

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« » 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)
перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення конструкції вібраційного глибокорозпушувача з обґрунтуванням параметрів його роботи»

Виконав: студент 3 курсу, групи 32к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Мельничук Владислав Володимирович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	4
1.1. Вплив глибини основного обробітку ґрунту на розвиток кореневої системи польових культур.....	4
1.2. Вплив вібрації робочих органів на ґрунтову структуру та аналіз конструкцій віброзбудників.....	7
Висновки по розділу.....	15
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
2.1. Конструктивна схема віброзбудника.....	17
2.2. Результати показників якості обробітку ґрунту вібраційним глибокорозпушувачем.....	18
2.3. Вплив режиму роботи вібраційного глибокорозпушувача на структуру обробленого ґрунту.....	20
2.4. Енергетичні та експлуатаційні показники роботи вібраційного глибокорозпушувача.....	23
Висновки по розділу.....	25
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	26
3.1. Організація охорони праці в аграрному підприємстві.....	26
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з вібраційним глибокорозпушувачем.....	27
Висновки по розділу.....	28
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ.....	29
Висновки по розділу.....	30
Загальні висновки.....	31
Список використаних джерел.....	32

ВСТУП

Комплексна механізація сільськогосподарських польових робіт поряд з очевидними перевагами характеризується багаторазовими проходами сільськогосподарської техніки по полю, що призводить до ущільнення ґрунту. Антропогенне переущільнення ґрунту сільськогосподарською технікою призводить до погіршення його фізико-механічних та агрофізичних властивостей, вираженому у збільшенні об'ємної маси ґрунту, його твердості, погіршення структурності та збільшення кількості ерозійно небезпечних частинок. Це призводить до зниження родючості ґрунту внаслідок порушення водного та повітряного режиму, зниження агротехнічних показників виконання механічного обробітку та збільшення його енергоємності.

Одним із перспективних шляхів підвищення якості та енергоефективності виконання основного безвідвального обробітку є застосування вібраційного способу обробітку ґрунтів. Встановлено, що використання вібраційних робочих органів ґрунтообробних машин за певних умов дозволяє підвищити ступінь кришення ґрунту, знизити його щільність, досягти зниження питомих енерговитрат на виконання обробітку. Актуальним практичним завданням є обґрунтування способу основного безвідвального обробітку ґрунту на глибину до 0,4 м, що дозволяє підвищити агротехнічні показники та зниження енергетичних витрат.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Вплив глибини основного обробітку ґрунту на розвиток кореневої системи польових культур.

Методологія формування агротехнології полягає у послідовному подоланні факторів, що лімітують урожайність культури та якість продукції.

Багаторічними дослідженнями багатьох вчених доведено пряму залежність урожайності культур від ступеня розвитку кореневої системи. Таким чином, одним із шляхів підвищення урожайності сільськогосподарських культур є усунення перешкод розвитку корневих систем рослин. Основний обробіток ґрунту, метою якого є досягнення раціонального агрофізичного стану ґрунту, повинен бути проведений на таку глибину, яка дозволить створити сприятливі умови для більшої частини кореневої системи рослини. Чим більше коренів рослини будуть перебувати в обробленому ґрунтовому шарі, тим вищою буде їх продуктивність.

Морфологія кореневої системи сортових зернових культур до сьогодення досить докладно вивчена. Розмір повної кореневої системи рослини сортової ярої пшениці залежить від умов зростання. Горизонтальне поширення коренів досягає 90 см [9]. Глибина проникнення кореневої системи може досягати двох метрів. Тим не менш, близько 70% від загальної довжини коріння знаходиться у верхньому шарі ґрунту 0-30 см [9].

Багаторічні рослини відрізняються високою ефективністю і більш інтенсивним використанням поживних речовин та води, порівняно з однорічними. Озимі сортові культури до кінця вегетації мають більш розвинену кореневу систему ніж ярі. Основна маса коренів зосереджена у шарі 0-50 см ґрунту [2].

З метою підвищення продуктивності в даний час використовуються гібридні форми культурних рослин, що мають більш високий, в порівнянні з сортовими рослинами, генетичний потенціал. У Ґрунтового інституті США було вироблено понад 1500 гібридів озимої пшениці. За результатами досліджень були

опубліковані фотографії корневих систем гібридів озимої пшениці, що ілюструють їх розвиток у різних фазах зростання (Рис. 1.1). З рисунка можна зробити такі висновки: основна частина коренів гібридів озимої пшениці знаходиться в шарі ґрунту 0-100 см, максимальна глибина проникнення коренів перевищує 2,5 м.



Рисунок 1.1 – Коренева система гібриду озимої пшениці у різні фази зростання

Коренева система гібридних форм кукурудзи мочкувата, сильно розгалужена. Основна маса коренів зосереджена у шарі 30-60 см, при цьому частина коренів проникає на глибину 150-250 см, використовуючи вологу та поживні речовини з нижчих шарів [2].

Таким чином, виходячи із положення про те, що основна частина коренів повинна перебувати в шарі ґрунту, що має раціональну структуру, під час обробітку різних за генетичним потенціалом культур, глибина основного обробітку повинна відрізнятися.

Полеві досліді, різними дослідниками, показали, що збільшення глибини обробітку сприятливо впливає на розвиток кореневої системи рослин та величину урожаю [7].

За даними Трірського університету [11] розпушування на глибину 60 см дозволило досягти підвищення урожайності на 19 % (за різними культурами – на 13-28 %). Дослідження, проведені в Угорщині, показали, що розпушування бурого

лісового ґрунту на глибину 60 см дозволило збільшити урожай зерна кукурудзи на 30 % [1]. Дослідження, проведені у 12 пунктах штату Північна Короліна (США) на різних типах ґрунтів встановлено, що за рахунок глибокого розпушування можна досягти підвищення врожаю зерна кукурудзи на 82,8 % [1]. Дослідженнями Естонського НДІ землеробства та меліорації, проведеними на ґрунтах різного механічного складу, встановлено, що розпушування на глибину 35-40 см збільшило урожайність картоплі на 11% [1]. За даними 12 польових дослідів на середньо та тяжкосуглинистих ґрунтах, проведених в Ірландії, глибоке розпушування на 38-42 см забезпечувало збільшення врожаю цукрових буряків на 26 ц/га [10]. Австралійськими дослідниками [11] встановлено, що розпушування на 35-40 см дозволяє збільшувати урожайність пшениці на 11,5 %. За даними досліджень [11] рихлення ґрунту на глибину до 70 см підвищує урожайність озимої пшениці, тоді як ячмінь та овес не «реагує» на розпушування на глибину навіть до 50 см.

Мінімізація обробітку ґрунту, в першу чергу відмова від основного обробітку, в більшості випадків призводить до суттєвого зниження урожайності сільськогосподарських культур. Дослідження, проведені у Великій Британії [10] показали, що при відмові від основного обробітку, залежно від типу ґрунту та культури, недобір урожаю становить від 10 до 25%. За даними НДІ Землеробства та хімізації, при відмові від основного обробітку вилуженого чорнозему на глибину 20-27 см, зниження урожайності зернових культур досягає 11,5 % [2].

На етапі розвитку землеробської науки одне із головних принципів обґрунтування необхідного виду та глибини обробітку ґрунтів – адаптивність до конкретних умов вирощування культури [2]. Глибина основного обробітку ґрунту обмежується економічними міркуваннями, тобто збільшення витрат на обробіток ґрунту має давати позитивний економічний ефект за рахунок збільшення урожайності культури. Це можливо за умови, що глибина обробітку і, як наслідок, об'єм ґрунту має раціональний агрофізичний стан, який може бути використаний кореневою системою рослини і є фактором, що лімітує його продуктивність. Вкрай важко однозначно визначити оптимальну систему обробітку ґрунтів для

різних ґрунтово-кліматичних умов та різних за будовою сільськогосподарських культур. Однак більшість дослідників [2] сходяться на думці, що для досягнення високої урожайності оброблюваних культур, обробіток ґрунту має бути різноглибинним, із застосуванням оранки на глибину 20-27 см, глибокого розпушування на 30-45 см, і поверхневого обробітку, що чергується відповідно до сівозмін й змін погодинних умов.

1.2. Вплив вібрації робочих органів на ґрунтову структуру та аналіз конструкцій віброзбудників.

Багатьма дослідниками процесу вібраційного обробітку ґрунтів було відмічено, що розміри ґрунтових агрегатів після обробітку пасивними та активними робочими органами суттєво відрізняються. Дослідник [47] у своїй роботі розглядає ґрунт, як суміш частинок різних розмірів і мас, рух яких після виведення зі стану рівноваги описується рівнянням:

$$m \cdot \ddot{x} = F \cdot \sin x, \quad (1.1)$$

де m – маса частинки; F – сила взаємодії (сухе тертя) між частинками; x – відносне зміщення частки.

Щоб оцінити характер впливу вібраційних робочих органів на таку систему, дослідники пропонують скористатися становищем теорії коливань: вплив, період якого менший за період власних коливань системи, сприймається системою як динамічний. Якщо період впливу більше періоду власних коливань, воно сприймається як статичне. Отже, при одній і тій же частоті коливань робочого органу одні частинки будуть відчувати динамічний вплив, інші – статичний. Таким чином, у певних режимах вібраційний вплив на ґрунтову структуру не призводитиме до руйнування структурних агрегатів, крім того можлива коагуляція дрібних частинок, тобто поліпшення структури ґрунту [9].

Дослідженнями визначено, що використання вібрації робочих органів дозволяє значно знизити щільність оброблюваного ґрунту. Зниження щільності при використанні вібрації значно найбільше у шарі 15-25 см і зумовлено інтенсивним кришенням великих (розміром понад 50 мм) ґрунтових агрегатів. Вібрація робочих органів глибокорозпушувача дозволяє суттєво знизити об'ємну

масу ґрунту в шарі 0-35 см й підвищити його пористість, що сприятливо позначається на накопиченні вологи у ґрунті та благотворно впливає на розвиток кореневої системи рослин [5].

Таким чином, ґрунтуючись на результатах відомих теоретичних та експериментальних досліджень, можна стверджувати про можливість використання вібраційного впливу для усунення надлишкового переуцільнення ґрунтів з кількох причин. По-перше, енергія вібрації робочого органу вибірково впливає на елементи ґрунтової структури, і спрямована на кришення ґрунтових агрегатів за більшою масою та розмірами, якими є ґрунтові брили, що утворюються в результаті руйнування переуцільненого шару ґрунту. По-друге, псевдожиження ґрунту викликає відносно переміщення ґрунтових частинок, що призводить до зняття надлишкових, в порівнянні з природними, напруг. Також слід підкреслити можливість зниження високої енергоємності обробітку переуцільнених ґрунтів, оскільки зниження тягового опору за рахунок вібрації тим більш ефективніше, чим вища щільність оброблюваного ґрунту.

Вібробудник – пристрій, призначений для збудження вібрацій та використовується самостійно або у складі іншого пристрою. Завдання вібробудника полягає у перетворенні енергії зовнішнього джерела (що поступає у вигляді електричного струму, магнітного поля, тиску потоку газу або рідини та ін.) в енергію механічного коливального руху і передачі цієї енергії до робочого органу. За принципом дії вібробудники можна розділити на 5 груп [2]:

- 1) Механічні перетворювачі оберտального руху на коливальний.
- 2) Пневмомеханічні перетворювачі, в яких енергія газоподібного робочого тіла перетворюється на енергію механічних коливань.
- 3) Гідромеханічні перетворювачі, в яких енергія рідкого робочого тіла перетворюється на енергію механічних коливань.
- 4) Електромеханічні перетворювачі, у яких електрична енергія перетворюється на енергію механічних коливань.
- 5) Інерційні вібробудники, змушувальна сила в яких викликається коливальним чи обертальним рухом інерційних елементів.

За способом впливу всі існуючі вібробудники можна розділити на три групи: симетричні, асиметричні, імпульсні [2]. Перші створюють збурювальну

силу, що змінюється за часом симетрично відносно нульової лінії; другі – асиметрично; треті впливають на робочий орган поштовхами [11].

По напрямку збурювальної сили всі віброзбудники поділяються на два типи: направленої та ненаправленої дії [10].

До механічних перетворювачів обертального руху на зворотно-поступальний відносяться кривошипо-шатунні, ексцентрикові, кулачкові механізми, окремі ланки яких можуть бути деформованими. Такі віброзбудники за характером коливань, що діють на робочі органи можна розділити на два типи: примусові та кінематичні [2]. Відповідно до різних умов роботи примусовий та кінематичний віброзбудники принципово відрізняються один від одного. Примусовий віброзбудник повинен повідомляти робочому органу кінематично визначений рух, а при кінематичному віброзбудженні характер руху робочого органу визначається параметрами самої машини, її масами й жорсткістю пружних зв'язків [2].

Принциповий пристрій примусового віброзбудника наведено на рис. 1.2. На вал 1 насаджений ексцентрик 2, який охоплюється хомутом 3 шатуна 4, вільний кінець шатуна шарнірно прикріплений до робочого органу машини.

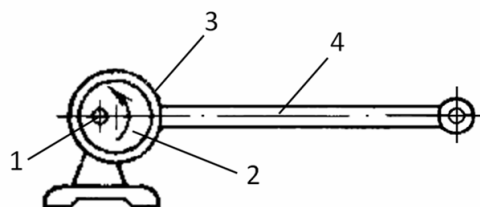


Рисунок 1.2 – Віброзбудник примусовий:

1 – вал; 2 – ексцентрик; 3 – хомут; 4 – шатун.

Принциповий пристрій найпростішого кінематичного віброзбудника наведено на рис. 1.3. Він відрізняється від примусового віброзбудника лише тим, що шатун містить пружний елемент 5.

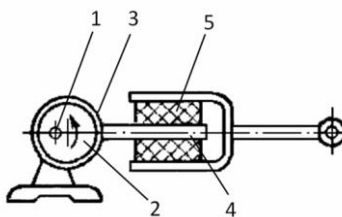


Рисунок 1.3 – Віброзбудник кінематичний

Механічні віброзбудники найбільш раціонально використовувати в низькочастотних коливальних системах. Цей тип приводу здатний створювати великі примусові сили при невисоких частотах коливань. При високих частотах коливань виникають великі сили інерції, що передаються на підшипники ексцентрикового валу приводу. При цьому у підшипниках діють значні сили тертя, що зумовлюють відносно швидший вихід їх із ладу [1].

Віброзбудники, що використовують енергію стисненого повітря, є одними із широко застосовуваних груп, що пояснюється такими перевагами:

- можливістю роботи у вибухонебезпечних умовах;
- відносно нескладним регулюванням амплітуди та частоти вібрації за допомогою простої дросельної установки;
- широким діапазоном можливих частот від нуля до 500-800 Гц;
- широким діапазоном зміни амплітуд та сил, у тому числі й дуже великих [10].

За принципом дії розрізняють пневматичні віброзбудники:

а) із пульсатором: застосовують їх при порівняно низьких частотах (до 15 Гц), значних амплітудах (до 20-30 мм) і значній силі, що розвивається;

б) автоколивальні: приблизний діапазон частот 15-60 Гц, можна створити досить великі амплітуди та сили [11].

Віброзбудники з пульсатором діляться на два типи: перетворювачі постійного тиску у магістралі в пульсуючий; ті, що використовують пульсуючий тиск для створення коливального руху робочого органу.

В якості перетворювачів тиску (пульсаторів) часто застосовують електротродвигуни з редуктором, через які приводиться в обертальний рух диск з отворами. Перетворення пульсуючого тиску на збурювальну силу реалізують такі пристрої: пневмокамери; пара поршень-циліндр; мембрани; елементи з високо еластичного матеріалу. Пневмокамери виготовляють у вигляді замкнутих об'ємів зазвичай із гумового матеріалу. Розмістивши пневмокамеру між робочим органом вібромашини та основою (між двома робочими органами), можна отримати пульсуючу силу. Конструктивний пристрій віброзбудника з пневмокамерою представлено на рис. 1.4.

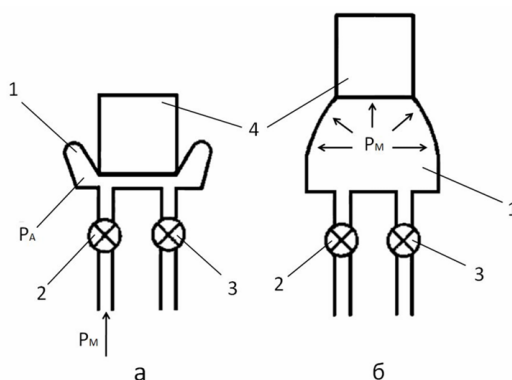


Рисунок 1.4 – Пневматичний віброзбудник із пневмокамерою:

а – початок робочого ходу пневмокамери; б – кінець робочого ходу пневмокамери; 1 – пневмокамера; 2 – впускний клапан; 3 – випускний клапан;
4 – робочий орган.

Вузол поршень-циліндр зазвичай застосовують для віброзбудників, що потребують великих сил і великих амплітуд [1]. Принциповий пристрій пневматичного поршневого віброзбудника представлено на рис. 1.5.

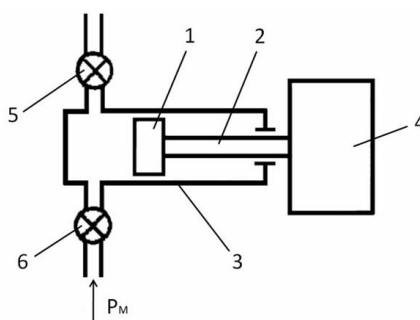


Рисунок 1.5 – Пневматичний поршневий віброзбудник:

1 – поршень; 2 – шток; 3 – циліндр; 4 – робочий орган;
5 – випускний клапан; 6 – впускний клапан.

Пневматичні віброзбудники, як правило, працюють від стандартних промислових пневмосистем з тиском 2-7 кгс/см², що обмежує їх застосування в польових умовах. Як недолік слід зазначити, що розрахунок основних динамічних показників руху (частоти, амплітуди) складний [24]; прості інженерні формули практично відсутні [2].

Досвід застосування гідравлічних віброзбудників у промисловості показав, що вони дозволяють отримати коливання високої частоти із значними примусовими зусиллями [11].

Принцип дії гідравлічних віброзбудників ґрунтується на наданні коливального руху робочому органу вібраційної машини за рахунок використання енергії пульсуючого джерела робочої рідини, або переривання потоку робочої рідини постійної витрати за допомогою золотникових пристроїв [10]. Частота коливань віброзбудника регулюється швидкістю обертання чи зворотно-поступального руху гідро розподільника. Амплітудою керують зміною тиску робочої рідини.

Схема принципового пристрою пульсаторного гідравлічного віброзбудника двосторонньої дії з насосом-пульсатором наведено на рис. 1.6.

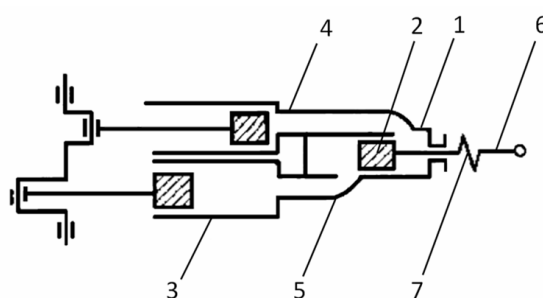


Рисунок 1.6 – Пульсаторний гідравлічний віброзбудник двосторонньої дії:

1 – робочий циліндр; 2 – поршень; 3 – двопоршневий пульсатор; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок; 6 – шток; 7 – пружний елемент.

У робочому гідроциліндрі 1 переміщається поршень 2 під робочим напором рідини, що подається двопоршневим пульсатором 3 або пульсатором іншого типу. Пульсатор у першу половину ходу подає робочу рідину з однієї сторони поршня (по патрубку 4) і відкачує з іншого (по патрубку 5). У другій половині ходу напрямок подачі рідини змінюється. Коливальна система з'єднана з поршнем віброзбудника штоком 6 з пружним елементом 7.

Один з найістотніших недоліків гідравлічних машин – витік робочої рідини в процесі роботи через технологічні зазори між поршнем та циліндром, ущільненням та штоком. Також до серйозних недоліків гідравлічних віброзбудників відноситься нагрівання робочої рідини, особливо в разі замкнутості її об'єму на ділянці поршень-пульсатор. Характеристики коливального руху, що збуджується гідравлічними віброзбудником, залежать від частоти коливань і пружності передачі, що обумовлена стисливістю рідини та пружністю трубопроводів (шлангів). Не дивлячись на властиві їм недоліки, досвід

використання гідравлічних віброзбудників для порушення вібрації робочих органів ґрунтообробних машин показав доцільність їх використання [2]. Проте, варто відмітити, що гідравлічні віброзбудники з високими показниками ефективності відрізняються складною конструкцією. Для їх виробництва та обслуговування потрібне спеціалізоване обладнання.

До електромеханічних віброзбудників відносяться: електрострикційні (включаючи п'єзоелектричні), магнітострикційні (включаючи п'єземагнітні), електростатичні, електродинамічні, електромагнітні [2].

П'єзоелектричний віброзбудник схематично може бути представлений диском 1 (Рис. 1.7) з п'єзоелектричної кераміки, на посріблені торці 2 і 3 якого подається змінна електрична напруга, що приводить до вібрації приєднаних до торців диска елементів 4 і 5 внаслідок коливальної товщини диска.

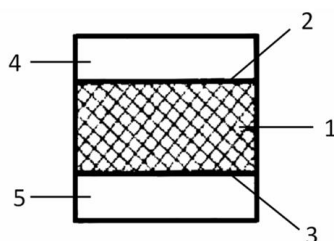


Рисунок 1.7 – Віброзбудник п'єзоелектричний:

1 – диск з п'єзоелектрика; 2, 3 – посріблені торці диска;
4, 5 – коливальні тіла.

Електромагнітні віброзбудники знайшли значне застосування у вібраційних машин виробничого призначення. До їх переваг відносяться простота конструкції, підвищена надійність і довговічність, відсутність необхідності в періодичному змащуванні, можливість плавного регулювання амплітуди коливань і практична безшумність в роботі [11].

Досвід дослідників обробітку ґрунтів вібраційними робочими органами показує, що ефективний діапазон амплітуди коливань перебуває в межах 3-8,2 мм [10]. Використання електромеханічних вібровозбудників для створення коливань з такими амплітудами недоцільно, оскільки вони значно поступаються механічним, гідромеханічним і пневмомеханічним за величиною примусової сили, віднесеної до одиниці маси [1].

Найбільш поширеним типом збудників механічних коливань є інерційні віброзбудники. Принцип їх дії заснований на обертальному русі неврівноваженого інерційного елемента. Їх розділяють на дебалансні та планетарні [2].

Дебалансний віброзбудник (Рис. 1.8) містить вал 1, на якому встановлений незбалансований ротор 2, який називається дебалансом. Вал 1 обертається в підшипниках, закріплених в корпусі 3. Відцентрова примусова сила від обертання дебалансу сприймається корпусом через підшипники.

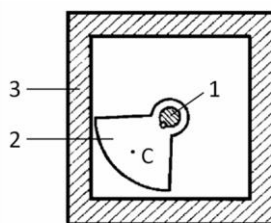


Рисунок 1.8 – Дебалансний віброзбудник:

1 – вал; 2 – ротор; 3 – корпус.

В результаті передачі примусового зусилля через підшипникові опори, дебалансні віброзбудники мають порівняно невеликий ресурс, сильно залежить від якості матеріалів, точності виготовлення та збирання деталей. Також до їх недоліків відносять труднощі незалежного регулювання частоти та амплітуди примусової сили та тривалість перехідного процесу при вибігу [7].

Планетарний віброзбудник містить бігунок, який, обкатуючись по біговій доріжці, що передає на неї примусову відцентрову силу. За способом підтримки обкатки планетарні віброзбудники можна розділити на три основних типи: фрикційно-планетарні, зубчасто-планетарні та повідково-планетарні [2].

Фрикційно-планетарний віброзбудник із зовнішньою обкаткою представлений на рис. 1.9.

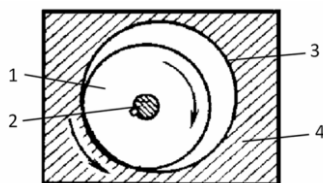


Рисунок 1.9 – Віброзбудник фрикційно-планетарний із зовнішньою

обкаткою: 1 – бігунка; 2 – вал; 3 – бігова доріжка; 4 – корпус.

Переваги планетарних віброзбудників полягають у простоті конструкції, низькій вартості, можливості досягнення високого відношення амплітуди примусової сили до маси віброзбудника (більше 100 кгс/кг), широкому діапазоні, в якому можна призначати частоту вібрації, що генерується (приблизно в межах 0,01-1000 Гц), простих засобах погодження спільної роботи двох або кількох віброзбудників на одному виконавчому органі машини, низькій чутливості до змін зовнішніх впливів, можливості стійкої роботи при подоланні великих опорів колюванням [1]. До їх недоліків відносять труднощі незалежного регулювання частоти та амплітуди примусової сили, відсутність можливості створювати напрямні колювання. Використання відцентрових віброзбудників у вібраційних ґрунтообробних машинах показало їх високу ефективність [7].

Віброзбудники всіх типів знайшли застосування у вібраційній техніці, проте їх використання в польових умовах для порушення колювань робочих органів ґрунтообробних машин накладає ряд обмежень. Застосування пневматичних та електромеханічних віброзбудників небажаний через причину відсутності в польових умовах відповідних видів енергії, та неефективності їх одержання шляхом перетворення енергії двигуна трактора [11]. Гідравлічні та пневматичні віброзбудники не здатні підтримати заданий режим роботи при різкій зміні навантаження, характерному при обробі ґрунту внаслідок його неоднорідності. Механічні перетворювачі не здатні забезпечити високі частоти колювань через значні сил інерції їх робочих елементів [1]. Використання електромеханічних віброзбудників недоцільно, оскільки вони значно поступаються механічним, гідравлічним та пневматичним за величиною амплітуди примусової сили, відносно до одиниці маси [10]. Таким чином, найбільш перспективним класом для використання в польових умовах, не дивлячись на ряд недоліків є відцентрові віброзбудники планетарного типу.

Висновки по розділу

Таким чином, в результаті проведеного аналізу в даному розділі обробі ґрунту, а саме його розпушування, визначено, що вібраційний спосіб обробі ґрунтів дозволяє підвищити якість обробі та знизити енергоємність машини.

Перспективність використання вібрації в робочих органах при обробітку переущільнених ґрунтів обумовлена підвищенням її ефективності в більш щільних ґрунтах. Використання вібрації робочих органів дозволяє вибірково спрямовувати її енергію на інтенсивне кришення переущільнених ділянок та знімати напругу в ґрунтовій структурі за рахунок процесу її псевдозрідження.

Для реалізації ефективного режиму роботи вібраційних ґрунтообробних знарядь із заданими характеристиками коливань робочого органу, доцільно використовувати інерційні віброзбудники планетарного типу, оскільки вони дозволяють забезпечувати високі амплітуду та частоту коливань й забезпечують стійку роботу при подоланні великих опорів коливанням.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Конструктивна схема віброзбудника.

На підставі проведеного аналізу конструкцій віброзбудників і вимог до них спроектовано удосконалений інерційний вібровозбудник планетарного типу (Рис. 2.1-2.2) [2].

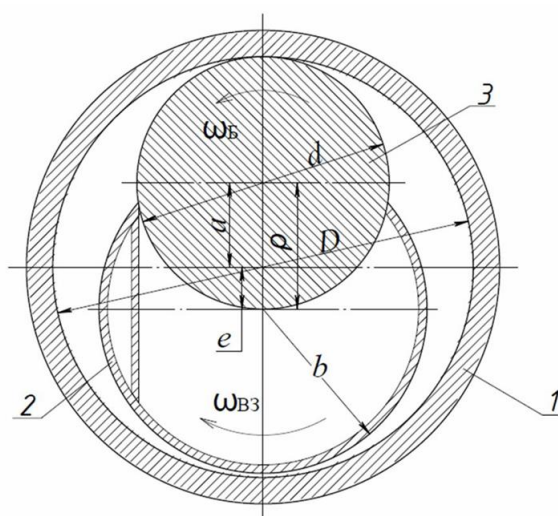


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема віброзбудника:

1 – корпус віброзбудника; 2 – ведуча ланка; 3 – бігунки; D – внутрішній діаметр корпусу; d – зовнішній діаметр бігунка; a – відстань від центру корпусу до центру бігунка; p – радіус-вектор руху бігунка; e – ексцентриситет ведучої ланки; b – радіус ведучої ланки; ω_B – кутова швидкість обертання бігунка; $\omega_{ВЛ}$ – кутова швидкість обертання ведучої ланки.

Вібровозбудник складається з корпусу 1 діаметром D , всередині якого розташована ведуча ланка вал-ротор 2, радіусом b , зміщена відносно геометричного центру корпусу 1 на відстань e .

Вібровозбудник працює наступним чином. При постійній кутовій швидкості ведучої ланки 2 $\omega_{ВЛ}$ під дією відцентрової сили бігунки 3 притискається до внутрішньої поверхні корпусу 1, по якій обкатується із власною кутовою швидкістю ω_B , одночасно переміщуючись відносно робочої поверхні ведучої ланки. При цьому бігунки рухаються по внутрішній поверхні корпусу із змінним

радіус-вектором ρ відносно центру ведучої ланки.

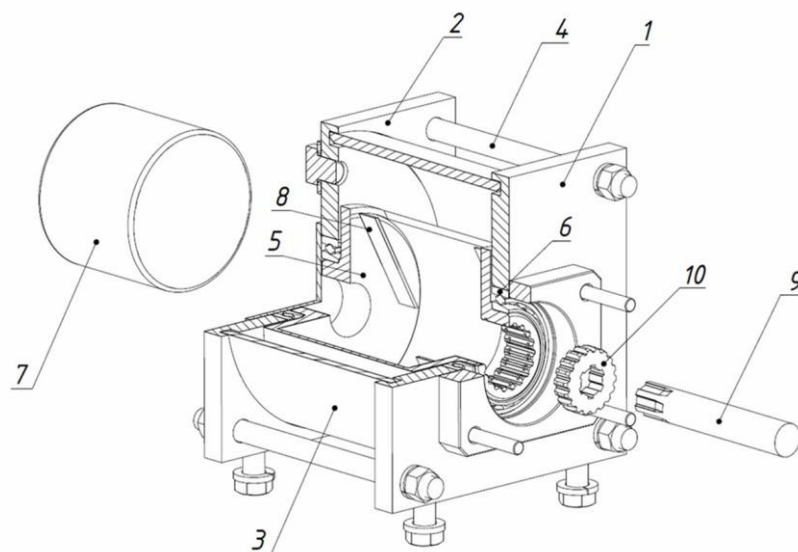


Рисунок 2.2 – Конструктивний пристрій інерційного віброзбудника планетарного типу:

- 1 – плита фронтальна; 2 – плита тилова; 3 – труба;
 4 – шпилька; 5 – ротор; 6 – підшипник; 7 – бігунок; 8 – напрямна ротора;
 9 – вал шліцевий; 10 – приводна шестерня.

Обертання неврівноваженої маси всередині корпусу викликає його коливання, енергія яких може передаватися через жорстко закріплені робочі органи до виконання робочого процесу.

2.2. Результати показників якості обробітку ґрунту вібраційним глибокорозпушувачем.

Вивчення поверхні ґрунту, обробленого ГВ-1,8 у різних режимах роботи показало суттєву відмінність отриманих якісних показників. Для оцінки поверхні обробленого ґрунту використовувалися три нерозривні показники: збереження стерні, глибина та гребенистість поверхні поля. Отримані результати подано у таблиці 2.1.

При обробітку ґрунту без підключення віброзбудника на швидкості 9 км/год. спостерігалось розривання стерні робочими органами, відкидання відірваних грудок до країв борозни. В результаті поверхня поля після обробітку

залишалася нерівною, збереження стерні було на рівні 52 %, глибина становила близько 26%. Під час обробітку поля без підключення віброзбудника спостерігалось активне налипання ґрунту на стійки розпушувальних лап. На ділянках з підвищеною вологістю відбувалося забивання робочих органів.

Таблиця 2.1 – Агротехнічні показники обробітку ґрунту
при різних режимах роботи ГВ-1,8

Режим роботи ГВ-1,8			Агротехнічні показники		
Маса бігунка, кг	Швидкість руху, м/с	Амплітуда коливань, 10^{-3} м	Глибина, %	Гребенистість, %	Збереження стерні, %
контроль*	2,5	-	26	21	52
4,55	2,5	1,06	21	20,5	56
4,55	0,83	1,06	14	18	68,5
9,1	2,5	4,53	8	11,5	81
9,1	0,83	4,53	3	8	92

* варіант використання ГВ-1,8 без підключення віброзбудника.

Використання ГВ-1,8 з підключенням віброзбудника, обладнаного бігунком масою 4,55 кг (амплітуда коливань робочих органів 1,06 мм) на швидкості 2,5 м/с показало результат близького контролю. Очевидно, амплітуди коливань, що розвивається виявилось замало для зміни процесу взаємодії розпушувальних лап із ґрунтовим масивом. Зниження швидкості руху до 0,83 м/с дозволило підвищити якість обробітку за рахунок зростання інтенсивності вібровпливу на ґрунтовий шар, що виражається у збільшенні кількості імпульсів на одиницю пройденого робочим органом шляху.

При роботі ГВ-1,8 з обладнанням віброзбудника бігунком масою 9,1 кг на швидкості 2,5 м/с досягається значне підвищення якості обробітку. Збільшення маси бігунка з 4,55 до 9,1 кг, що супроводжується зростанням амплітуди коливань з 1,06 до 4,53 мм координально змінює робочий процес глибокорозпушувача. При русі розпушувальних лап, за рахунок вертикальних коливань, стерня розрізається стійками практично без зсуву, досягається збереження стерні в межах 78-83 %. Це забезпечує гребенистість поверхні поля на рівні 11,5%, що дозволяє виконувати

наступний прямий посів без додаткових технологічних операцій. Високий рівень збереження стерні знижує інтенсивність утворення брил на поверхні поля та винесення їх з нижчих ґрунтових шарів, показник глибини не перевищує 9 %.

Порівняно з контролем (обробітком без підключення віброзбудника), використання ГВ-1,8 з бігунком масою 9,1 кг на швидкості 2,5 м/с дозволяє підвищити збереження стерні з 52 до 81%, знизити гребенистість поверхні поля з 21 до 11,5%, глибину з 26 до 8% [9].

Вібрація робочих органів практично виключає налипання ґрунту на стійки. При роботі на перезволожених ділянках процес самоочищення стійок від налиплого ґрунту протікає інтенсивно, виключаючи їх забивання.

З проведеної серії дослідів найкращі агротехнічні показники основного безвідвального обробітку ґрунту були отримані при установці бігунка масою 9,1 кг, що забезпечує найбільш високу амплітуду коливань робочих органів на швидкості 0,83 м/с. При цьому збереження стерні досягло 92 %, гребенистість поверхні поля знизилася до 8 %, глибина зменшилася до 3%. Незважаючи на найвищі якісні показники роботи ГВ-1,8 в цьому режимі, низька швидкість руху МТА негативно відбивається на його продуктивності. При цьому у всіх отриманих дослідженнях більший вплив на функції відгуку впливає маса бігунка, менше – швидкість руху МТА.

2.3. Вплив режиму роботи вібраційного глибокорозпушувача на структуру обробленого ґрунту.

Для комплексної оцінки структури обробленого ґрунту, за результатами кожного досвіду визначено коефіцієнт структурності. Регресія коефіцієнта структурності обробленого ґрунту в шарі 0...0,4 м від маси бігунка вібровозбудника та швидкості руху МТА описується рівнянням:

$$Y = 0,3658 + 0,047 \cdot X_1 - 0,025 \cdot X_2 - 0,0066 \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (2.1)$$

де Y – коефіцієнт структурності обробленого ґрунту; X_1 – маса бігунка віброзбудника; X_2 – поступальна швидкість руху МТА.

Найбільший вплив на коефіцієнт структурності обробленого ґрунту виявляє маса бігунка, менше – швидкість руху МТА. Зростання маси бігунка (і амплітуди коливань робочих органів) призводить до підвищення коефіцієнту структурності, збільшення швидкості руху МТА призводить до його зниження.

Отримані результати свідчать про суттєве виляння вібрації робочих органів на процес кришення оброблюваного ґрунтового шару. Графіки залежності коефіцієнта структурності обробленого ґрунту від керованих чинників наведено на рис. 2.3.

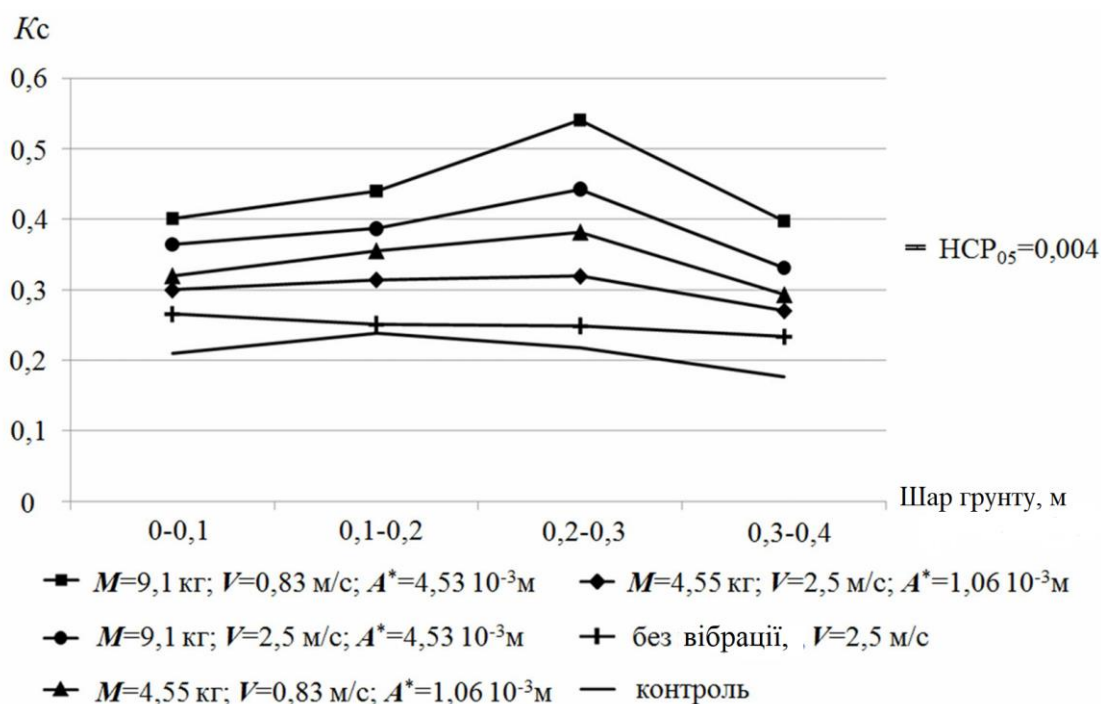


Рисунок 2.3 – Графіки залежності коефіцієнту структурності обробленого

K_s від маси бігунка M та поступальної швидкості руху агрегату V ;

A^* – амплітуда коливань робочих органів, визначена на стаціонарі.

При виконанні основного безвідвального обробітку ґрунту глибокорозпушувачем ГВ-1,8 на швидкості 2,5 м/с без вібрації робочих органів відбувається головним чином процес розпушування оброблюваного ґрунтового шару. Зміна розмірів ґрунтових частинок не значну, відбувається кришення лише крупних брил розміром $50-100 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, досить інтенсивно протікає процес розпилення ґрунту: кількість пилоподібних частинок зростає на 5 0% (таблиця

2.2). Коефіцієнт структурності ґрунту K_s у шарі 0...0,4 м до обробітку дорівнював 0,211, після обробітку – 0,249.

Таблиця 2.2 – Агрегатний склад обробленого ґрунту в шарі 0-0,4 м, у %

Режим роботи ГВ-1,8	Розмір ґрунтових частинок, 10^{-3} м										
	50-100	20-50	10-20	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,25-0,5	менше 0,25
Контроль*	41,51	24,69	12,36	4,59	3,83	2,69	4,25	4,79	0,49	0,44	0,30
Без вібрації	29,58	30,43	14,57	4,56	4,23	3,49	4,84	6,80	0,54	0,51	0,45
4,55/0,83**	16,94	27,53	21,32	6,35	5,42	4,39	6,56	9,89	0,61	0,54	0,40
4,55/2,5**	19,43	28,51	21,51	5,57	4,92	3,88	5,88	8,77	0,53	0,51	0,43
9,1/0,83**	8,675	26,46	19,90	8,09	6,57	4,91	8,54	15,07	0,70	0,73	0,30
9,1/2,5**	12,41	26,53	22,51	8,00	5,62	4,20	7,31	11,62	0,67	0,69	0,38

* агрегатний склад ґрунту в шарі 0...0,4 м до проходу ГВ-1,8

** приведені: маса бігунка, кг / швидкість руху агрегату, м/с

Виконання обробітку на швидкості 2,5 м/с з підключенням вібровозбудника, обладнаного бігунком масою 4,55 кг, дозволяє підвищити ступінь кришення ґрунту. Коефіцієнт структурності K_s обробленого у цьому режимі ґрунту дорівнює 0,3. Ступінь розпилення ґрунту спостерігалася дещо нижчою, ніж в режимі обробітку без вібрації.

Обладнання вібровозбудника бігунком масою 9,1 кг на швидкості 2,5 м/с дозволяє значно підвищити ступінь кришення ґрунту в порівнянні з результатами роботи в режимі без вібрації. Кількість брил розміром 50...100 10^{-3} м знижується більше ніж удвічі (Табл. 2.2). Важливо підкреслити, що порівняно із звичайним глибоким розпушуванням, вплив енергії вібрації вибірково руйнує великі ґрунтові частинки розміром 20...100 10^{-3} м, кришення яких призводить до утворення агрономічно цінних фракцій [5]. Дрібні фракції розміром 0,25...10 10^{-3} м, навпаки, не зазнають руйнування, про що свідчить зниження вмісту пилоподібних частинок з 0,45 % до 0,38 % (Табл. 2.2). Такий вибірковий вплив на елементи

грунтової структури дозволяє комплексно підвищити якість виконання основного безвідвального обробітку за рахунок одночасного зниження глибини та розпилення ґрунту. У наших дослідях це дозволило досягти коефіцієнта структурності ґрунту K_c в шарі 0...0,4 м на рівні 0,38.

Аналіз агрегатного складу ґрунту, обробленого при різних режимах роботи вібрації, дозволяє виділити режим обробітку з бігунком масою 9,1 кг на швидкості 0,83 м/с, як найкращий для формування структури ґрунту. Коефіцієнт структурності ґрунту K_c у шарі 0...0,4 м становив 0,44. Режим обробітку з бігунком масою 9,1 кг на реальній технологічній швидкості 2,5 м/с, використовуваної при обробітку ґрунтів під польові культури, показує деяке зниження якості виконання робочого процесу ($K_c=0,38$), тим не менш, значно перевершує результат обробітку без вібрації ($K_c = 0,249$).

Підвищення структурності ґрунту, особливо переущільненого, є вкрай важливим завданням. По-перше, це сприяє накопиченню вологи в обробленому шарі, оскільки агрономічно цінні ґрунтові частинки добре її вбирають і найкраще утримують. По-друге, ґрунтовий шар, насичений вологою в осінній період, піддається інтенсивному природному розущільненню за рахунок перемерзання [5].

Найбільш характерно ефект від вібрації робочих органів проявився у шарі ґрунту 0,2...0,4 м, схильному до інтенсивного впливу клиноподібної частини (наральників) розпушувальних лап. Для вирівнювання ступеня кришення шару ґрунту, раціональна установка крил на стійки розпушувальних лап на глибину 0,2 м. Це дозволить ефективніше використовувати енергію вібрації для кришення верхнього шару ґрунту, сприяючи підвищенню коефіцієнту структурності.

2.4. Енергетичні та експлуатаційні показники роботи вібраційного глибокорозпушувача.

Визначення енергетичних показників роботи ГВ-1,8 проводилося на останньому етапі виробничих випробувань. До цього моменту був визначений раціональний режим роботи глибокорозпушувача, що застосовується в реальних

виробничих умовах і дозволяє підвищити якість основного безвідвального обробітку ґрунту. Він характеризується швидкістю руху 2,5 м/с та обладнання вібробудника бігунком 9,1 кг (амплітуда коливань робочих органів 4,53 мм) надалі цей режим роботи вказуватиметься як «з вібрацією». Оскільки питання зниження тягового опору ґрунтообробних знарядь за рахунок використання вібрації робочих органів досить добре вивчений [1, 9], нами було прийнято рішення визначити тяговий опір лише в режимах роботи ГВ-1,8 без вібрації і з вібрацією на швидкості 2,5 м/с з метою їх порівняльного аналізу.

Результати дослідів показали, що використання вібрації дозволяє знизити тяговий опір з 28,5 до 24,4 кН, або на 14,38 % (Рис. 2.4). Із отриманих графіків видно, що використання вібрації крім зниження тягового опору дозволяє зменшити його коливання, тим самим підвищуючи рівномірність роботи МТА.

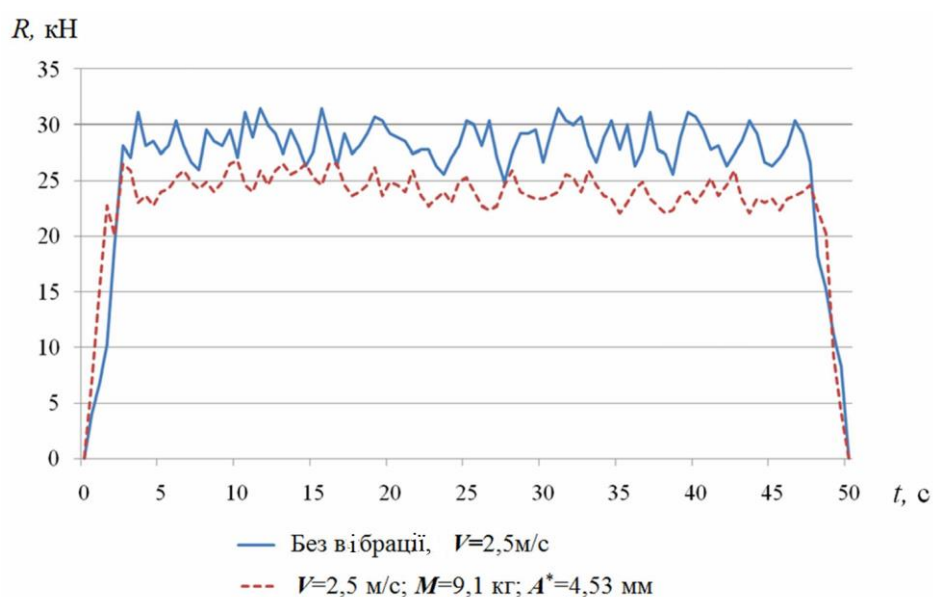


Рисунок 2.4 – Графіки тягового опору ГВ-1,8 без вібрації та з вібрацією робочих органів:

V – поступальна швидкість руху МТА, M – маса бігунка,

A^* – амплітуда коливань робочих органів.

Досліди щодо визначення продуктивності МТА проводилися при абсолютній вологості поверхневого шару ґрунту 27 %, агрономічний фон був представлений стернею зернових. У таких умовах під час роботи ГВ-1,8 на швидкості 2,5 м/с без вібрації робочих органів спостерігалось підвищене буксування коліс трактора, особливо виражене на підйомах. У ході спостережень

визначено, що при підключенні віброзбудника ГВ-1,8 буксування коліс трактора значно знизилося, що зумовлено зниженням тягового опору машини. За результатами виробничих випробувань встановлено, що продуктивність ГВ-1,8 за годину основного часу в режимі без вібрації робочих органів становила 1,16 га/год. Використання вібрації робочих органів дозволило підвищити продуктивність за годину основного часу до 1,29 га/год, або на 11,2 %.

У режимі роботи ГВ-1,8 з вібрацією робочих органів на швидкості 2,5 м/с, порівняно з режимом роботи без вібрації, питомі енерговитрати знизилися з 197,22 МДж/га до 176,26 МДж/га, або на 10,62 %. У паливному еквіваленті – з 4,61 кг/га до 4,13 кг/га дизельного палива, що означає економію палива в розмірі 0,48 кг/га, або 10,41 %. Основні енергетичні та експлуатаційні характеристики ГВ-1,8 наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні енергетичні та експлуатаційні характеристики
глибокорозпушувача вібраційного ГВ-1,8

Характеристики	Режими роботи ГВ-1,8	
	Без вібрації	З вібрацією
Час підготовки машини до роботи, год	0,16	0,25
Продуктивність за годину основного часу, га/год.	1,16	1,29
Тяговий опір, кН	28,5	24,4
Питомі енерговитрати на одиницю виконаної роботи, МДж/га	197,22	176,26

Сукупність характеристик ГВ-1,8, отриманих в результаті випробувань допускає, що використання енергії вібрації робочих органів дозволяє підвищити енергоефективність і продуктивність МТА для виконання основного безвідвального обробітку ґрунту.

Висновки по розділу

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень отримано, що використання вібраційного глибокорозпушувача значно підвищує якість обробітку ґрунту та знижує тяговий опір агрегату. Дані дослідження підтверджуються обґрунтованими показниками наведеними вище.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Організація охорони праці в аграрному підприємстві.

Організація охорони праці (ОП) в аграрному підприємстві базується на створенні безпечних умов праці та запобіганні травматизму. Відповідальність за це несе керівник підприємства, який зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління охороною праці, якщо в підприємстві працює більше 50 чоловік.

Обов'язкові заходи та документи.

Організація роботи включає наступні кроки, передбачені Законом України «Про охорону праці» [3] та спеціальними галузевими правилами:

- Всі працівники мають пройти вступний, первинний, повторний та (за потреби) позаплановий або цільовий інструктажі.

- Складання графіків та організація регулярного навчання для працівників, особливо тих, хто виконує роботи з підвищеною небезпекою.

- На кожному підприємстві мають бути інструкції за професіями (тракторист, комбайнер, дояр тощо) та видами робіт.

- Організація попередніх (під час прийняття на роботу) та періодичних медоглядів.

- Безкоштовне забезпечення працівників спецодягом та іншими засобами захисту відповідно до норм.

Згідно з Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві, особлива увага приділяється:

- експлуатації техніки;
- роботі з агрохімікатами;
- тваринництву;
- сезонності.

Контроль за дотриманням цих норм здійснює Державна служба України з питань праці.

3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з вібраційним глибокорозпушувачем.

Робота з вібраційним глибокорозпушувачем належить до робіт з підвищеною небезпекою через поєднання механічних ризиків та впливу вібрації.

Основними заходами з охорони праці є:

1) Вимоги до персоналу:

- До роботи допускаються особи віком від 18 років, які пройшли медичний огляд (відсутність протипоказань до роботи з вібрацією), спеціальне навчання та інструктаж.

- Працівник повинен мати посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії.

2) Підготовка техніки та агрегування:

- Особлива увага приділяється надійності болтових з'єднань вібраційного механізму та робочих органів.

- Перевірка герметичності шлангів та з'єднань. Підтікання робочої рідини не допускається.

- Усі рухомі частини приводу (карданні вали тощо) повинні бути закриті захисними кожухами.

- Навішування проводиться тільки на трактор відповідного класу тяги. Під час зчеплення між трактором і знаряддям не повинно бути людей.

3) Безпека під час експлуатації:

- Заборонено вмикати вібраційний механізм, якщо глибокорозпушувач знаходиться у транспортному положенні або не заглиблений у ґрунт.

- Очищення робочих органів від рослинних решток або ґрунту проводиться тільки при повній зупинці двигуна трактора та опущеному на землю агрегаті.

- Під час роботи заборонено перебувати стороннім особам ближче ніж за 15-20 метрів від агрегату (через ризик викиду каміння або поломки вібромеханізму).

- Переїзди дозволені тільки з вимкненим приводом вібрації та зафіксованим навісним пристроєм.

4) Захист від вібрації та шуму:

- Використання антивібраційних рукавиць та засобів захисту слуху (навушники/беруші), якщо рівень шуму в кабіні перевищує норму.

- Обов'язкове дотримання регламентованих перерв для відпочинку (зазвичай 10-15 хвилин через кожні 1-2 години роботи) для запобігання вібраційній хворобі.

- Перевірка цілісності віброізолювальних подушок кабіни та справності амортизації сидіння тракториста.

5) Заборони:

- Працювати на поворотах з увімкненим вібромеханізмом або заглибленими робочими органами.

- Залишати агрегат у піднятому стані без нагляду.

- Проводити технічне обслуговування під час роботи двигуна.

Висновки по розділу

Таким чином, під час роботи з вібраційними глибокорозпушувачами обслуговуючий персонал має дотримуватись правил з охорони праці та техніки безпеки, що наведені вище. Дані правила задокументовані в Законі України «Про охорону праці». За техніку безпеки всіх працівників відповідає роботодавець.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Для порівняння економічної ефективності використання ГВ-1,8 визначені базовий і новий варіанти. Базовий варіант полягає у використанні ГВ-1,8 без віброзбудника. Новий варіант – у використанні ГВ-1,8 з віброзбудником. Визначення економічних показників ефективності порівнюваних варіантів проведено шляхом накладання розрахунків на показники модельного господарства. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності застосування ГВ-1,8

Показники	Базовий варіант	Новий варіант
Ціна, тис. грн.	175,10	226,51
Річний обсяг робіт, га	300	300
Агрегатований трактор	Т-150 К	Т-150 К
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1
Тарифна ставка оплати праці механізатора, грн./год.	104,74	104,74
Коефіцієнт використання часу зміни	0,8	0,78
Продуктивність, за годину основного часу, га/год.	1,16	1,29
Питомі витрати пального на виконання робочого процесу, кг/га	4,61	4,13
Ціна дизельного палива, грн./л	60,00	60,00
Норма відрахувань на реновацію, %	12,5	14,29
Норма відрахувань на ремонт, технічне обслуговування та зберігання, %	8,5	10,25

Виконання порівняльної комерційної оцінки використання ГВ-1,8 в умовах модельного господарства здійснювалось за методикою відповідною до ГОСТ ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88 «Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки» [8] та нормативно-довідкових даних [4].

За наведено вище методикою були отримані результати економічної ефективності пропонованого технічного рішення. При цьому визначено, використання експериментального вібраційного глибокорозпушувача у виробничих умовах дозволяє скоротити прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи на 25,93 %, знизити питому трудомісткість на виконання безвідвального обробітку ґрунту на 35,76%. Річна економія коштів становить 176,59 грн./га, забезпечуючи термін окупності 1,2 року.

Висновки по розділу

Таким чином, із результатів визначення техніко-економічної оцінки модернізованого вібраційного глибокорозпушувача можна сказати про доцільність даної розробки. Так, як річна економія коштів становить 176,59 грн./га, забезпечуючи термін окупності 1,2 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, із проведених досліджень нами сформовані загальні висновки, що наведені нижче.

Проведений огляд використання вібрації в робочих органах при обробітку ґрунтів. За яким визначено, що використання вібрації робочих органів дозволяє краще розробляти ґрунт, особливо переущільнений. Із усіх розглянутих віброзбудників робочих органів, найкраще використовувати інерційні віброзбудники планетарного типу, оскільки вони дозволяють забезпечувати високі амплітуду й частоту коливань та забезпечують стійку роботу при подоланні великих опорів коливанням.

З'ясовано що при використанні глибокорозпушувача вібраційного ГВ-1,8 на робочій швидкості 2,5 м/с з бігунком масою 9,1 кг, порівняно з режимом роботи без вібрації на тій же швидкості, досягається зниження глибини на 18 % (з 26 % до 8 %), гребенистості на 9,5 % (з 21 % до 11,5 %), збереження стерні підвищується на 29 % (з 52 % до 81 %), знижується забивання робочих органів вологим ґрунтом. Також при цих же показниках швидкості і маси знижується тяговий опір з 28,5 до 24,4 кН, або 14,38 %. При цьому питома енергоємність обробітку знижується із 197,22 МДж/га до 176,26 МДж/га, або 10,62 %. Встановлено, що зниження тягового опору машини призводить до зниження буксування коліс трактора, за рахунок чого продуктивність за годину основного часу зростає з 1,16 га/год до 1,29 га/год, або на 11,2%.

В роботі приведені заходи з охорони праці під час роботи з вібраційним глибокорозпушувачем та правила техніки безпеки при його використанні. За даними нормативними документами дотримання цих правил дозволяє уникнути виробничим травмам на виробництві.

Здійснено розрахунки економічної ефективності пропонованої розробки. Із них визначено, що використання вібраційного глибокорозпушувача є доцільним. Так, як річна економія коштів становить 176,59 грн./га, забезпечуючи термін окупності 1,2 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабицький Л.О. Методика визначення режимів роботи коливальних пристроїв ґрунтообробних робочих органів з примусовим приводом. *Motrol*. 2009. №11. С. 9–14.
2. Дубровський А.А. Вібраційна техніка у сільському господарстві. Київ : Машинобудування, 1998. 204 с.
3. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 22.01.2026).
4. Методика визначення економічної ефективності технологій та сільськогосподарської техніки. Ч.2: Нормативно-довідковий матеріал. Київ, 1998. 252 с.
5. Нагайко М.А. Підвищення продуктивності ріллі шляхом розущільнення переущільнених ґрунтів. *Вісник НАУ*. 2013. Вип. 58. С. 116–121.
6. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.
7. Сільськогосподарські машини. Електронний підручник. URL: <https://rafk.if.ua/ebook/sgmash/Index.htm>. (Дата звернення: 20.02.2026).
8. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.
9. Щукін С.Г., Головатюк В.А. Дослідження процесу обробітку ґрунту вібраційним глибокорозпушувачем. *Вісник НАУ*. 2015. № 3. С. 83–90.
10. Bullock P., Newman C.D., Thomasson A.G. Porosity aspects of the regeneration of soil structure after compaction. *Soil and Tillage Research*. 1995. V. 5, N. 4. P 325–341.
11. Tabatabaekoloor R., Mousavi seyedi S.R. Effect of vibratory and non-vibratory subsoiling on the soil engineering properties. *International Conference of Agricultural Engineering CIGR-AgEng*. Spain, 2012. P. 163–168.