий і неприйнятний.

При $C_{\Delta\phi} = 0$ значення $\Delta\phi$ буде незмінним, рух робочого органу буде стійким, але не асимптотичним.

Необхідно зазначити, що рішення досліджуваного рівняння зі змінними коефіцієнтами. Однак, якщо ці коефіцієнти змінюються повільно (у межах 10-15%), то наведені рішення будуть мало відрізнятися від рішень рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

При зміні знака коефіцієнта $K_{\Delta\phi}$ змінюється напрямок кутової швидкості робочого органу. При $K_{\Delta\phi} = 0$ кутові переміщення робочого органу відсутні з плином часу. Експериментальні дослідження процесу обробки ущільнених ґрунтів показали, що розташування робочого органу відносно базового трактора може створювати підпір ґрунту знизу і поширюватися на задні колеса трактора. У свою чергу, напруження ґрунту від коліс трактора створюють підпір у зоні розпушування, збільшуючи при цьому тяговий опір знаряддя. Зона розпушування не повинна перетинатися із зоною поширення нормальних і дотичних напружень від коліс базового трактора.

Заглиблення робочого органу в агрегаті з тракторами класу 12 і 30 кН відбувається швидко під дією сил різання та при плаваючому положенні гідронавіски робочого органу. Час заглиблення $H=0,5$ м становить 3-5 с на

довжині 2-4 м. Виглиблення ж робочого органу забезпечується під дією гідроциліндрів навіски, що діють за командою «підйом». Шлях виглиблення також дуже короткий, 2-3 м, що забезпечує високий коефіцієнт використання машини. Параметри робочого органу об'ємного розпушувача, його навіска дозволяють копіювати поверхню ґрунту, зменшуючи при цьому амплітуду дна борозни (порівняно з профілем поверхні в 1,8–2,0 рази), тобто коефіцієнт передачі нерівностей $K_n = \frac{\Delta H_g}{\Delta H_n} = 0,5$ (рис. 6.4.). Зі збільшенням бази робочого органу, тобто відстані між точками опори на навіску трактора та поверхнею ґрунту, коефіцієнт передачі нерівностей буде ще меншим, а амплітуда дна розпушеної борозни зменшується. Збільшення бази робочого органу призводить до збільшення шляху l_3 та часу запізнення t_3 . Ці параметри пов'язані між собою залежністю $t_3 = l_3 / V_a$, де V_a – робоча швидкість агрегату.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Загальні положення

Глибокорозпушувач об'ємного типу є ґрунтообробною машиною, що працює з підвищеним тяговим навантаженням і взаємодіє з ущільненим шаром ґрунту на значній глибині. У попередніх розділах роботи обґрунтовано застосування V-подібного двоступеневого робочого органу з глибиною розпушування до 0,5 м, шириною захвату 1,0...2,0 м, агрегуванням із трактором класу 3 т та обслуговуванням одним механізатором. Особливості роботи такого агрегату визначають підвищені вимоги до організації безпечного руху, контролю технічного стану навісної системи, робочих органів, гідроприводу та зони розвороту на кінцях гону.

Метою розділу є встановлення основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час підготовки, експлуатації, технічного обслуговування та зберігання глибокорозпушувача, а також розроблення заходів, які забезпечують безпечну роботу механізатора. Розділ складено з урахуванням вимог охорони праці у сільськогосподарському виробництві, правил безпечної експлуатації тракторних агрегатів, пожежної безпеки та виробничої санітарії.

7.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час роботи агрегату небезпеку становлять рух трактора і знаряддя, дія навісної системи, самовільне опускання розпушувача, значні динамічні навантаження на раму, раптове зростання тягового опору при зустрічі робочого органу з камінням або ущільненими включеннями, а також можливість бокового зміщення агрегату на схилах.

До шкідливих чинників належать шум, вібрація, запиленість повітря, напруженість уваги механізатора, дія метеорологічних умов та тривале перебування в кабіні трактора.

Найбільш відповідальними є операції навішування розпушувача, регулювання глибини ходу, перевірка кріплення доліт і бічних ножів, очищення робочих органів, розвороти на кінцях поля та рух поблизу канав, схилів, доріг і підземних комунікацій. Під час цих операцій працівник не повинен перебувати між трактором і знаряддям або під піднятою рамою без надійних упорів.

Таблиця 7.1 – Основні небезпечні фактори та заходи їх попередження

Фактор	Можливі наслідки	Заходи безпеки
Рух агрегату, обмежена оглядовість	Наїзд, зіткнення з перешкодою	Не допускати людей у небезпечну зону; застосовувати сигнали, дзеркала, справне освітлення.
Навісна система і піднята рама	Защемлення, удар, травмування	Обслуговувати тільки після зупинки двигуна; ставити знаряддя на опори; не працювати під рамою, утримуваною лише гідросистемою.
Раптове зростання тягового опору	Ривки агрегату, пошкодження кріплень, втрата керованості	Оглядати поле; не перевищувати робочу швидкість; зупиняти агрегат при ударі або сторонньому шумі.
Шум, вібрація, пил	Перевтома, зниження уваги, подразнення органів дихання	Використовувати справну кабінку, ЗІЗ слуху і дихання у запиленій зоні, дотримуватися перерв.
Пожежонебезпечні чинники	Займання палива, мастила, рослинних решток	Очищати трактор, контролювати паливну систему, мати справний вогнегасник.

7.3. Вимоги безпеки перед початком роботи

До роботи допускається механізатор, який має відповідну кваліфікацію, пройшов інструктаж з охорони праці та знає будову трактора, навісної системи і глибокорозпушувача. Перед виїздом необхідно перевірити рульове керування, гальма, світлову і звукову сигналізацію, дзеркала, огороження, гідросистему, стан шин або гусениць, наявність аптечки, знака аварійної зупинки та вогнегасника. Особливу увагу приділяють відсутності підтікання палива і масла, справності гідравлічних рукавів та надійності фіксації пальців навіски.

Навішування розпушувача виконують на рівному майданчику. Заборонено перебувати між трактором і знаряддям під час подачі трактора назад, перевіряти збіг отворів пальцями рук, працювати з несправними шплінтами, пальцями або кронштейнами. Після агрегатування виконують

пробне піднімання та опускання знаряддя без людей у небезпечній зоні. Перед початком розпушування поле оглядають, позначають каміння, ями, канали, опори, дренажні споруди та місця можливого проходження підземних комунікацій.

7.4. Вимоги безпеки під час виконання технологічного процесу

Під час роботи механізатор повинен перебувати на штатному місці в кабіні трактора та вести агрегат плавно, без різких поворотів і ривків. Для глибокого розпушування доцільно дотримуватися робочої швидкості 5...8 км/год, оскільки при її перевищенні збільшуються інерційні навантаження, погіршується керованість і зростає імовірність пошкодження робочих органів. Розворот виконують тільки після повного піднімання знаряддя, зменшення швидкості та переконання у відсутності людей і перешкод на поворотній смузі.

Заборонено перевозити людей на рамі розпушувача або тракторі поза штатним місцем, очищати долота і ножі під час руху, підтягувати болтові з'єднання при працюючому двигуні, ставати на знаряддя для збільшення його заглиблення, рухатися заднім ходом із заглибленим робочим органом. У разі удару об перешкоду, раптового буксування, стороннього шуму або перекосу рами агрегат негайно зупиняють, двигун вимикають, знаряддя опускають на землю або на опори і лише після цього проводять огляд.

Робота поблизу схилів, каналів, ярів і дренажних споруд потребує зменшення швидкості та збільшення відстані до краю небезпечної ділянки. На вологому ґрунті або при недостатньому зчепленні рушіїв роботу необхідно припинити, оскільки буксування підвищує ризик некерованого зміщення трактора і швидкого повторного ущільнення розпушеного шару.

7.5. Розрахунок параметрів безпечної організації роботи

Для встановлення безпечних умов руху виконаємо розрахунок мінімальної ширини поворотної смуги, гальмівного шляху та орієнтовного допустимого поперечного ухилу. Вихідні дані: швидкість руху під час

розвороту $V = 8 \text{ км/год} = 2,22 \text{ м/с}$; мінімальний радіус повороту агрегату $R = 5,5 \text{ м}$; запас до межі поля або перешкоди $l_3 = 2,0 \text{ м}$; час реакції механізатора і спрацювання гальм $t_p = 1,5 \text{ с}$; коефіцієнт зчеплення на сухому польовому фоні $\phi = 0,35$; прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Мінімальну ширину поворотної смуги для петльового розвороту визначаємо за формулою:

$$E_{\min} = 3 \cdot R + l_3, \text{ м.} \quad (7.1)$$

Після підстановки прийнятих значень отримаємо:

$$E_{\min} = 3 \cdot 5,5 + 2,0 = 18,5 \text{ м.}$$

Отже, мінімальна ширина поворотної смуги має становити не менше 19 м. За наявності канав, опор, схилів або обмеженої видимості її доцільно збільшити до 20...22 м.

Гальмівний шлях агрегату з урахуванням реакції механізатора визначаємо за формулою:

$$S_{\text{зуп}} = V \cdot t_p + V^2 / (2 \cdot \phi \cdot g), \text{ м.} \quad (7.2)$$

$$S_{\text{зуп}} = 2,22 \cdot 1,5 + 2,22^2 / (2 \cdot 0,35 \cdot 9,81) = 3,33 + 0,72 = 4,05 \text{ м.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $k_3 = 1,5$ безпечна відстань попереду агрегату дорівнює:

$$S_6 = k_3 \cdot S_{\text{зуп}} = 1,5 \cdot 4,05 = 6,08 \text{ м.}$$

Отже, попереду агрегату потрібно залишати вільну зону не менше 7 м. Для сторонніх осіб приймаємо більшу небезпечну зону: не менше 10 м попереду трактора та не менше 5 м з боків і позаду знаряддя.

Орієнтовну статичну межу поперечної стійкості трактора оцінюємо за формулою:

$$\text{tg } \alpha_{\text{ст}} = b_k / (2 \cdot h_{\text{ц}}), \quad (7.3)$$

де $b_k = 1,43 \text{ м}$ – колія трактора; $h_{\text{ц}} = 1,0 \text{ м}$ – прийнята висота центра мас.

Тоді:

$$\alpha_{\text{ст}} = \text{arctg} (1,43 / (2 \cdot 1,0)) = \text{arctg} 0,715 = 35,6^\circ.$$

З урахуванням динамічних ривків, нерівностей поля та піднятого знаряддя застосовуємо коефіцієнт запасу 0,25...0,30. Практично безпечний

поперечний ухил становить близько $9...11^\circ$, тому для польової роботи приймаємо обмеження не більше $8...9^\circ$.

Таблиця 7.2 – Результати розрахунку безпечних параметрів

Показник	Позначення	Значення	Прийнята вимога
Ширина поворотної смуги	$E_{\min}$	18,5 м	не менше 19 м; у складних умовах 20...22 м
Гальмівний шлях	$S_{\text{зуп}}$	4,05 м	вільна зона попереду не менше 7 м
Небезпечна зона для сторонніх	S_6	6,08 м із запасом	10 м попереду, 5 м з боків і позаду
Безпечний поперечний ухил	α_6	$9...11^\circ$	для роботи прийняти не більше $8...9^\circ$

7.6. Технічне обслуговування, пожежна безпека та аварійні дії

Технічне обслуговування розпушувача виконують на рівному майданчику після повної зупинки агрегату, вимкнення двигуна і встановлення знаряддя на опори. Заборонено перебувати під піднятою рамою, якщо вона утримується тільки гідросистемою. Під час заміни доліт, ножів і кріплень використовують справний інструмент, рукавиці та захисні окуляри. Різальні кромки не можна перевіряти незахищеною рукою. Після сезону роботи знаряддя очищають, оглядають на тріщини і деформації, змащують шарніри, відновлюють пошкоджене покриття та зберігають на підставках у стійкому положенні.

Пожежна безпека забезпечується справністю паливної та електричної систем трактора, очищенням двигуна і вихлопної системи від пилу та сухих рослинних решток, наявністю справного вогнегасника. Заправлення виконують при заглушеному двигуні, без відкритого вогню і куріння. У разі пожежі механізатор зупиняє агрегат, вимикає двигун, повідомляє керівника робіт або службу порятунку і, якщо це безпечно, приступає до гасіння первинними засобами. У разі травмування працівника роботу негайно припиняють, забезпечують безпечне місце події, надають першу домедичну допомогу та викликають медичних працівників.

Висновки до розділу

Під час експлуатації глибокорозпушувача об'ємного типу основними небезпечними факторами є рух агрегату, дія навісної системи, підвищений тяговий опір, раптове блокування робочого органу, робота на нерівному полі, шум, вібрація, пил і пожежонебезпечні чинники. Для зменшення ризику необхідно підтримувати справний стан трактора і знаряддя, виконувати навішування лише на рівному майданчику, не допускати людей у небезпечну зону, працювати на швидкості 5...8 км/год, не розвертатися із заглибленими робочими органами та проводити обслуговування тільки після повної зупинки агрегату.

Розрахунком встановлено, що мінімальна ширина поворотної смуги повинна становити не менше 19 м, безпечна зона попереду агрегату – не менше 7 м, а для сторонніх осіб – 10 м попереду та 5 м з боків і позаду. Роботу упоперек схилу доцільно обмежувати ухилом 8...9°. Виконання наведених заходів підвищує безпеку механізатора та забезпечує надійну експлуатацію глибокорозпушувача в польових умовах.

РОЗДІЛ 8

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

8.1. Мета та вихідні положення економічного обґрунтування

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності застосування запропонованого глибокорозпушувача об'ємного типу за основними експлуатаційними та вартісними показниками. У попередніх розділах кваліфікаційної роботи обґрунтовано застосування двоступеневого V-подібного робочого органу для глибокого розпушування ущільнених ґрунтів на глибину до 0,5 м. Проєктне рішення спрямоване на підвищення повноти розпушування ґрунтового профілю, зменшення тягового опору та покращення стійкості руху агрегату.

Економічна оцінка виконана порівняльним методом: базовим варіантом прийнято роботу серійного об'ємного розпушувача з традиційним V-подібним робочим органом, а проєктним варіантом - двоступеневий глибокорозпушувач, агрегатований з трактором ДТ-75. У розрахунку враховано змінну продуктивність, витрати пального, оплату праці механізатора, амортизаційні відрахування, витрати на ремонт і технічне обслуговування. Агрономічний ефект від поліпшення водно-повітряного режиму ґрунту у вартісному вираженні не включався, тому отриманий результат можна вважати обережною оцінкою економічної ефективності.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Базовий варіант	Проєктний варіант
Базовий трактор	-	ДТ-75	ДТ-75
Робоча ширина захвату, м	B	2,0	2,0
Робоча швидкість, км/год	v	3,0	3,0
Коефіцієнт використання змінного часу	η	0,65	0,70
Тяговий опір, кН	P	30,00	26,775
Витрата палива, л/год	q	18,00	16,06
Ціна дизельного палива, грн/л	Ц _п	80,00	80,00
Тарифна ставка механізатора з нарахуваннями, грн/год	З _г	146,40	146,40
Сезонний обсяг робіт, га	F _p	250	250
Балансова вартість агрегату, грн	K	530 000	560 000

8.2. Розрахунок продуктивності агрегату

Годинну продуктивність агрегату при виконанні глибокого розпушування визначаємо за формулою:

$$W_{\Gamma} = 0,1 \cdot B \cdot v \cdot \eta, \quad (8.1)$$

де W_{Γ} – годинна продуктивність, га/год; B – робоча ширина захвату, м; v – робоча швидкість руху агрегату, км/год; η – коефіцієнт використання змінного часу, який враховує втрати часу на розвороти, заглиблення та виглиблення робочого органу, технологічні регулювання і короткочасні зупинки.

Для базового варіанта: $W_{\Gamma,б} = 0,1 \cdot 2,0 \cdot 3,0 \cdot 0,65 = 0,39$ га/год,

Для проєктного варіанта: $W_{\Gamma,п} = 0,1 \cdot 2,0 \cdot 3,0 \cdot 0,70 = 0,42$ га/год,

Збільшення коефіцієнта використання змінного часу пояснюється стійкішою роботою робочого органу, меншим шляхом заглиблення та виглиблення, а також зниженням імовірності додаткових проходів через нерівномірне розпушування. Змінний виробіток за тривалості зміни 8 год становить:

$$W_{зм} = W_{\Gamma} \cdot T_{зм}. \quad (8.2)$$

Базовий агрегат: $W_{зм,б} = 0,39 \cdot 8 = 3,12$ га/зміну; проєктний агрегат: $W_{зм,п} = 0,42 \cdot 8 = 3,36$ га/зміну.

8.3. Розрахунок енергоємності та витрат пального

Тягову потужність, необхідну для подолання опору розпушувача, визначаємо за залежністю:

$$N_{\Gamma} = P \cdot v / 3,6, \quad (8.3)$$

де N_{Γ} – тягова потужність, кВт; P – тяговий опір агрегату, кН; v – робоча швидкість руху, км/год.

Для базового варіанта: $N_{\Gamma,б} = 30,00 \cdot 3,0 / 3,6 = 25,00$ кВт, Для проєктного варіанта: $N_{\Gamma,п} = 26,775 \cdot 3,0 / 3,6 = 22,31$ кВт,

Питома енергоємність процесу розпушування визначається відношенням тягової потужності до годинної продуктивності:

$$E_{\Pi} = N_{\Gamma} / W_{\Gamma}. \quad (8.4)$$

$$E_{п,б} = 25,00 / 0,39 = 64,1 \text{ кВт} \cdot \text{год/га}; E_{п,п} = 22,31 / 0,42 = 53,1 \text{ кВт} \cdot \text{год/га},$$

Отже, питома енергоємність зменшується на 17,1 %,

Витрати пального для проєктного варіанта визначаємо пропорційно зменшенню тягової потужності:

$$q_{п} = q_{б} \cdot N_{т,п} / N_{т,б}. \quad (8.5)$$

$$q_{п} = 18,0 \cdot 22,31 / 25,00 = 16,06 \text{ л/год},$$

Питома витрата пального становить: для базового варіанта 46,15 л/га, для проєктного варіанта 38,25 л/га, Економія дизельного палива дорівнює 7,90 л/га, або 1976 л за сезонний обсяг 250 га,

8.4. Розрахунок експлуатаційних витрат

Собівартість виконання одного гектара глибокого розпушування визначаємо як відношення суми годинних експлуатаційних витрат до годинної продуктивності агрегату:

$$C_{га} = C_{год} / W_{г}. \quad (8.6)$$

До складу годинних експлуатаційних витрат включено витрати на паливо, мастильні матеріали, оплату праці механізатора з нарахуваннями, амортизацію, ремонт і технічне обслуговування, інші накладні витрати. Вартість мастильних матеріалів прийнято на рівні 12 % від вартості палива; річну норму амортизації – 12 %; витрати на ремонт і технічне обслуговування – 8 % від балансової вартості; інші витрати – 3 %. Річний фонд завантаження агрегату прийнято 700 год.

Таблиця 8.2 – Розрахунок годинних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, грн/год	Проектний варіант, грн/год
Паливо	1080,00	963,90
Мастильні матеріали	129,60	115,67
Оплата праці з нарахуваннями	146,40	146,40
Амортизація	90,86	96,00
Ремонт і технічне обслуговування	60,57	64,00
Інші витрати	22,71	24,00
Разом	1530,14	1409,97

Собівартість обробітку для базового варіанта: $C_{га,б} = 1530,14 / 0,39 = 3923,44$ грн/га,

Собівартість обробітку для проєктного варіанта: $C_{га,п} = 1409,97 / 0,42 = 3357,07$ грн/га,

Зменшення собівартості становить: $\Delta C = 3923,44 - 3357,07 = 566,38$ грн/га, що відповідає 14,4 % порівняно з базовим варіантом,

8.5. Розрахунок річного економічного ефекту та строку окупності

Річний економічний ефект від застосування проєктного глибокорозпушувача визначаємо за формулою:

$$E_p = (C_{га,б} - C_{га,п}) \cdot F_p, \quad (8.7)$$

де E_p – річний економічний ефект, грн; $C_{га,б}$ і $C_{га,п}$ – собівартість виконання робіт відповідно у базовому та проєктному варіантах, грн/га; F_p – річний або сезонний обсяг робіт, га.

$$E_p = (3923,44 - 3357,07) \cdot 250 = 141594,14 \text{ грн},$$

Додаткові капіталовкладення на виготовлення двоступеневого робочого органу та підсилення елементів рами порівняно з базовим варіантом становлять:

$$K_d = 210000 - 180000 = 30\,000 \text{ грн}.$$

Строк окупності додаткових капіталовкладень визначаємо за формулою:

$$T_{ок} = K_d / E_p. \quad (8.8)$$

$T_{ок} = 30000 / 141594,14 = 0,21$ року, Коефіцієнт економічної ефективності становить $E = E_p / K_d = 4,72$,

Таблиця 8.3 – Узагальнені техніко-економічні показники проєкту

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення
Годинна продуктивність, га/год	0,39	0,42	+0,03
Змінний виробіток, га/змін	3,12	3,36	+0,24
Тягова потужність, кВт	25,00	22,31	-2,69
Питома енергоємність, кВт·год/га	64,1	53,1	-11,0
Питома витрата пального, л/га	46,15	38,25	-7,90
Собівартість робіт, грн/га	3923,44	3357,07	-566,38
Річний економічний ефект, грн	-	141594,14	-
Строк окупності, року	-	0,21	-

Висновок за розділом

Виконані розрахунки показують, що застосування двоступеневого глибокорозпушувача об'ємного типу є економічно доцільним. За рахунок зниження тягового опору з 30,0 до 26,775 кН і підвищення коефіцієнта використання змінного часу з 0,65 до 0,70 годинна продуктивність агрегату збільшується з 0,39 до 0,42 га/год. Питома енергоємність процесу зменшується з 64,1 до 53,1 кВт·год/га, а питома витрата пального – з 46,15 до 38,24 л/га.

Собівартість виконання глибокого розпушування знижується з 3923,44 до 3357,07 грн/га, тобто на 566,38 грн/га. За сезонного обсягу робіт 250 га очікуваний економічний ефект становить 141594,14 грн, а строк окупності додаткових капітальних вкладень – 0,21 року. Отримані показники підтверджують, що проектне рішення забезпечує не лише агротехнічний ефект у вигляді поліпшення якості глибокого розпушування, а й безпосереднє зменшення експлуатаційних витрат механізованих робіт,

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту шляхом обґрунтування робочих параметрів глибокорозпушувача об'ємного типу. Встановлено, що ущільнення ґрунтового профілю є однією з важливих проблем сучасного землеробства, оскільки воно погіршує водно-повітряний режим ґрунту, знижує його водопроникність, ускладнює розвиток кореневої системи рослин і негативно впливає на продуктивність сільськогосподарських культур.

У результаті аналізу існуючих способів і засобів глибокого об'ємного розпушування визначено, що найбільш доцільним для руйнування ущільнених шарів ґрунту без обертання пласта є застосування розпушувачів із V-подібними робочими органами. Разом з тим встановлено, що серійні конструкції мають певні недоліки, зокрема підвищений тяговий опір, значну енергоємність процесу та потребу в удосконаленні форми робочих органів для забезпечення більш повного розпушування ґрунтового профілю.

У роботі обґрунтовано застосування двоступеневого глибокорозпушувача об'ємного типу, який забезпечує ефективне руйнування ущільненого шару ґрунту на глибину до 0,5 м. Запропонована конструкція робочого органу сприяє зменшенню тягового опору, підвищенню повноти розпушування, покращенню стійкості руху агрегату та забезпеченню стабільної роботи знаряддя на заданій глибині. Розглянуті теоретичні положення процесу розпушування дали змогу встановити характер взаємодії робочих поверхонь із ґрунтом і визначити основні чинники, що впливають на якість обробітку.

Виконані статичні та тягові розрахунки підтвердили працездатність і надійність запропонованого технічного рішення. Встановлено, що проектний варіант глибокорозпушувача забезпечує зниження тягового опору з 30,0 до 26,775 кН, зменшення тягової потужності з 25,00 до 22,31 кВт, а також зниження питомої енергоємності з 64,1 до 53,1 кВт·год/га. Питома витрата

пального зменшується з 46,15 до 38,25 л/га, що свідчить про енергетичну ефективність запропонованої конструкції.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які можуть виникати під час експлуатації глибокорозпушувача. Запропоновано заходи безпечної організації роботи, дотримання яких сприяє зниженню ризику травматизму, підвищенню безпеки механізатора та надійній експлуатації агрегату в польових умовах.

Техніко-економічне обґрунтування підтвердило доцільність використання запропонованого глибокорозпушувача об'ємного типу. Годинна продуктивність агрегату підвищується з 0,39 до 0,42 га/год, змінний виробіток – з 3,12 до 3,36 га/змін. Собівартість виконання робіт знижується з 3923,44 до 3357,07 грн/га, тобто на 566,38 грн/га, або на 14,4 %. Річний економічний ефект від застосування проєктного рішення становить 141594,14 грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень – 0,21 року.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Запропоноване удосконалення технологічного процесу основного обробітку ґрунту та обґрунтовані параметри глибокорозпушувача об'ємного типу забезпечують покращення якості розпушування, зниження енергоємності процесу, зменшення витрат пального і підвищення економічної ефективності виконання робіт. Результати роботи можуть бути використані для удосконалення ґрунтообробних машин, організації глибокого обробітку ущільнених ґрунтів і підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів у сільському господарстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
2. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
3. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
4. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
5. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка. Суми : Університетська книга, 2008. 543 с.
6. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.
7. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. 2-ге вид. Київ : Каравела, 2008. 552 с.
8. Гуков Я. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. Київ : Нора-прінт, 1999. 280 с.
9. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
10. Borak, K. V., Kulykivskyi V. L., Borovskyi V. M., Rudenko V. G., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage

machines by electrical discharge machining. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Випуск 3 (48) 2025. Технічні науки. С.149-160.

11. Borak K. V., Kulykivskyi V. L.; D. I. Rudnik. Impact of the preliminary corrosion on the intensity of the abrasive wear of the working tools of the tillage machine. Scientific Works of VNTU, 2023, № 2. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-2-33-42>.

12. Dvoruk V.I., Borak K.V., Buchko I.O., Dobranskiy S.S. Destruction of Strain Hardened Steel Upon Abrasive Wear. Journal of Friction and Wear. 2021. Vol. 42 (3). P. 178-184.

13. Борак К. В. Вплив попередньої корозії на інтенсивність абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Наукові праці ВНТУ, 2023, № 2. [Електронний ресурс]. Режим доступу URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/686/653/>.

14. Кравчук В. І., Грицишин М. І., Коваль С. М. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки. Київ : Аграрна наука, 2004. 396 с.

15. Гречкосій В. Д. Довідник сільського інженера. Київ : Урожай, 1988. 354 с.

16. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку / В. Ю. Ільченко, П. І. Карасьов, А. С. Пітон та ін. Київ : Урожай, 1987. 368 с.

17. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Ільченко, П. І. Карасьов, А. С. Лімонт та ін. ; за ред. В. Ю. Ільченка. Київ : Урожай, 1993. 288 с.