

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Юркін Максим Олегович

УДК 631.31

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА**

208 “Агроінженерія”

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

Керівник роботи
Куликівський В.Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Юркін Максим Олегович. Підвищення ефективності роботи чизельного плуга. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі на основі проведеного аналізу встановлено, що під час основного обробітку ґрунту вібро-частотні впливи на робочі органи дають змогу ефективніше руйнувати ґрунтовий шар, знижувати енерговитрати та тягове зусилля на гаку. Обґрунтовано та розроблено конструктивну й технологічну схеми вібро-частотного перетворювача спрямованої дії для комбінованого чизельного плуга. Застосування вібро-частотного перетворювача спрямованої дії дає змогу створювати коливання на робочі органи ґрунтообробної машини і знижувати тяговий опір до 25 %, порівняно із застосуванням стандартних ґрунтообробних машин.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що під час використання КЧП SVAROG ПЧП-4,5 М, оснащеного вібро-частотним перетворювачем спрямованої дії на робочій швидкості 2,7 м/с, частоті обертання дебалансів $n=1200$ об/хв, куті нахилу маятникового вібратора в поздовжній площині $\alpha = 30^0$, частоті коливань $f = 20$ Гц, віброшвидкості робочих органів $V_v = 0,9 \times 10^{-2} - 1,1 \times 10^{-2}$ м/с спостерігається максимальне зниження тягового опору до 18,7 % і скорочення витрати палива на 19,6 %.

Ключові слова: робочі органи, опір, конструкція, ґрунту, вібро-частотний перетворювач.

ANNOTATION

Maxim Olegovich Yurkin. Improving the efficiency of a chisel plough. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The master's thesis, based on the analysis, found that during basic tillage, vibration-frequency effects on working bodies allow for more efficient destruction of the soil layer, reduced energy consumption and traction on the hook. The design and technological schemes of a directional vibration-frequency transducer for a combined chisel plough have been substantiated and developed. The use of a directional vibration-frequency converter makes it possible to create vibrations on the working bodies of the tillage machine and reduce traction resistance by up to 25 % compared to the use of standard tillage machines.

Experimental studies have shown that when using the SVAROG PFC-4.5 M equipped with a directional vibration-frequency converter at an operating speed of 2.7 m/s, an unbalance rotation frequency of $n=1200$ rpm, angle of inclination of the pendulum vibrator in the longitudinal plane $\alpha = 300$, oscillation frequency $f = 20$ Hz, vibration speed of the working bodies $V_v = 0.9 \times 10^{-2} - 1.1 \times 10^{-2}$ m/s, a maximum reduction in traction resistance of up to 18.7 % and a reduction in fuel consumption of 19.6 % was observed.

Keywords: working tools, resistance, design, soil, vibration-frequency transducer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА ЇХНЯ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	9
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ВІБРО-ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СПРЯМОВАНОЇ ДІЇ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. За останні 30 років технологія обробітку ґрунту кардинально змінилася. Сучасні способи дають змогу екстенсивно нарощувати обсяги одержуваної сільськогосподарської продукції, хоча й не дають змоги вирішити низку проблем під час основного обробітку ґрунту: головна з них - боротьба з ерозією ґрунту, зниження тягового опору ґрунтообробних знарядь. Ґрунт необхідно обробити не тільки в агротехнічні терміни, а й правильно.

Як показує практика, одним з ефективних способів боротьби з ерозією є чизелювання. Чизелювання - безполицеве розпушування, кришіння орного та підорного горизонтів без обороту пласта. Чизель розпушує землю, відриваючи її від моноліту, але не ущільнює підорні шари й не утворює "плужної підшви". Прорізаючи щілини, він сприяє кращому поглинанню ґрунтом води, а також повнішому її проникненню.

Аналіз агротехнологій дав змогу виявити основні напрями удосконалення обробітку ґрунту, головні з них - зниження переущільнення та зменшення ерозії ґрунту, енерговитрат на роботи, підвищення врожайності та якості продукції. Це можливо шляхом застосування сучасних чизельних плугів, оснащених кільчастими котками. Подібні технології хоча й дають змогу знизити енерговитрати та підвищити врожайність, але при цьому використовуються енергонасичені трактори 5 - 9 тягового класу.

У зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на зниження тягових і підвищення експлуатаційних характеристик комбінованого чизельного плуга (ЧПЗ) шляхом застосування вібро-частотного перетворювача спрямованої дії (ВПНД), є актуальними та мають важливе наукове і господарське значення.

Принципово нові підходи в реалізації вібраційних ґрунтообробних знарядь запропоновано О.В. Верняєвим, М.М. Константиновим, С.М. Дроздовим, С.Г. Щукіним, О.А. Денисовою, М.А. Нагайка, С.Є. Федоровим та ін. За кордоном

проблемою вібраційного обробітку ґрунту займаються: Н.Р. Harrison (Велика Британія), J.G. Hendrick (США), W.F. Buchele (США), R. Tabatabaecoloor (Іран), R. Karoonboonyanan (Таїланд), V.M. Salokhe (Таїланд), Т. Niyamara (Таїланд), Hiroshi Nakashima (Японія), Kenneth Viking (Швеція), і багато інших.

Проте потрібні додаткові теоретичні та експериментальні дослідження щодо вдосконалення вібраційних знарядь для основного обробітку ґрунту та підвищення ефективності їхньої роботи.

Об'єкт дослідження – технологічний процес основного обробітку ґрунту комбінованим чизельним плугом оснащеним вібро-частотним перетворювачем спрямованої дії.

Предмет дослідження – закономірності процесу зміни тягового опору комбінованого чизельного плуга з вібро-частотним перетворювачем спрямованої дії.

Наукова гіпотеза. Зниження тягового опору та підвищення якісних показників ґрунту під час чизелювання можливе завдяки застосуванню вібро-частотного перетворювача у вигляді маятникового вібратора спрямованої дії зі змінними характеристиками збуджуючої сили.

Мета дослідження. Поліпшення тягово-експлуатаційних характеристик комбінованого чизельного плуга застосуванням вібро-частотного перетворювача спрямованої дії.

Завдання дослідження:

Вивчити вплив вібрації на ґрунт та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему вібро-частотного перетворювача спрямованої дії для чизельного плуга. дії для чизельного плуга.

Вивчити процес зміни тягового опору комбінованого чизельного плуга в полі. чизельного плуга в польових умовах з урахуванням процесу розподілу віброчастотних коливань по рамі.

Методи наукового дослідження. Експериментальні дослідження проводилися в польових умовах відповідно до загальноприйнятих і приватними

методиками, а також із використанням теорії планування багатофакторних експериментів. багатофакторних експериментів. Використовували моделювання та оптимізацію виробничого процесу вібраційного чизелювання, динамометрування; математичну обробку результатів експериментів; агротехнічну, енергетичну та економічну оцінку роботи комбінованого чизельного плуга виконувалася з використанням відображення плуга виконувалася з використанням галузевих стандартів; законів і методів класичної теорії сільськогосподарських машин, землеробської механіки, фізики, опору матеріалів, матмоделювання.

Під час виконання досліджень застосовували прилади та апаратуру для визначення вологості та твердості ґрунту, тягову ланку, тестер вібрації тощо.

Обробка експериментальних даних і розрахунки виконувалися методами математичної статистики на ПЕОМ з використанням стандартних програм Mathcad і Excel.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Куликівський В.Л., **Юркін М.О.** Вплив вібрації на властивості оброблюваного ґрунту. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 397.

2. Куликівський В.Л., **Юркін М.О.** Аналіз розробок у галузі вібраційного способу обробітку ґрунту для зниження тягового опору. *Біоенергетичні системи: Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет. 2023. С. 20-24.*

3. Куликівський В.Л., **Юркін М.О.** Конструктивна схема вібро-частотного перетворювача спрямованої дії. *Матеріали VI всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування»*. 21-22 грудня 2023 року. м. Полтава. 2023.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для агропромислового комплексу України представляє розроблена конструктивно-технологічна схема вібро-частотного перетворювача спрямованої дії для комбінованого чизельного плуга.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту, містить 21 рисунок і 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ ТА ЇХНЯ ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

У 70-х роках став розроблятися новий напрямок - мінімізація обробітку ґрунту, яка ґрунтується на зниженні переуцільнення ґрунту, зменшенні втрат органічних і поживних речовин із ґрунту, зниженні енергетичних і трудовитрат. Великий внесок у цей напрямок зробили професори Б.А. Доспехов, С.А. Наумов, К.І. Саранін, А.І. Пупонін та ін.

Мінімізація обробітку ґрунту досягається завдяки скороченню кількості та глибини основних обробітків у сівозміні на ґрунтах із достатньо позитивними властивостями для росту рослин, суміщенню технологічних операцій, заміни відвальних обробітків безвідвальними, це дає змогу зменшити кількість проходів техніки по полю, скоротити терміни виконання робіт, збільшити продуктивність праці в 1,5 - 2 рази та знизити енергетичні витрати на 30 - 40%.

Нова технологія має й недоліки: погіршується фітосанітарний стану ґрунту, зокрема, підвищується забур'яненість посівів, ураженість культур хворобами та шкідниками. Зниження темпів мінералізації гумусу погіршує забезпеченість культурних рослин азотом, особливо після зернових попередників, що потребує додаткового внесення азотних добрив.

На похилих землях, схильних до ризику ерозії, розроблено системи ґрунтозахисного обробітку ґрунту, що базуються:

- на застосуванні безвідвального чизельного обробітку;
- оранці зі щільуванням, зі зміною мікрорельєфу поля;
- мульчуванні ґрунту солом'яною крихтою та зменшенні оброблюваної поверхні та глибини розпушування.

Якщо говорити про збереження вологи в ґрунті, слід зазначити - навесні поля, зорані відвальним плугом, звільняються від снігу на два-три тижні раніше, ніж оброблені безвідвальним способом, а волога з них починає зникати не по

днях, а по годинах. Крім того, відвальна оранка більше за інші обробітків схильна до вітрової та водної ерозії, а через відсутність соломи на поверхні поля не захищає ґрунт від перегріву.

У США лише 10% площ орють відвально, а такі країни, як Аргентина, Бразилія і Канада, взагалі відмовилися від відвального плуга. Замість цього вони здійснюють нарізування щілин у ґрунті за технологією strip-till. Ця технологія дуже популярна у США. За допомогою її, після збирання вирощуваних культур нарізають у ґрунті щілини через 70 см, завширшки 10 см і завглибшки до 20 см, з одночасним внесенням у них до 150 кг/га мінеральних добрив.

Навесні в ці щілини висівають насінням кукурудзи або соняшнику. Ця технологія видається перспективною тому, що відповідає всім агротехнічним вимогам, а також сприяє розвитку в рослин потужнішої кореневої системи за рахунок того, що коріння тягнеться за добривами, внесеними в щілини.

Розроблена зональна система обробітку ґрунту прийнята в області передбачає зміну структури посівних площ у бік збільшення площі посіву озимих культур, зі зміною системи обробітку ґрунту в бік скорочення частки глибоких обробітків і проведення на частині площі прямого посіву

Найбільша частка плоскорізної та безвідвальної (зокрема чизельними плугами, стійками та іншими знаряддями) має припадати на східні райони області, які найбільше схильні до вітрової ерозії та посухи (73,6 %). Найбільша питома вага глибокої відвальної оранки (34,9 %) припадає на західну зону, де в структурі посівів великий відсоток просапних культур і багаторічних трав. Загалом по області глибоку оранку на 25-27 см (подекуди до 30 см) необхідно здійснювати на 12,5 % площі ріллі.

Основні переваги безполицевого обробітку - захист від масового прояву ерозії ґрунту, можливість накопичення і заощадження вологозапасів, особливо в південних областях країни, збалансованість гумусового балансу ґрунту, насамперед, верхньої його частини, зниження витрат на проведення обробітку.

Фактор ресурсозбереження часто виступає як визначальний в умовах сучасного розвитку сільського господарства країни. умовах сучасного розвитку сільського господарства країни.

Не заперечуючи загальновідомі позитивні факти, зупинимося на деяких недоліках безполицевих прийомів обробітку ґрунту: погіршення фітосанітарної ситуації, диференціація орного шару за родючістю, відсутність можливості якісного загортання рослинних решток, добрив, меліорантів, обмеженість можливості регулювання фізичних властивостей ґрунту, зокрема, будови та структури.

У середньому за роки досліджень краще реагували на оранку картопля, ячмінь сформував однакову середню врожайність за обома обробітками ґрунту.

Однак під час аналізу ситуації неоднозначно виглядає вплив відвального та мінімального обробітків на врожайність ячменю. У половині років періоду досліджень перевага за мінімальним обробітком і лише завдяки перевищенню врожайності на відвальному фоні у 2020 та 2022 рр., середні показники на користь цього варіанта, але говорити про суттєву перевагу будь-якого обробітку не доводиться, оскільки відмінність становила лише 0,03/га.

Картопля традиційно найбільшою продуктивністю реагувала на відвальний обробіток ґрунту. За всі роки досліджень урожайність бульб картоплі по оранці перевищувала мінімальний обробіток на 2,6 т/га.

Дослідження, проведені в Республіці Дагестан на схилах крутизною 10-120 за щільювання ґрунту на глибину до 40 см дали змогу скоротити змивання ґрунту на 50-70 % порівняно зі звичайною оранкою на глибину 20-22 см.

Обробіток ґрунту чизельними культиваторами та плугами, а також розпушувачами-щілювачами зі стрілочастими розпушувальними лапами та роторними приставками для обробітку верхнього шару ґрунту дає змогу в 1,3 - 1,5 рази зменшити загальні енерговитрати, а також покращує агрофізичні властивості ґрунту та підвищує врожайність культур. Загалом застосування

безполицевих технологій дає змогу знизити витрату палива на 13,4-27,8 кг/га, металу – на 11,6-12,9 кг і витрат праці - на 0,9-1,33 люд-год.

Концептуальні розробки щодо нових технологій обробітку ґрунту проводяться багатьма вченими. Теоретичний доробок, розроблений В.П. Горячкіним на початку ХХ століття, було реалізовано лише 1937 року М.М. Криловим, який проводив досліді з кротовим плугом типу ДП ВНДІГіМ. Проведені експерименти за участю його наукової групи виявили помітне зниження тягового опору під час дії вібрації. Найбільше зниження тягового опору до 35 % спостерігалось за кругової вібрації, поступальної швидкості 1,4 м/с і глибини роходки близько 0,3 м. М.М. Крилов довів доцільність використання вібрації для зменшення тягових опорів ґрунтообробних знарядь [17].

Пізніше, М.М. Летошньов і В.І. Цветніков, проводили досліді причіпним і однокорпусним плугами. Коливання повідомлялися плугу у вертикальній площині за рахунок механічного віброзбуджувача жорстко закріпленого на рамі знаряддя [17].

Під час оранки зв'язних ґрунтів зниження тягового опору становило 30 %, сипучих – 15 % [17].

Дубровін Н.Г. у 60-х роках минулого століття досліджував роботу культиватора з віброуючими лапами і дійшов висновку, що тяговий опір знаряддя залежить від вологості ґрунту. Якщо вологість ґрунту вища або нижча за оптимальне значення, спостерігається зниження тягового опору знаряддя з лапами, що віброують, і може доходити до 65 % [17].

Верняєв О.В. запропонував оригінальну конструкцію вібраційного культиватора, в якому робочі органи здійснювали кутові коливання в поздовжній площині. Таким чином, дали змогу домогтися найбільш якісної культивації за різної вологості ґрунту (рис. 1.1) [17].

Нині інтерес до вібраційного способу обробітку зріс, за рахунок нових підходів, гіпотез, технічних можливостей, накопиченого досвіду [17].

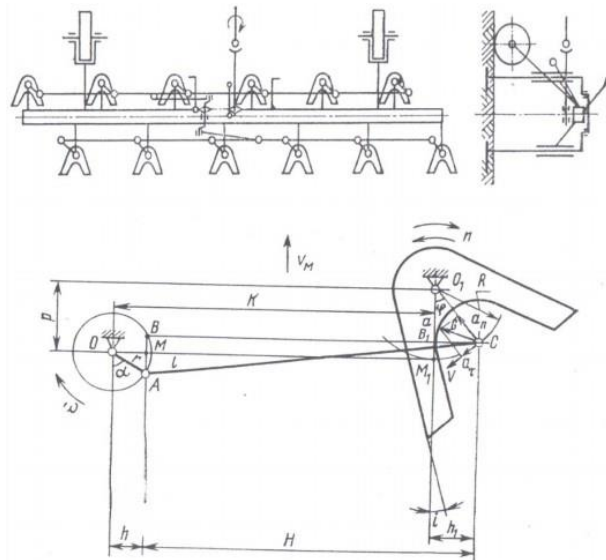


Рис. 1.1. Культиватор із кутовими коливаннями робочих органів (пояснення в тексті) [17].

Тут слід відзначити роботу С.Г. Щукіна і М.А. Нагайка, які запропонували і реалізували пристрій інерційного віброзбуджувача планетарного типу, встановленого на рамі глибокорозпушувача. За використання ГВ-1,8 на робочій швидкості 2,5 м/с із бігунком масою 9,1 кг (амплітуда коливань робочих органів, визначена на стаціонарі, становила $4,53 \cdot 10^{-3}$ м), порівняно з режимом роботи без вібрації на тій самій швидкості, дає змогу знизити тяговий опір із 28,5 до 24,4 кН, або на 14,38 %. Встановлено, що зниження тягового опору машини призводить до зниження буксування коліс трактора, покращення агротехнічних показників обробітку ґрунту (рис. 1.2) [17].

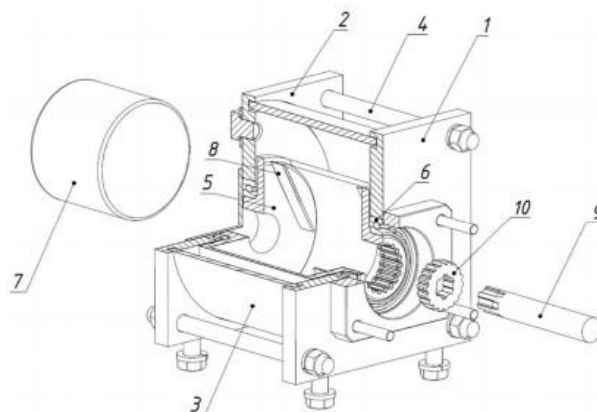


Рис. 1.2. Інерційний віброзбудник планетарного типу: 1 – плита фронтальна; 2 – плита тилова; 3 – труба; 4 – шпилька; 5 – ротор; 6 – підшипник; 7 – бігунки; 8 – напрямна ротора; 9 – вал шліцьовий; 10 – шестірня приводна.

М.М. Константинов і С.М. Дроздов розробили вібробудувач спрямованих коливань для комбінованого глибокорозпушувача GREGOIRE BESSON HELIOS SP. Польовими випробуваннями встановлено закономірності, що характеризують ефективність використання пропонованого комбінованого ґрунтообробного знаряддя, оснащеного механічним вібробудувачем. Випробування засвідчили зниження тягового опору знаряддя на 23 %, питомої витрати палива на 23,8 %, за дотримання агротехнічних вимог (рис.1.3) [17].

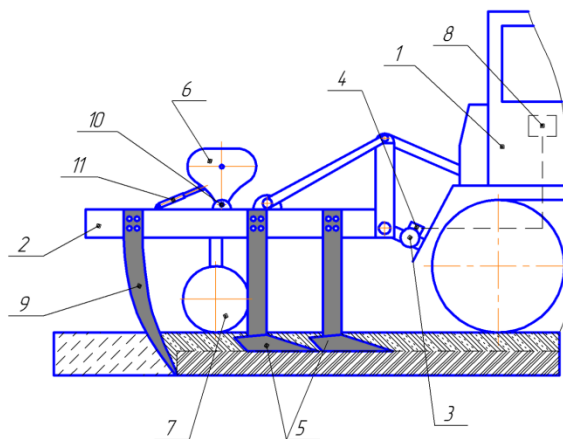


Рис. 1.3. Схема комбінованого глибокорозпушувача: 1 – МЕЗ; 2 – ґрунтообробне знаряддя; 3 – причіпна ланка; 4 – датчик; 5 – плоскорізна лапа; 6 – маятниковий вібратор спрямованої дії; 7 – опорне колесо; 8 – прилад; 9 – розпушувач; 10 – шарнірна вісь; 11 – гідроциліндр; 12 – дебаланси [17].

Слід відзначити роботу Д.С. Гапич та О.О. Денисової, які підвищили ефективність роботи культиватора за рахунок робочих органів зі змінною частотою власних коливань. Загальне зниження середнього значення гакового зусилля трактора на резонансному режимі роботи становило: для ґрунтового фону стерня до 18%, на ґрунтовому фоні пар до 12% [17].

На дорезонансному режимі роботи: для ґрунтового фону стерня до 10%, на ґрунтовому фоні пар до 6%. На післярезонансному режимі роботи: для ґрунтового фону стерня до 14%, на ґрунтовому фоні пар до 7% (рис. 1.4) [17].

На основі експериментальних досліджень М.М. Чаткін і С.Є. Федоров домоглися підвищення якості поверхневого обробітку ґрунту регулюванням жорсткості пружної стійки культиватора. У результаті встановлено, що

збільшення жорсткості стійки з 6826 Н/м (стандартна) до 14320,5 Н/м дає змогу її використовувати на глибині до 5 см із дотриманням агротехнічних вимог, а збільшення до 21815 Н/м - до 10,5 см. При цьому збільшення жорсткості стійки з 6826 Н/м до 21815 Н/м призводить до зниження тягового опору агрегату за глибини обробітку ґрунту 4 см на 4,38 кН (35%); 8 см – 7,3 кН (24%); 12 см – 9,49 кН (19%), поліпшення якості подрібнення ґрунту та зменшення гребеневіддачі (рис. 1.5) [17].

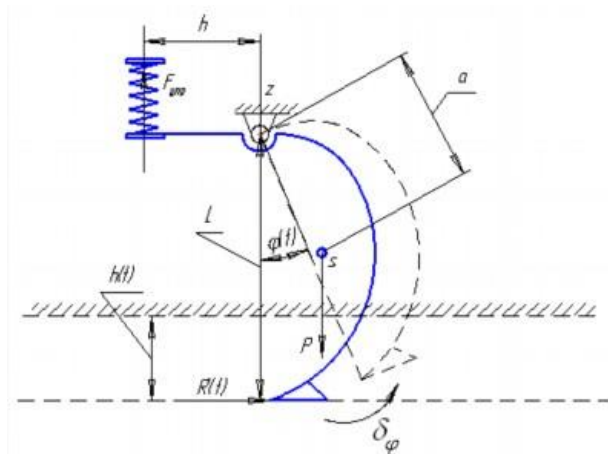


Рис. 1.4. Розрахункова схема стійки культиватора Bourgault 8810: P – сила тяжіння культиваторної стійки, Н; $F_{унр}$ – сила пружності пружини, Н; R – результуюча сила опору ґрунту, Н; a – відстань від шарніра до центру мас, м.



Рис. 1.5. Пружна стійка [17].

Слід відзначити роботу зарубіжних колег з Азіатського технологічного інституту та університету Касетсарт (Таїланд), а також Кіотського університету (Японія). R. Karoonboonyanan, V.M. Salokhe, T [17].

Niyamara, Hiroshi Nakashima розробили одноважільний глибокорозпушувач, робочий орган якого міг здійснювати коливання в поздовжній і вертикальній площинах. Проведені дослідження засвідчили, що за поздовжніх коливань робочого органу зниження тягового опору становило 29 %, за вертикальних коливань - 34 % (рис. 1.6) [17].

З огляду на викладене, нами сформульовано робочу гіпотезу: зниження тягового опору, підвищення якості обробітку ґрунту чизельним плугом, буде забезпечено завдяки вібробудувачу спрямованої дії зі змінюваними фазами збурювальної сили [17].

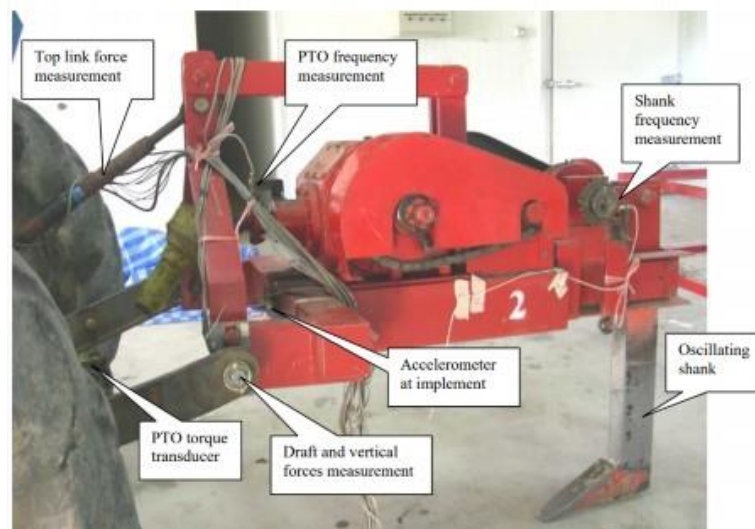


Рис. 1.6. Вібруючий одноважільний глибокорозпушувач [17].

Підвищення ефективності вібрації робочих органів зі зростанням щільності оброблюваного ґрунту є передумовою для використання вібраційних робочих органів для обробітку антропогенно переущільнених ґрунтів [16, 17].

Також Р.М. Зоненберг встановив, що збільшення вологості ґрунту в певному діапазоні спричиняє зниження тягового та питомого опорів робочих органів (рис. 1.7.). У дослідях на суглинному та супіщаному ґрунтах найбільш інтенсивне зниження опору спостерігалось до вологості 18...21%. За досягнення цієї межі зниження опору відбувається більш плавно через налипання ґрунту на робочу поверхню. У разі збільшення вологості понад 25% знову починається інтенсивне зниження опору [16, 17].

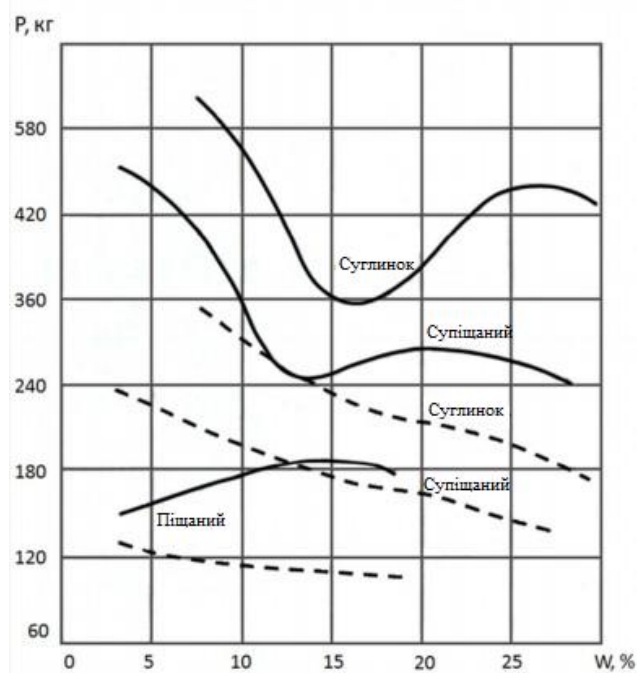


Рис. 1.7. Залежність тягового опору від відносної вологості ґрунту [16, 17]:

— без вібрації;

- - - з вібрацією.

Висновки по розділу

Досліди показали, що в разі збільшення вологості зв'язних ґрунтів від 3,2 до 28,2% тяговий опір знижується на 37...42%. Зміна вологості піщаного ґрунту від 4,75 до 18,5% призводила до зниження опору на 17...18%. Загалом, отримані дані показують, що використання вібрації робочих органів дає змогу ґрунтообробним знаряддям працювати за більшої вологості ґрунтів, що розширює технологічні можливості [16, 17].

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНА СХЕМА ВІБРО-ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА СПРЯМОВАНОЇ ДІЇ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

На підставі аналізу знарядь для основного обробітку ґрунту розроблено конструктивну схему вібро-частотного перетворювача спрямованої дії дебалансного типу, що встановлюється на раму чизельного плуга (рис. 2.1) [18].

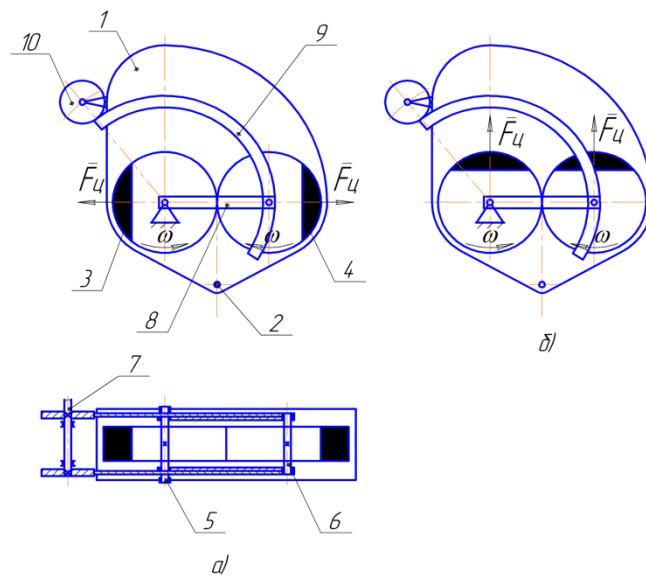


Рис. 2.1. Конструктивна схема вібро-частотного перетворювача спрямованої дії: а) – у вертикальному положенні корпуса з урівноважувальними збурювальними силами від дебалансів F_u ; б) – у вертикальному положенні корпуса за повороту дебалансів на 90° (пояснення в тексті) [18].

Вібро-частотний перетворювач складається з корпусу 1, шарнірної осі 2, дебалансів 3, 4 у вигляді зубчастих коліс, валів 5, 6, 7, який вирізняється тим, що рухомий дебаланс 4, встановлений на валу 6, повертається навколо осі обертання вала 5 іншого дебаланса 3 на кут $0 \dots 90^\circ$ за допомогою штанги 8, при цьому до штанги 8 закріплений дуговий зубчастий сектор 9, що входить у зачеплення з ведучою шестернею 10, закріпленою на валу 7, за допомогою якої здійснюється поворот рухомого дебаланса 4 [18].

Вібро-частотний перетворювач працює таким чином. При положенні корпусу 1 вібро-частотного перетворювача у вертикальному положенні (рис. 2.1

а, б), крутний момент підводиться до ведучого валу 5, на якому закріплений дебаланс 3. Дебаланс 3, перебуваючи в зачепленні з рухомим дебалансом 4, закріпленим на валу 6, починають обертатися з рівними кутовими швидкостями ω в різні боки. У процесі обертання дебалансів 3 і 4 виникає відцентрова сила $F_{ц}$. При вертикальному положенні дебалансів, відцентрова сила $F_{ц}$ досягатиме максимального значення, оскільки вони збігаються за напрямком. Під час повороту дебалансів 3, 4 у різні боки (горизонтальне положення дебалансів) відцентрові сили $F_{ц}$ від кожного дебаланса 3, 4 окремо врівноважуються. Для отримання збурень у горизонтальній і вертикальній площині одночасно, необхідно корпус 1 вібро-частотного перетворювача повернути на кут α , тим самим сумарна збурювальна відцентрова сила $F_{В} = F_{ц} + F_{ц}$ від дебалансів розкладатиметься на складові F_x та F_y (рис. 1 г). Таким чином, можна отримувати спрямовані вимушені коливання. Якщо за допомогою провідної шестерні 10, встановленої на валу 7 і закріпленої на корпусі 1, впливати на дуговий зубчастий сектор 9, з'єднаний зі штангою 8, то рухомий дебаланс 4 із валом 6 повертатиметься відносно дебалансу 3, встановленого на валу 5, на якийсь необхідний кут β (рис. 2 д). Отримаємо різний напрямок відцентрової сили $F_{ц}$ від дебалансів, тим самим можна регулювати зсув фаз коливання. Поворот штанги 8 з рухомим дебалансом 4 і валом 6 на кут 90° , дасть змогу отримати максимальну величину відцентрової сили в горизонтальній площині, а у вертикальній вони дорівнюватимуть 0 (рис. 2.2 е) [18].

Таким чином, розширюються кінематичні можливості вібро-частотного перетворювача спрямованої дії, виконаного у вигляді дебалансів. Тим самим можна регулювати величину збурювальної сили [18].

Зниження тягового опору ґрунтообробних знарядь є пріоритетним напрямком роботи виробників сільськогосподарських машин [18].

Процес взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин із ґрунтом, який являє собою неоднорідну структуру, складно досліджувати теоретичними методами. У цьому випадку більш зручно проводити польові експерименти [18].

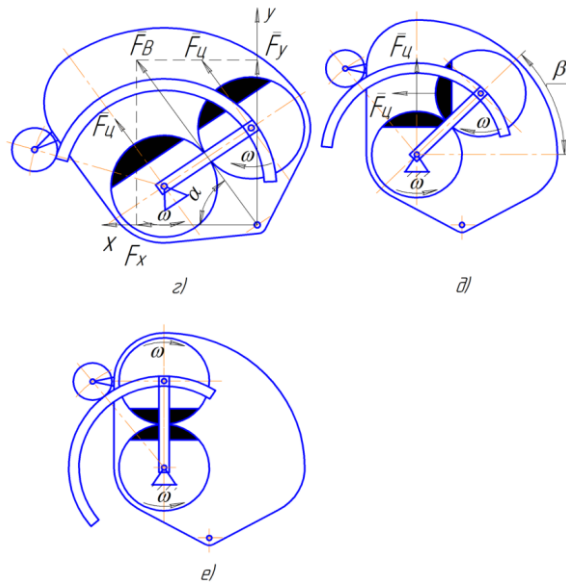


Рис. 2.2. Конструктивна схема вібро-частотного перетворювача спрямованої дії: г) – корпус повернений на кут α ; д) – у вертикальному положенні корпусу, а рухомий дебаланс повернутий на якийсь кут β ; е) – у вертикальному положенні корпусу під час повороту рухомих дебалансом на кут 90° [18].

Для дослідження ми вибрали комбінований напівпричіпний чизельний плуг SVAROG ПЧП-4,5 для основної обробки ґрунту (рисунок 2.3.) оснащений вібро-частотним перетворювачем спрямованої дії [18].

Технічні характеристики комбінованого чизельного плуга наведено в таблиці 2.1 [18].

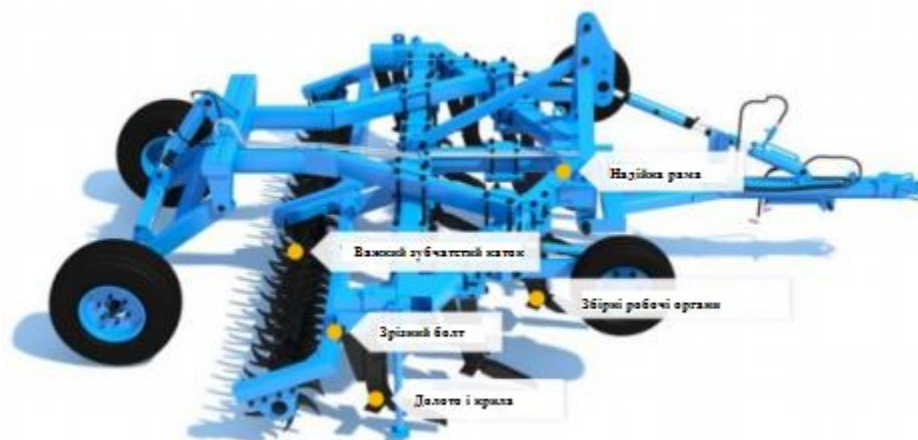


Рис. 2.3. Плуг комбінований чизельний напівпричіпний SVAROG ПЧП-4,5 у заводському виконанні (пояснення в тексті)/

Як показує практика, найефективнішим буде виготовити віброчастотний перетворювач спрямованої дії з дебалансними віброзбудниками, що встановлюється на раму знаряддя і має функцію реалізації спрямованих коливань (рис. 2.4).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики комбінованого чизельного плуга SVAROG ПЧП-4,5

Технічні характеристики	Значення
Спосіб агрегування	Напівпричіпний
Продуктивність за 1 годину основного часу, га/год	до 4,6
Робоча швидкість, км/год	до 10
Ширина захвату, м	4,4-4,5
Маса, кг	3950±120
Глибина обробітку, см	до 45
Габаритні розміри (в робочому положенні), мм	
Довжина	6240±190
Ширина	4560±135
Висота	2455±65
Ширина захоплення робочого органу, мм	320
Кількість робочих органів, шт.	12
Термін служби, років	8
Агрегування з тракторами 350-450 к.с.: К-744Р2, К-744Р3, К-739, К-742, BuhlerVersatileННТ 4WD, CaseSteiger 450, JohnDeere 9420	

Вимоги до ґрунту: не засмічений камінням, плитняком та іншими перешкодами, з питомим опором до 0,12 МПа (1,2 кг/см²), твердістю 4 МПа (40 кг/см²) і вологістю до 22%



Рис. 2.4. Вібро-частотний перетворювач спрямованої дії: 1 – рама віброзбуджувача; 2 – вал із підшипником; 3 – дебаланс; 4 – електродвигун.

Модернізований комбінований чизельний плуг (рис. 2.5) складається з рами 1, на якій закріплений вібро-частотний перетворювач спрямованих коливань 2, передні та задні опорні колеса 3 і 5, зубчасті котки 4 і робочі органи 6. На подібний ґрунтообробний агрегат отримано патент на винахід.



Рис. 2.5. Плуг чизельний напівпричіпний SVAROG ПЧП-4,5, оснащений механічним вібробуджувачем: 1 – рама чизельного плуга; 2 – маятниковий вібратор спрямованої дії; 3 – заднє опорне колесо; 4 – зубчастий коток; 5 – переднє опорне колесо; 6 – робочий орган

Акт впровадження чизельного плуга з віброчастотним перетворювачем спрямованої дії подано в додатку В. Метою даного випробування була порівняльна оцінка тягового опору комбінованого чизельного плуга оснащеного віброчастотним перетворювачем спрямованої дії (модернізований варіант) і традиційного комбінованого чизельного плуга під час суцільного обробітку ґрунту (рисунок 2.6). Характеристика ділянки проведення випробувань наведена в таблиці 2.2



Рис. 2.6. Трактор JOHNDEERE 9420R + SVAROG ПЧП-4,5М (пояснення в тексті)

Таблиця 2.2 – Показники агрофону ділянки проведення випробувань

Показник, одиниця виміру	Середнє значення
Кут профілю, град	3
Засміченість ґрунту пожнивними рештками, г/м ²	372,6
Масова частка фракцій (0 - 25 см): до 25 мм/більше 25 мм, %	39,4/60,6
Вологість ґрунту в шарі (20 - 30 см)	8,9
Твердість ґрунту (0 - 15/15 - 30 см), кг/см ²	26,9/38,1

Для визначення інтенсивності поширення вібрації по рамі КЧП було розроблено програму з вимірювання рівня вібрації робочих органів.

Для цього робочі органи було пронумеровано (рисунок 2.7), за допомогою рулетки виміряно відстань по рамі ґрунтообробного знаряддя, від місця встановлення ВПНТ до точки на робочому органі, де проводилося вимірювання вібрації. Вимірювання здійснювали за допомогою тестера вібрації TV 110 (рисунок 2.8). Прилад застосовується для заміру рівня вібрації в механізмах машин за такими критеріями, як віброприскорення, віброшвидкість, а також вібропереміщення.



Рис. 2.7. Схема нумерації робочих органів комбінованого чизельного плуга для вимірювання їхньої віброактивності плуга для вимірювання їхньої віброактивності (пояснення в тексті).

Амплітуда коливань (мм) - це найбільше зміщення точки, що коливається точки, що коливається, від нейтрального положення. Швидкість вібрації - це перша похідна зміщення за часом, (м/с). Прискорення вібрації (м/с²) - це друга похідна зміщення за часом.



Рис. 2.8. Тестер вібрації TV 110.

Завдяки наявності зовнішнього виносного датчика, використовувати пристрій можна в польових умовах. Виміряні показники відображаються на пристрої на РК-дисплеї.

Встановлюємо датчик вібрації за допомогою магніту перпендикулярно до поверхні досліджуваного об'єкта. Інформацію про параметри випробування бачимо на екрані LCD електронного блока. За допомогою кнопки (Робота/Стоп) записуємо показання в пам'ять електронного блока. Вимірювання проводимо у двох площинах (горизонтальна/вертикальна) під час усталеного руху МТА з 3-х кратною повторністю.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З урахуванням результатів регресивного аналізу для параметра тягового опору комбінованого чизельного плуга Y_1 (таблиця 3.1), оцінки значущості коефіцієнтів і підстановки значення в рівняння (3.1), яке матиме такий вигляд, отримаємо:

$$Y_1 = 66,79049 + 1,06183 \cdot X_1 - 0,01229 \cdot X_2 - 0,35003 \cdot X_3 + 0,00256 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,15629 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,00016 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,00010 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3.1)$$

Ті з коефіцієнтів, у яких імовірність статистичної помилки (Ст. Ош. б) для чинників і взаємодій чинників більша за обраний рівень значущості - 0,05 (або 5 %), виключалися з рівняння регресії. Після коригування і заміни кодованих значень відповідними параметрами рівняння (3.1) набуде такого вигляду:

$$Y_1 = 66,79049 + 1,06183 \cdot X_1 - 0,01229 \cdot X_2 - 0,35003 \cdot X_3 + 0,15629 \cdot X_1 \cdot X_3, \quad (3.2)$$

На підставі таблиці побудували залежності (рисунок 3.1 - 3.3).

Як бачимо з рівняння 3.2, фактор кутова швидкість (X_2) виявився не значущим через коефіцієнт $b = 0,01229$. Це пояснити можна тим, що глибину обробітку ґрунту з технічних причин не могли регулювати і вона становила 25 см. Через сталу глибину обробітку ґрунту не було змоги розширити діапазон зміни кутових частот обертання дебалансів, що обмежило реалізацію повною мірою збурювальної сили від вібро-частотного перетворювача спрямованої дії в ґрунтовому масиві.

Отримана поверхня відгуку (рис. 3.1) показує, що зі збільшенням частоти обертання дебалансів за робочої швидкості 2,69 м/с, можна бачити помітне зниження тягового опору комбінованого чизельного плуга. За робочої швидкості 1,2 м/с спочатку тяговий опір знижується в інтервалі частот обертання дебалансів 500 - 900 об/хв, а далі, до 1200 об/хв, тяговий опір практично не змінюється. Пояснюється це тим, що глибина обробітку ґрунту мала постійне значення. У зв'язку з цим, очевидно ґрунт уже не міг володіти великими

дисипативними властивостями для поглинання вібраційної активності, яка руйнує ґрунт, а більша частина вібрації стала витрачатися на амплітудні коливання ґрунтообробного знаряддя.

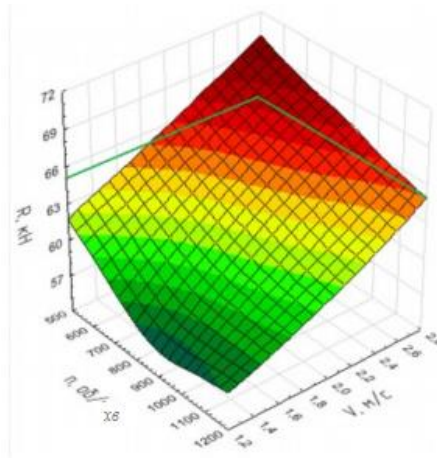


Рис. 3.1. Залежність тягового опору комбінованого чизельного плуга від швидкості руху агрегату та частоти коливань віброчастотного перетворювача спрямованої дії та постійному куті нахилу вібро-частотного перетворювача в поздовжньо-вертикальній площині на кут 30°

При цьому швидкість і тяговий опір пов'язані квадратичною залежністю (форма параболі), що підпорядковується формулі В.П. Горячкіна. Зі збільшенням швидкості зростає тяговий опір.

Із поверхні відгуку (рис. 3.2) видно, що істотне зниження тягового опору в ґрунтообробного агрегату спостерігається за кута встановлення вібро-частотного перетворювача в поздовжньо вертикальній площині на кут $\alpha = 30-35^{\circ}$. . Слід зазначити, що за швидкості руху агрегату 1,2 м/с цей кут дорівнює 35° , а за 2,69 м/с він становить уже 30° .

Значне збільшення тягового опору знаряддя ми можемо бачити тоді, коли кут установки вібро-частотного перетворювача в поздовжньо-вертикальній площині становитиме вертикальній площині становитиме $50 - 60^{\circ}$. . У цьому разі переважаючою буде горизонтальна складова сили, що обурює, що очевидно не сприятливо позначається на позитивних якостях роботи вібро-частотного перетворювача. перетворювача.

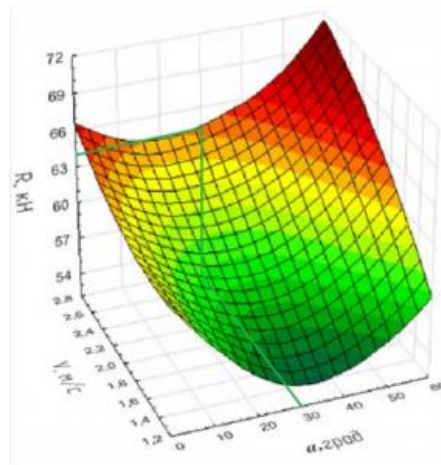


Рис. 3.2. Залежність тягового опору комбінованого чизельного плуга від кута нахилу вібро-частотного перетворювача чизельного плуга від кута нахилу вібро-частотного перетворювача спрямованої дії в поздовжньо-вертикальній площині та швидкості руху агрегату і постійній частоті обертання дебалансів 1200 об/хв

Аналізуючи отриману поверхню відгуку (рис. 3.3) можна спостерігати, що зі збільшенням частоти обертання в усьому діапазоні обертів ми бачимо зниження тягового опору в усьому інтервалі зміни кута нахилу вібро-частотного перетворювача в поздовжньо-вертикальній площині, з іншого боку оптимальне значення кута нахилу вібробудника стосовно тягового опору спостерігається за $\alpha = 30^{\circ}$.

Остаточно необхідно пов'язати експериментальні дані, отримані під час роботи ґрунтообробного знаряддя з вібробудником і без нього. Для цього побудуємо графіки залежності тягового опору і годинної витрати палива від частоти швидкості руху агрегату за оптимальних постійних значень α і n (рисунок 3.4, 3.5)

На рис. 3.4 ми бачимо помітне зниження тягового опору ґрунтообробного знаряддя, оснащеного вібробудником. Слід зазначити, що за швидкості руху ґрунтообробного агрегату 1,44 м/с (5,2 км/год) зниження становить 1,9 кН (3,47 %), а на швидкості руху 2,69 м/с (9,7 км/год) зниження - 13,65 кН (18,7 %).

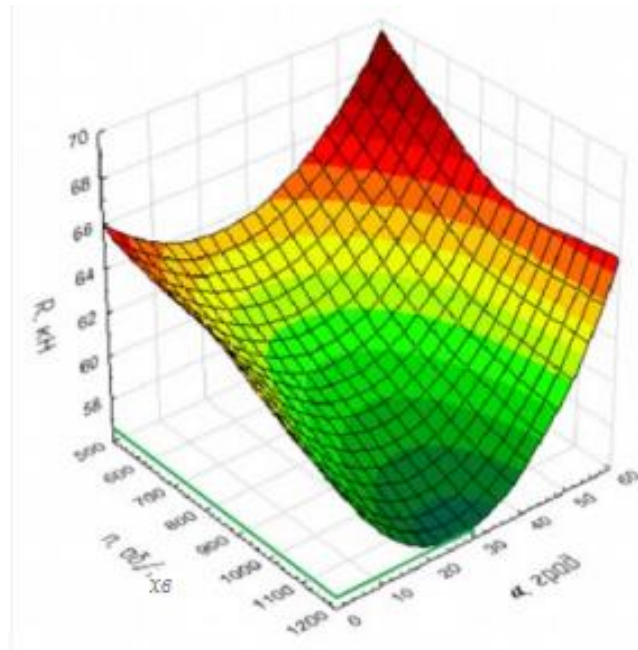


Рис. 3.3. Залежність тягового опору комбінованого чизельного плуга від кута нахилу вібро-частотного перетворювача чизельного плуга від кута нахилу вібро-частотного перетворювача спрямованої дії в поздовжньо-вертикальній площині та частоти коливання вібро-частотного перетворювача спрямованої дії за постійної робочої швидкості агрегату 2,69 м/с

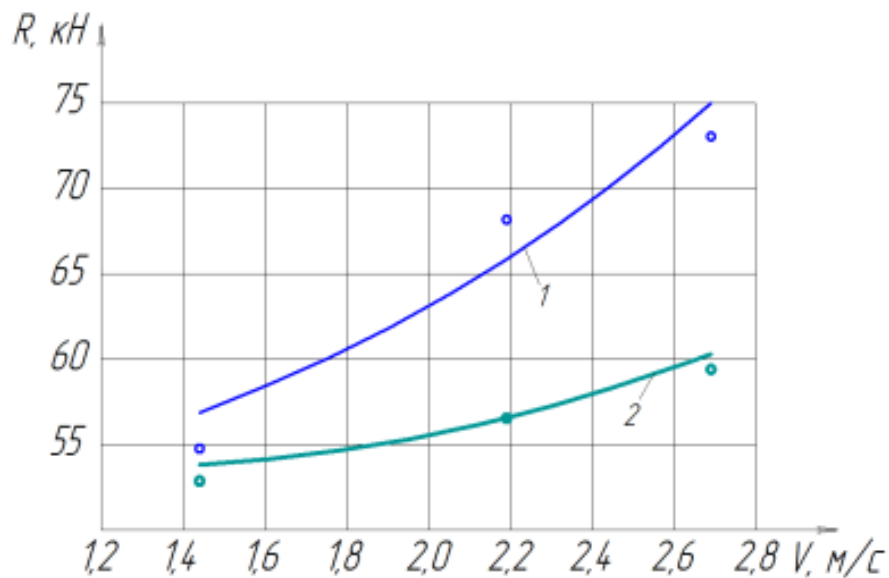


Рис. 3.4. Залежність тягового опору ґрунтообробного знаряддя від швидкості руху агрегату за постійних значень $n = 1200$ об/хв і $\alpha = 300 : 1$ – знаряддя без вібро-частотного перетворювача; 2 – знаряддя з вібро-частотним перетворювачем

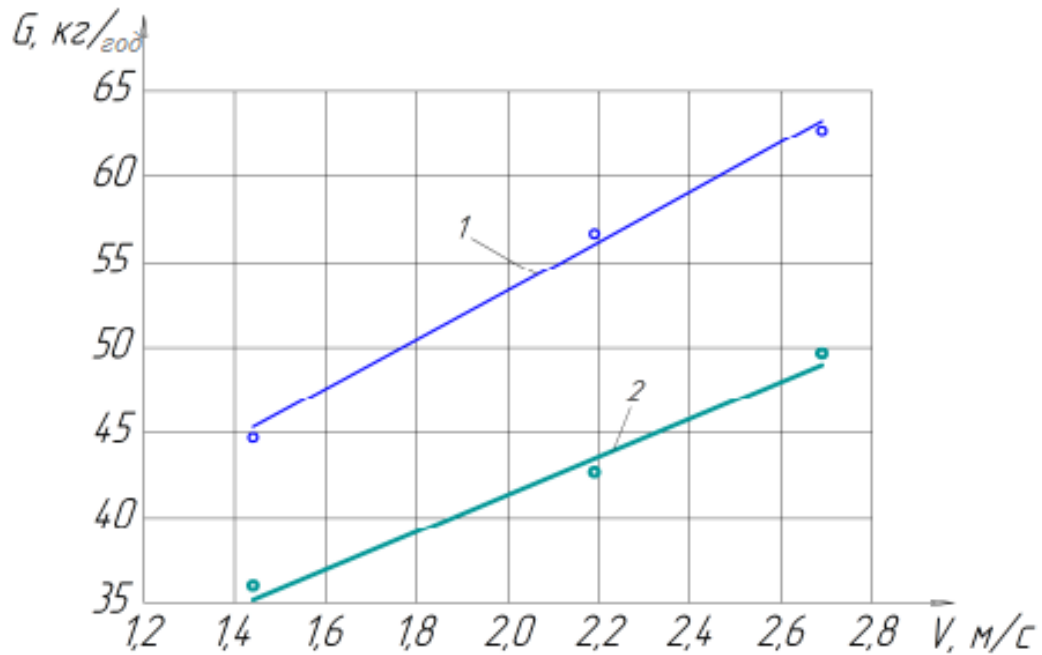


Рис. 3.5. Залежність годинної витрати пального трактора від швидкості руху агрегату за постійних значень $n = 1200$ об/хв і $\alpha = 30^{\circ}$: 1 – знаряддя без вібро-частотного перетворювача; 2 – знаряддя з вібро-частотним перетворювачем.

Аналіз графіка (рис. 3.5) показує, що спільно зі зниженням тягового опору зменшується годинна витрата пального на 8,7 кг/год за 1,44 м/с та на 13 кг/год за 2,69 м/с. (19,6 %), що свідчить про ефективність використання вібро-частотного перетворювача спрямованих коливань, встановленого на рамі ґрунтообробного знаряддя.

Поєднавши експериментальну та теоретичну криві тягового опору комбінованого чизельного плуга, оснащеного віброчастотним перетворювачем (рис. 3.6), що характеризують залежність тягового опору від швидкості МТА залежно від кожного збурювального фактору (X_1 , X_2 , X_3) показують близьку збіжність теоретичних розрахунків із даними дослідів мають квадратичну залежність.

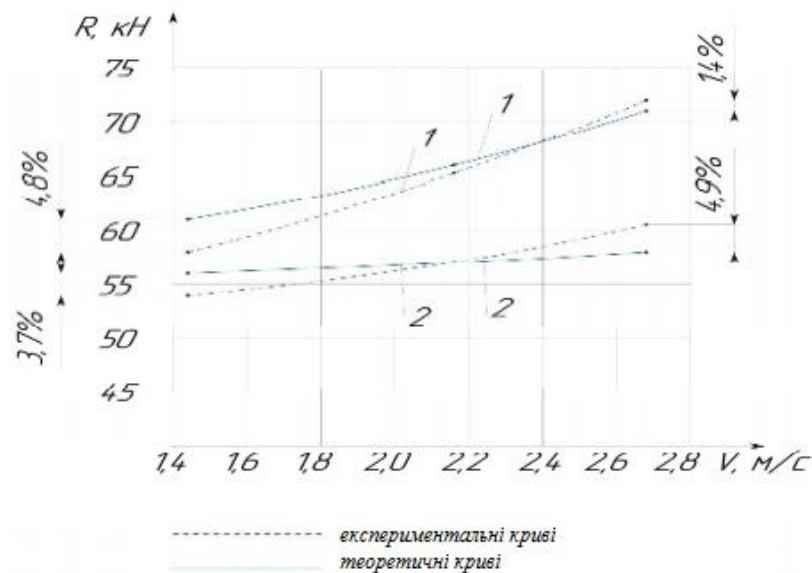


Рис. 3.6. Залежність тягового опору комбінованого чизельного плуга від швидкості руху.

Розбіжність експериментальних і теоретичних даних залежно від швидкості руху МТА знаходяться в інтервалі від 1,4 – 4,9 %.

Висновки по розділу

Використання вібро-частотного перетворювача спрямованої дії на рамі комбінованого ґрунтообробного знаряддя дії на рамі комбінованого чизельного плуга дає змогу знизити гакове навантаження трактора до 18,7 % і годинну витрату палива на 19,6 % порівняно з порівняно зі стандартним ґрунтообробним знаряддям, що істотно знижує енергетичні витрати на проведення ґрунтообробних операцій.

Зниження гакowego зусилля трактора зумовлено поширенням вимушених коливань від робочих органів і появою залишкових деформацій у ґрунті, які змінюють його фізико-механічні характеристики, а не зменшенням глибини обробітку за рахунок виглиблення робочих органів.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу встановлено, що під час основного обробітку ґрунту вібро-частотні впливи на робочі органи дають змогу ефективніше руйнувати ґрунтовий шар, знижувати енерговитрати та тягове зусилля на гаку. Обґрунтовано та розроблено конструктивну й технологічну схеми вібро-частотного перетворювача спрямованої дії для комбінованого чизельного плуга. Застосування вібро-частотного перетворювача спрямованої дії дає змогу створювати коливання на робочі органи ґрунтообробної машини і знижувати тяговий опір до 25 %, порівняно із застосуванням стандартних ґрунтообробних машин.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що під час використання КЧП SVAROG ПЧП-4,5 М, оснащеного вібро-частотним перетворювачем спрямованої дії на робочій швидкості 2,7 м/с, частоті обертання дебалансів $n=1200$ об/хв, куті нахилу маятникового вібратора в поздовжній площині $\alpha = 30^{\circ}$, частоті коливань $f = 20$ Гц, віброшвидкості робочих органів $V_v = 0,9 \times 10^{-2} - 1,1 \times 10^{-2}$ м/с спостерігається максимальне зниження тягового опору до 18,7 % і скорочення витрати палива на 19,6 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ющенко К.А. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: НВП Видавництво «Наукова думка України», 2007. – 557 с
2. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф. 2017. 278 с.
3. Обґрунтувати параметри робочих органів і режими роботи двухроторної фрези з вертикальною віссю обертання для обробітку ґрунту в пристовбурних смугах саду в умовах зрошення / Звіт про НДР (заключ.) / ІЗС УААН; рук. О.Г. Караєв. – № 01960018452. – Мелітополь, 2001.
4. Сірий І. О. Передумови основного обробітку ґрунту шляхом створення деформацій розтягування-вигину і зсуву. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. 2016. №. 4. С. 171-181.
5. Сало В. М. и др. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2015. №. 45 (1). С. 126-132
6. Гордієнко В.П., Малієнко А.М., Грабак Н.Х. Прогресивні системи обробітку ґрунту. Сімферополь. 1998. 279 с
7. Кирилюк В.П. Ефективність систем обробітку чорноземів опідзолених у ланці зерно–просапної сівозміни правобережного Лісостепу України: Автореф. дис..канд. с.–г. наук. Київ. 2003. 21 с
8. Медведєв В.В., Лактінова Т.М. Ґрунтово–технологічні вимоги до ґрунтообробних знарядь і ходових систем машинно–тракторних агрегатів. Харків: КП «Друкарня №13, 2008. 68 с.
9. Медведєв В.В., Линдіна Т.Є. Наукові передумови мінімізації основного обробітку ґрунту і перспективи його впровадження в Україні. Вісник аграрної науки. 2001. № 7. С. 5–8.

10. Мінімізація механічного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи. Єщенко В.О., Карічковський Д.Л., Карічковський В.Д., Єщенко О.В.; За ред. В.О.Єщенка Умань, 2007. 156 с

11. Павліченко А.А., Примак І.Д. Вплив різних систем основного обробітку на зміну запасів продуктивної ґрунтової вологи і продуктивності плодозмінної сівозміни в центральному Лісостепу України. «Агробіологія» Збірник наукових праць Випуск 6 (86). Біла Церква. 2011 р. С. 9–13

12. Пономарчук М.В. Ефективність способів основного обробітку ґрунту в польовій сівозміні. Збірник наукових праць Інститут цукрових буряків 1999; 2, с. 91-96.

13. Танчик С.П., Яшковий В.Ю. Система основного обробітку ґрунту і фіто санітарний стан посівів озимої пшениці: українське товариство гербологів. 7-ма науково-теоретична конференція 3-5 березня 2010; Київ, 2010; с. 25-31.

14. Примак І.Д. Мінімізація основного механічного обробітку ґрунту в польових сівозмінах Лісостепу України. Науковий вісник Академії наук вищої школи України. К., 2005 (січень–липень). Вип. № 29 (3), серія: аграрні науки. С. 70–80.

15. Ресурсозберігаючі технології механічного обробітку ґрунту в сучасному землеробстві України. І.Д. Примак, В.О. Єщенко, Ю.П. Манько та ін.; За ред. І.Д. Примака. КІЇВ.КВЦ. 2007. 272с.

16. Куликіський В.Л., **Юркін М.О.** Вплив вібрації на властивості оброблюваного ґрунту. *Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С. 397.

17. Куликіський В.Л., **Юркін М.О.** Аналіз розробок у галузі вібраційного способу обробітку ґрунту для зниження тягового опору. *Біоенергетичні системи: Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет. 2023. С. 20-24.*

18. Куликіський В.Л., Юркін М.О. Конструктивна схема вібро-частотного перетворювача спрямованої дії. *Матеріали VI всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування»*. 21-22 грудня 2023 року. м. Полтава. 2023.