

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра технологій та засобів механізації аграрного виробництва**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження роботи культиваторних робочих органів  
при обробці ґрунту»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 4  
Хватов Олександр Олексійович  
Керівник: Келемеш А. О.  
Рецензент: Біловод О. І.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Основним завданням сільськогосподарського виробництва є отримання стабільних і високих врожаїв вирощуваних культур. Досягається це впровадженням нових, прогресивних технологій обробітку ґрунту з використанням сучасної швидкісної, широкозахватної техніки, робочі органи якої здатні забезпечувати задану якість виконуваного технологічного процесу, при досить невисокій їх енергоємності.

Актуальним в цьому відношенні стає питання про збереження і підвищення родючості ґрунтового шару як найважливішого компонента екосистеми «ґрунт-рослина-повітря», так як надмірне подрібнення ґрунту робочими органами ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів (МТА) є однією з причин її деградації. Вітрова ерозія руйнує основний засіб сільськогосподарського виробництва – верхній родючий шар ґрунту.

Ґрунти, що мають в своєму складі більше 25% частинок діаметром менше 1 мм вважаються ерозійно-небезпечними. У важких темно- і світло-каштанових ґрунтах, оброблених сучасними ґрунтообробними знаряддями, їх міститься до 40%. Тому на кожне явище, яке сприяє підвищенню кількості еродуючих частинок в ґрунті повинно бути накладено обмеження [1, 2].

Для досягнення таких показників якості, які відповідають енергетичним, агротехнологічним і екологічним вимогам необхідно переходити на принципово нові ґрунтообробні машини, робочі органи яких використовують прогресивні принципи впливу на оброблюване середовище, одночасно забезпечуючи можливість зміни ступеня впливу робочого органу на ґрунт і управління якістю процесу роботи.

Важливою умовою створення таких робочих органів є фундаментальні теоретичні моделі взаємодії робочого органу з ґрунтом, що здатні математично описати фізичну картину процесів, що відбуваються в зоні контакту робочого органу і ґрунту. Завдяки таким моделям забезпечується широка можливість розробки напрямків вдосконалення і обґрунтування

конструктивних параметрів робочих органів та пристроїв, що дозволяють поліпшити якість обробки ґрунту по вищезазначеним критеріям.

Одним з центральних місць в цьому напрямку є використання пружних стійок і підвісок робочих органів. Такі механізми здатні генерувати діючі незгасаючі коливання робочих органів за рахунок особливості процесу різання ґрунтового шару. Діючі коливання робочих органів в цьому випадку повинні підтримуватися зміною, досить в широких межах, пружних характеристик підвіски робочого органу.

**Мета дослідження.** Підвищення ефективності роботи культиваторного МТА з пружними зв'язками за рахунок оптимізації режимів його роботи.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту культиваторним МТА.

**Предмет дослідження.** Культиватор для суцільного обробітку ґрунту, обладнаний пружним кріпленням робочих органів до рами.

**Методика досліджень.** Методологія і методи дослідження передбачали теоретичні дослідження робочих гіпотез, їх експериментальну перевірку в реальних умовах експлуатації та економічну ефективність результатів роботи. У теоретичних дослідженнях використані положення теорії ґрунтів, опору матеріалів, теоретичної механіки, теорії коливань і математичної статистики.

**Теоретична та практична значущість.** Полягає у розвитку наукових методів і засобів, за допомогою яких можна: розробляти методи і алгоритми адаптації вузлів і механізмів культиваторного МТА до ефективного функціонування в реальних умовах експлуатації; встановлювати допустимі режими роботи робочих органів культиваторного МТА, обладнаних пружним зв'язком в кріпленні, на етапі комплектування; враховувати агротехнологічні аспекти взаємодії робочого органу з ґрунтом, з метою збереження його родючої структури.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз способів зниження витрат на обробка ґрунту

Створені на сьогоднішній день різні типи робочих органів ґрунтообробних машин є по суті, модифікаціями тригранного плоского клина, під дією якого ґрунт піддається деформаціям стиснення, розтягування, кручення і вигину.

Одним із способів зниження енергетичних витрат на обробку ґрунту є використання робочих органів, геометрія яких забезпечує змінну деформацію ґрунтового шару.

У роботах ряду вчених [3,4] показано, що зниження енергоємності процесу і поліпшення якості обробки ґрунту досягається за рахунок використання робочих органів з поперечною кривизною поверхні, що контактує з ґрунтом. Така геометрія забезпечує змінну деформацію ґрунтового шару спочатку на стиск, потім на розтягнення.

Для поліпшення якісних показників процесу обробки ґрунту і управлінням процесом кришення, перемішування і переміщення ґрунту запропоновано встановлювати на робочій поверхні робочого органу, з обох сторін, регульовані напрямні [5]. Було виявлено, що ступінь кришення ґрунтового пласта стандартним культиватором – плоскорізом (не обладнаний додатковими розпушувачами) становить 61,61%, глибистість ґрунтового фону – 16,7%. При використанні додаткових рихлюючих органів, встановлених під кутом  $10^\circ$ , ступінь кришення збільшилася до 20% і склала 78,86%, значення глибистості зменшилося в два рази. Збільшення кута до  $20^\circ$  додаткових розпушувачів підвищило ступінь кришення в середньому до 12% (88,3% проти 78,86%) і практично виключило глибистість [5]. Профіль поверхні поля після проходу знаряддя залишався рівним, а щілини, що залишаються стійкою робочого органу, були відсутні.

Можна також робочу поверхню культиваторних лап і леза виконувати хвилястою, що викликає при обробці багаторазовий вигин ґрунтового пласта в поперечному напрямку. Пласт при цьому піддається змінному стиску і розтягуванню, що підвищує ступінь кришення при менших енергетичних витратах.

З метою отримати задану якість кришення ґрунтового шару по шарам було запропоновано використовувати робочий орган з ярусно розташованими клинам, що дозволяє різко змінити характер деформації ґрунтового пласта [6]. У ґрунтовому шарі утворюються періодично повторювані тріщини, за рахунок цього пласт поділяється на дрібні грудочки, проте потрібна додаткова енергія на значний підйом пласта.

Відомо, що опір кристалічних матеріалів залишкової деформації зменшується після попередньої малої залишкової деформації протилежного знака. Це явище носить назву ефекту Баушінгера [7]. На практиці, прикладом використання ефекту Баушінгера є застосування комбінованих робочих органів. Наприклад, розпушувачі з встановленими перед стійкою дисковими і черенковими ножами. На поле напружень стиску, створених долотом і стійкою, накладається поле напружень від дискового ножа, протилежного напрямку. Комбінація розрихлювальних стійки і фрези також дозволяє використовувати даний ефект. Ножі фрези при впровадженні в ґрунт створюють поле напруг протилежного знака. Такі комбіновані робочі органи значно підвищують ступінь кришення ґрунтового пласта при одночасному зниженні енергетичних витрат на його руйнування.

Руйнування ґрунтового пласта коливальними робочими органами відбувається при напруженнях значно менших ніж значення межі міцності ґрунту при нерухомих по відношенню до рами робочих органів (деформаторів). В цілому процес кришення ґрунтового пласта під дією робочого органу з використанням коливань і без них, має істотну відмінність. При вході робочого органу в ґрунт перед неколивальним робочим органом відбувається зминання і ущільнення ґрунту, що викликає підвищення його

опору. Найбільш напружений стан ґрунту створюється перед носком робочого органу. При коливальному впливі деформатора на ґрунт, що знаходиться в контактi з поверхнею робочого органу, також приводиться в коливальний рух. Порушуються зв'язки між частинками пласта, з'являються мікротріщини, що дають початок площинам сколювання. Основна площина сколювання виникає на лезі робочого органу по всій товщині ґрунтового шару. Відокремлена частина ґрунтового шару, переміщаючись по робочому органу, коливається і руйнується в поздовжньому і поперечному напрямку. При цих умовах коливальна частина пласта знаходиться в об'ємно напруженому стані і досить невеликого порушення зв'язків, щоб відбулося його руйнування. У цьому об'ємі виникають знакозмінні напруження – стиснення і розтягування.

Зниження напружень руйнування пов'язане зі зниженням кута внутрішнього тертя  $tg\varphi$  ґрунту зі збільшенням віброприскорень деформатора у відносних одиницях (рис. 1.2).

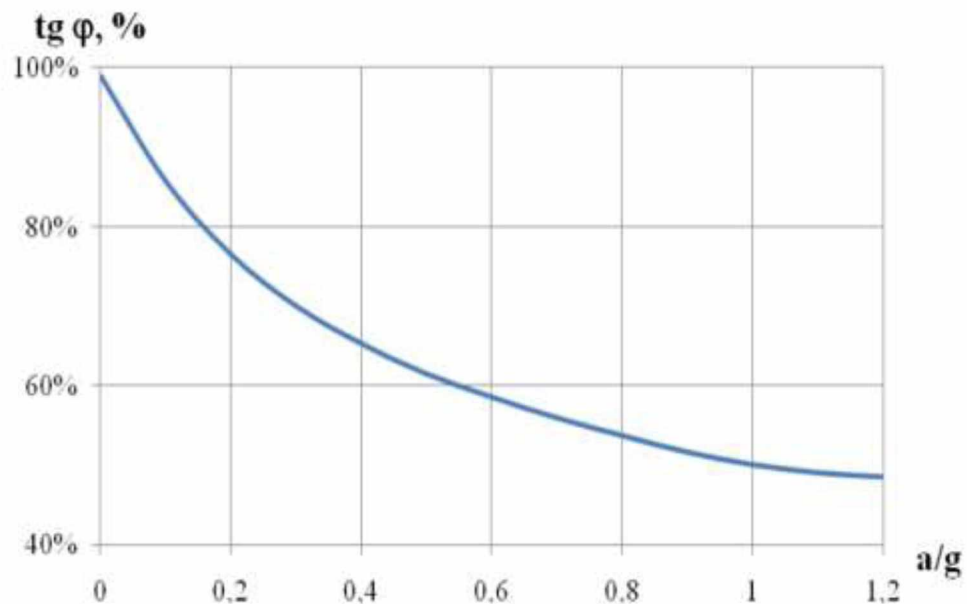


Рисунок 1.2 – Експериментальна залежність коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунту від віброприскорення коливання деформатора [7]

Розглянуті способи зниження енергетичних витрат на обробку ґрунту показують, що є значні резерви підвищення ефективності роботи робочих органів ґрунтообробних машин.

За ефективністю цих способів можна відзначити наступне. Більшість спроб зарубіжних і вітчизняних конструкторів зменшити енергетичні витрати, зберігаючи при цьому якість обробки ґрунту на високому рівні, за рахунок оптимізації геометрії плоского клина давали ефект в межах 5 ... 15% [8], так як використовувати деформації розтягування в чистому вигляді поки не вдається. Використання ефекту Баушінгера важко з конструкторської точки зору, як правило досягається цей ефект тільки на машинах з комбінованими робочими органами.

Значний інтерес представляє використання динамічних особливостей руйнування ґрунтового шару. Пов'язано це з надходженням на озброєння сільгоспвиробників ґрунтообробних знарядь в конструкції яких вже закладено пружний елемент в кріпленні робочих органів. Значить, можна припустити, що ґрунтообробні машини оснащуються пристроями здатними, при певних умовах, забезпечувати коливання робочих органів, з метою зниження їх загального рівня навантаження і зниження динамічності функціонування всієї системи.

Дані обставини вказують на необхідність проведення спеціальних теоретичних і експериментальних досліджень для оптимізації конструктивних параметрів розглянутих систем.

## **1.2. Аналіз режимів роботи робочих органів культиватора з пружним кріпленням**

Коливальний характер руху робочого органу з пружним кріпленням, обумовлений специфікою процесу різання ґрунтового шару, багаторазово відзначався вітчизняними та зарубіжними дослідниками, які проводили експериментальні роботи в цій галузі [4, 6, 9].

Аналіз дозволяє вважати коливання робочого органу істотним технологічним і енергетичним фактором, здатним впливати на технологічний процес обробки ґрунту, які полягають в наступному:

1. Жорсткість пружного елемента в кріпленні робочого органу робить істотний вплив на величину тягового опору робочого органу і його амплітуду коливань.

2. Величина тягового опору визначається типом ґрунтів.

3. Збільшення тягового опору з ростом швидкості руху МТА відбувається повільніше при пружному кріпленні робочого органу, ніж при жорсткому кріпленні.

4. Якісні показники обробленого ґрунту вищі при використанні коливального робочого органу.

5. Збільшення глибини обробки призводить до згасання власних коливань, що знижує енергетичний ефект застосування коливальних робочих органів.

6. В цілому значення горизонтальної складової тягового опору робочого органу при пружному кріпленні на 25-30% менші, ніж при жорсткому кріпленні, а в деяких випадках спостерігається зниження до 50%.

7. Використання пружних елементів в кріпленні робочих органів знижує налипання на робочі органи ґрунту на 60-70%, усуває обволікання стійок бур'яном рослинністю, забезпечує меншу гребенястість поверхні поля.

8. Робочі органи з пружним кріпленням мають більше значення відхилення глибини обробки, приблизно на 10-15%, в порівнянні з жорстким кріпленням.

Встановлено, що в порівнянні з традиційним варіантом кріплення робочих органів, запропонована пружна підвіска дозволяє забезпечувати зниження тягового опору в середньому для: підживлюючих ножів – на 10...30%, культиваторних стрічастих лап – 5%, односторонніх полільних лап – 9%, обгортаючих корпусів до 15% [10].

Зниження горизонтальної складової тягового опору при шарнірно-пружному кріпленні обумовлено тим, що частота сколювання ґрунтового шару в 1,4 ... 3,9 рази більше, ніж при жорсткому кріпленні, це сприяє зменшенню [11]:

- довжини хвилі сколювання ґрунтового шару в 1,5 ... 3,4 рази.
- маси ґрунту, що знаходиться на робочому органі після сколювання в 2,0 ... 3,2 рази.
- часу опору в 1,1 ... 4,0 рази.

Збільшення співвідношення частоти сколювання ґрунтового шару до частоти власних коливань робочого органу з 0,038 ... 0,055 при жорсткому кріпленні до 0,066 ... 0,33 при пружному кріпленні істотно впливає на експлуатаційні показники ґрунтообробного МТА:

- горизонтальна складова тягового опору робочого органу чизель-культиватора знижується до 18%;
- її середньоквадратичне відхилення зменшується до 26%;
- експлуатаційний витрата палива МТА знижується на 10,2%
- продуктивність МТА збільшується до 18%.

Досить широкого поширення набули експериментальні методи дослідження коливання робочого органу під дією динамічної складової реакції ґрунтового шару. Дані дослідження, як правило, полягають в порівняльному аналізі різних типів конструктивного виконання пружного кріплення робочого органу в різних ґрунтових умовах.

Можна відзначити, що експериментальний метод дослідження в даній області малопродуктивний, тому що не дозволяє оцінити параметри режимів коливань. Більший інтерес представляють теоретичні дослідження, що дозволяють на узагальнених математичних моделях оцінити процес взаємодії коливального робочого органу з ґрунтом.

Пружність кріплення в системі «робочий орган – ґрунт» призводить до появи динамічних ефектів таких як:

- залежності динамічних характеристик системи від навантаження;

- появи нестійких режимів в двох формах: статистичної та коливальної;
- існування автоколивань в системі;
- появи додаткової реакції на пружність – додаткової сили, яка визначає енергетичну ефективність пружного кріплення.

Величина цієї сили залежить від середніх значень пружних переміщень робочого органу і їх дисперсій.

Енергетичний ефект використання пружного кріплення визначається:

- оптимізацією зв'язків пружного кріплення за критерієм відповідності нульового кінематичному режиму, досягається це варіюванням недіагональних елементів матриці жорсткості;
- оптимізацією спектру власних коливань системи за рахунок варіюванням діагональних елементів матриці жорсткості;
- застосуванням пружних підвісок із замкнутим контуром, що дозволяє мінімізувати кутові спотворення;
- оптимізацією запасів коливальної стійкості, що забезпечують умови для створення автоколивань робочих органів, що призводять до появи вібруючого ефекту.

Практичне використання енергетичного ефекту від впровадження пружного зв'язку можливо тільки за рахунок багатопараметричної оптимізації пружних характеристик самого кріплення. Запропонований критерій оптимізації, що забезпечує максимальний енергетичний ефект, дозволяє ефективно проводити настройку пружного зв'язку з урахуванням агротехнічних та міцнісних обмежень, по стійкості руху з точністю до 20%, що достатньо для практичних розрахунків.

### **1.3. Огляд конструкцій культиваторів з пружним кріпленням робочого органу**

В даний час вітчизняні виробники ґрунтообробних машин досить широко використовують пружне кріплення робочого органу культиватора до

рами. Як заявлено в рекламних проспектах пружне кріплення забезпечує «вібруючий метод обробки», завдяки якому досягається ефект самоочищення, забезпечується «втягування» в ґрунт рослинних залишків, зменшується опір при обробці, потрібна менша тягова потужність трактора, економиться ПММ.

У журналі «Sustainable Agriculture Research and Education» [11] приведена конструкція секції просапної культиватора (рис. 1.2), основним типом стійок якого є *S*-подібні стійки, які вібруючи, енергійно руйнують і аерують ґрунт, *S*-подібні стійки виконані з листової пружинної сталі і оснащені пружинними запобіжниками.

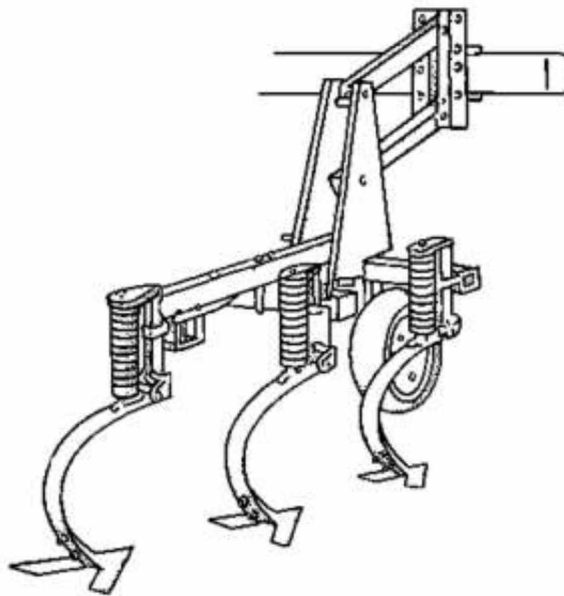


Рисунок 1.2 – Секція просапного культиватора

Німецькі інженери Tissen Reimer Uwe, Pokriefke Michael, Sosnicki Jurgen, A Ltmann Stefan розробили пружне кріплення робочого органу патент US 20080264653 30.10.2008 і DE 102005037098.5, 08.02.2007 [12] (рис. 1.3).

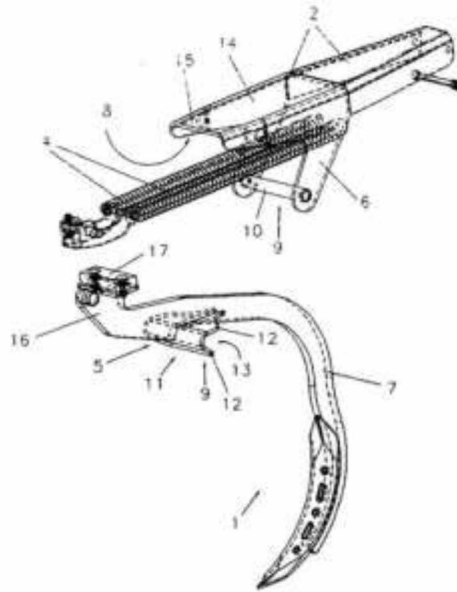


Рисунок 1.3 – Секція культиватора, оснащена 3D стійкою.

Пристрій монтується на стійці робочого органу і складається зі сферичного шарніра, стопорного пальця і двох циліндричних пружин розтягування. Верхня частина шарніра кріпиться до несучої рами культиватора, нижня частина – до балки, що має U - подібну форму. Обмеження переміщення верхньої і нижньої частини досягається відповідними упорами.

При роботі агрегату виникає нерівномірна сила опору, що впливає на стійку, повертає її навколо шарніра кріплення в нижній частині монтажної плити, приводячи в дію запобіжні пружини. Для зниження удару при поверненні в початкове положення, у верхній частині стійки передбачені демпферні елементи.

До недоліків зазначеної конструкції можна віднести відсутність можливості регулювання величини натягу запобіжних пружин, їх жорсткості, висока металоємність і конструктивна складність обумовлена великою кількістю деталей.

Досить оригінальним є кріплення робочого органу за допомогою паралелограмних підпружинених підвісок, прикладом є культиватор Speed Bird [13] рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Паралелограмна підпружинена підвіска культиватора Speed Bird.

Перевага такої конструкції полягає в збереженні глибини обробітку ґрунту при коливаннях робочого органу, тому робочий орган виглибляється паралельно самому собі без порушення встановленого кута різання.

У конструкції просапного культиватора John Deer (рис. 1.5) кріплення стійки здійснюється шарнірно до підпружиненого кронштейну 18 [11]. Поворот ексцентрика 36 і регулювального болта 34 дозволяє змінювати кут різання і зусилля попереднього натягнення пружини. В ході регулювань стійка може займати три положення.

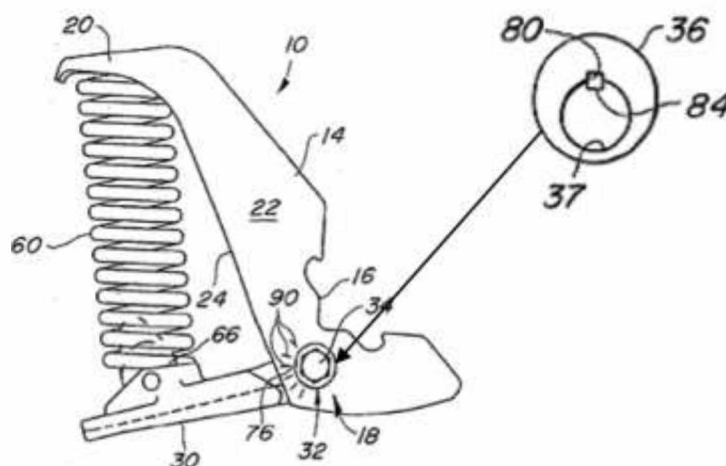


Рисунок 1.5 – Ексцентриковий механізм навантаження пружини культиватора John Deer

Зарубіжні фірми розглядають пружне кріплення робочого органу як універсальний засіб підвищення якісних і енергетичних показників МТА

[12]. Широке поширення отримували пружні стійки фірм Ford, Vibroflex, Edwards, Morris, Enzo-Blattfederzinken, Woderstand, Kongskilde, Eberhard, Jousto-Hamko та ін., які мають S-подібний профіль.

До істотних недоліків S-подібних стійок можна віднести відсутність регулювання жорсткості, що різко знижує їх практичну цінність.

### **Висновки, мета і завдання досліджень**

1. Одним з перспективних методів зниження енергетичних витрат при проведенні ґрунтообробних робіт є використання динамічних особливостей взаємодії робочого органу, обладнаного пружним зв'язком в кріпленні до рами, з ґрунтом. Пов'язано це з надходженням на озброєння сільгоспвиробників ґрунтообробних знарядь, в конструкцію яких вже закладено пружний елемент в кріпленні робочого органу.

2. Більшість дослідників в цій області вважають автоколивання корисними, що сприятливо впливають на енергетичні витрати обробки ґрунту, проте всі вони зводяться до однієї думки: віброефект робочого органу досягається не завжди, а строго за певних умов.

Метою є підвищення ефективності роботи культиваторного МТА з пружними зв'язками за рахунок оптимізації режимів його роботи.

Завдання:

1. Вивчити проблемні питання раціонального використання динамічних аспектів процесу взаємодії пружно закріпленого робочого органу культиватора з ґрунтом з точки зору зниження енергоємності та підвищення якісних показників проведених ним робіт;

2. Теоретично досліджувати жорсткість розглянутої коливальної системи у функції числа робочих витків пружного елемента, розташованого в кріпленні робочого органу культиватора;

3. Удосконалити конструкцію робочого органу ґрунтообробного знаряддя із змінною частотою власних коливань;

4. Провести експериментальні дослідження з оцінки впливу резонансного режиму роботи робочого органу на енергетичні та якісні показники роботи культиваторного МТА;

5. Обґрунтувати економічну доцільність використання резонансного режиму роботи робочих органів культиваторного МТА на ґрунтах з різними властивостями.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Програма і завдання досліджень

На підставі загальних завдань представленої науково-дослідницької роботи, сформульоване окреме завдання, що полягає в експериментальному дослідженні впливу резонансних режимів роботи робочих органів з пружним кріпленням на енергетичні та якісні показники роботи культиваторного МТА.

Метою проведених експериментальних досліджень культиваторного МТА була перевірка теоретичних положень і висновків, встановлених в результаті досліджень щодо впливу конструктивних показників робочих органів і властивостей ґрунтового фону на енергетичні та якісні показники роботи МТА.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

- вибір і обґрунтування об'єкта дослідження;
- виготовлення експериментального макета;
- проведення основної серії польових експериментів;
- обробка отриманих експериментальних даних, побудова експериментальних кривих, їх аналіз.

Натурні випробування проводилися на наступних ґрунтових фонах: стерня озимих культур і пар, абсолютна вологість ґрунту на момент проведення експериментів становила 10-12%.

В ході проведення порівняльних експериментів фіксувалися такі параметри: жорсткість пружного елемента в кріпленні робочих органів, дійсна швидкість культиваторного МТА, горизонтальна складова тягового опору робочого органу сільськогосподарської машини, гакове зусилля трактора, кут повороту стійки культиватора відносно вертикальної осі.

Як предмет дослідження обрано канадський культиватор «Bourgault 8810», призначений для суцільного обробітку ґрунту, посіву, закладення хімікатів і внесення добрив.

Такий вибір предмета дослідження пов'язаний з впровадженням у багатьох господарствах нових ресурсозберігаючих технологій, які полягають в мінімізації поверхневої обробки ґрунту. Під дані технології більшістю сільськогосподарських виробників купується імпортна техніка від провідних світових виробників, основна частина її надходить з європейських країн, США, Китаю, Канади.

Доступ до технічної документації таких об'єктів і до даних по їх технічними показниками в реальних умовах експлуатації, як правило, обмежується тільки рекламними проспектами. У той же час можна припустити, що будь-яка імпортна техніка – це техніка, створена в іншому економічному, соціальному та природно-кліматичному середовищі. Тому необхідна всебічна оцінка ефективності її роботи, і рівня пристосованості до умов експлуатації на вітчизняних сільськогосподарських підприємствах. В іншому випадку використання таких знарядь може виявитися економічно неефективним, а також стати причиною порушення агротехнічних вимог, що пред'являються до заданої ґрунтообробної операції.

Культиватор «Bourgault 8810» (рис. 2.1) призначений для суцільного обробітку ґрунту, що володіє питомим опором до 130 МПа. Діапазон зміни глибини обробки складає 0,06...0,2 м, може комплектуватися різною кількістю робочих секцій, тому ширина захвату варіюється в діапазоні 7,8... 18,3 м. Рекомендовані робочі швидкості руху, в залежності від глибини обробки і типу ґрунтів, знаходяться в діапазоні 5,6... 10,3 км/ч.



Рисунок 2.1. – Загальний вигляд культиватора «Bourgault 8810»

Культиватор являє собою з'єднані шарнірно 3 секції, які спираються на самоорієнтовні колеса. Кожна секція – збірна конструкція, виконана з поздовжніх і поперечних сталевих труб квадратного перетину. На рамі в 5 рядів шарнірно закріплені «S-подібні» стійки, забезпечені адаптерами для швидкого встановлення і зняття робочих органів. Кожен шарнірний вузол укомплектований двома пружними елементами пружинного типу рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальний вид кріплення стійки культиватора «Bourgault 8810» до рами

У рекламних проспектах пружне кріплення розглядається як запобіжний пристрій, що дозволяє уникати поломок при наїзді на перешкоду, а також сприяє заглибленню робочих органів при роботі на важких ґрунтах.

Офіційним дилером пропонуються різні комплекти пружних елементів, що відрізняються між собою коефіцієнтами жорсткості. Як правильно підібрати жорсткість таких комплектів до заданих умов експлуатації, та й самі критеріальні чинники щодо вибору жорсткості, ні документація по використанню знаряддя, ні дилерська служба відповіді не дає: рекомендують ставити найжорсткіші. А це є причиною підвищення вартості ґрунтообробного знаряддя, можливою причиною порушення агротехнічних вимог, що пред'являються до культивації, і доказом відсутності проведення будь-яких експериментальних робіт з адаптації існуючих конструкцій до місцевих умов експлуатації.

Ширина захвату експериментального культиватора становила 14,3 м, кількість робочих органів 47 шт., ширина встановлених стрілочастих лап – 305 мм.

## **2.2. Робочий орган ґрунтообробного знаряддя із змінною частотою власних коливань**

При використанні резонансних і близько резонансних режимів роботи робочого органу виникає проблема в налаштуванні на даний режим. Справа в тому, що частота вимушених коливань горизонтальної складової тягового опору, величина строго експериментальна. Визначається вона за експериментальними осцилограмами шляхом визначення їх статистичних характеристик.

Тому жорсткість пружного елемента, розрахована за формулою, повинна бути змінною в залежності від ґрунтового фону і швидкісного режиму роботи МТА.

Виходячи з цього, виникла задача: забезпечити конструкцію кріплення робочого органу, що забезпечує регулювання жорсткості пружного елемента з метою налаштування його на резонансний і близько резонансний режим роботи в місцевих умовах експлуатації.

В якості такої конструкції може виступати кріплення верхнього кінця пружного елемента (пружини розтягування) за допомогою вкручуваної пробки (ввертиш).

На рис. 2.3 зображена кінематична схема культиваторної стійки і внесений елемент А: в верхній кінець пружного елемента 3 (пружини) вкручується ввертиш 1, напесований на штангу 2, верхній кінець якої кріпиться безпосередньо до рами культиватора.

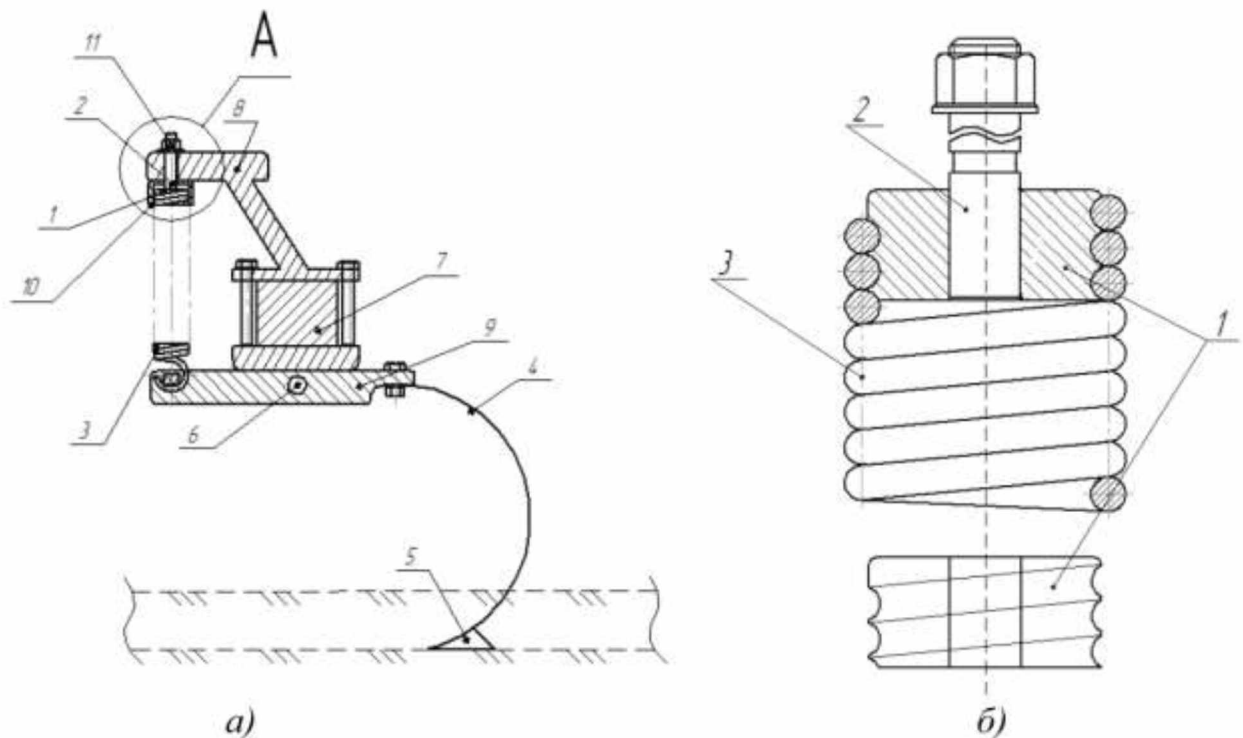


Рисунок 2.3 – Робочий орган культиватора «Bourgault 8810» із змінною частотою власних коливань: а) кінематична схема, б) виносний елемент кріплення робочого органу

Працює конструкція наступним чином: поворот ввертишу за допомогою регульовальної тяги 2 забезпечує його закручування в пружний елемент, що змінює число робочих витків пружини, а отже і її жорсткість. Зміна

жорсткості пружного елемента дозволяє змінити частоту власних коливань культиваторної стійки і налаштувати його на режим незатухаючих коливань.

### **2.3. Вимірювальна і реєструюча апаратура**

З метою безперервного запису реєстрованих в ході експерименту параметрів використовувався обчислювально-вимірювальний комплекс, що складається з переносного комп'ютера з встановленим на ньому програмним забезпеченням «PowerGraph», аналого-цифрового модуля Е-440.

Аналого-цифровий модуль Е-440 призначений для введення аналогової і виведення цифрової інформації, а також подальшої її обробки на персональних комп'ютерах.

Модуль Е-440 дозволяє:

- виконувати ширококанальне введення аналогових сигналів;
- виконувати двоканальний висновок сигналів на цифровий-аналоговий перетворювач;
- відстежувати в асинхронному режимі шістнадцять цифрових вхідних і шістнадцять вихідних цифрових каналів.

Контроль модуля Е-440 виконує пакет програмного забезпечення «Power Graph», який представляє собою багатоканальний осцилограф, програмне забезпечення «Power Graph» здійснює запис сигналів в реальному часі, обробку та зберігання даних, дозволяє використовувати комп'ютер в якості стандартних вимірювальних і реєструючих приладів (вольтметри, осцилографи, спектроаналізатор і т.д.).

В цілому програмне забезпечення «PowerGraph» призначене для:

- збору експериментальних даних з різних вимірювальних приладів і пристроїв;
- реєстрації та візуалізації реєстрованих даних в реальному режимі часу;

- редагування, математичній обробці та аналізу експериментальних даних;

- зберігання, імпорту та експорту експериментальних даних

Вимірювання гакового навантаження проводиться за допомогою дротяних датчиків опору, наклеєних на внутрішню поверхню тензометричної ланки (рис. 2.4).

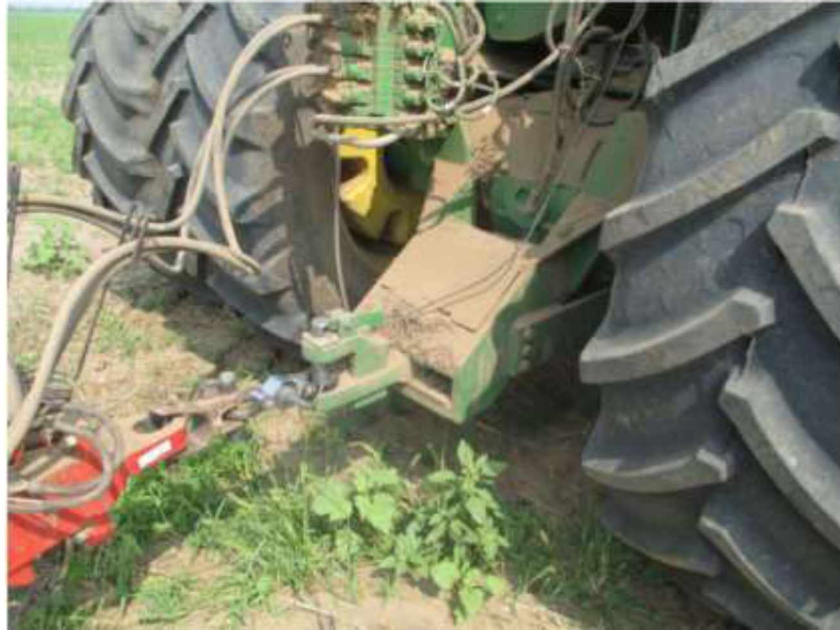


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд встановленої тензометричної ланки на тракторі

#### **2.4. Методика вимірювання якісних показників роботи культиваторного МТА**

Глибину обробленого шару ґрунту визначали лінійкою в 15 місцях, на контрольованій ділянці, через рівні відстані один від одного. На поверхню поля поперек напрямку обробітку ґрунту накладали дерев'яну рейку довжиною 1 м і лінійкою вимірювали глибину обробленого шару ґрунту від заснування обробленого шару до рейки.

За результат визначення глибини обробленого шару ґрунту брали середнє арифметичне результатів всіх вимірювань. Обчислення проводили до

сотих часток з наступним округленням результату до десятих часток сантиметра.

Зміст в обробленому шарі грудок ґрунту різного розміру визначали по ґрунтових пробах, які бралися в чотирьох місцях на контрольованій ділянці через рівні відстані один від одного. Потім ґрунтові проби поділялися на спеціальних ситах за наступними фракціям: діаметрами більше 100мм; 50-100мм; 25-50мм; менше 25мм. Фракції діаметром менше 25 мм додатково поділялися на фракції діаметром 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10мм. Кожна фракція зважувалася на зразкових вагах, з похибкою зважування не більше 50 м.

## **2.5. Методика проведення експлуатаційних досліджень**

Перший етап проведення польових експериментів був спрямований на вивчення характеристик оброблюваного матеріалу, тобто ґрунту. Були отримані пошукові діаграми навантаження ґрунтового шару, за якими була визначена зона межі пружності ґрунту. Потім безпосередньо проводився експеримент по визначенню властивостей ґрунту. Абсолютна вологість ґрунту визначалася як відношення води в ґрунті до ваги абсолютно сухого ґрунту в процентах. Зразки ґрунту бралися на глибині 8-10 см, в спеціальні бюкси. Безпосереднє визначення вологості ґрунту відбувалося в лабораторії.

Твердість ґрунту визначалася твердоміром Ревякіна. Середні результати вищеназваних параметрів, представлені в табл. 3.2.

Другий етап польових експериментів був присвячений вивченню впливу режиму роботи робочого органу на енергетичні показники МТА. Для цього, спочатку, виставлялася максимальна жорсткість пружного елемента в кріпленні робочого органу, записувалися пошукові осцилограми горизонтальної складової тягового опору стійки, подальша їх математична обробка дозволила за математичними моделями другого розділу визначити жорсткість пружного елемента, що забезпечує резонансний режим роботи.

Після цього всі стійки культиватора налаштовувалися на відповідне значення жорсткості і МТА обробляв контрольну ділянку поля.

Таблиця 3.2 – Агротехнічні умови при проведенні досліджень

№	Показники	Характеристики показників	
		Стерня озимої пшениці	Пар
1	Агрофон		
2	Рельєф поля	Рівний, нахил не більше 3%	Рівний, нахил не більше 3%
3	Вологість ґрунту, %	10-12	9-11
4	Твердість ґрунту по шарам, МПа		
5	0-0,10 м	2,3	0,4
6	0,10-0,20 м	2,43	1,6
	Висота пожнивних решток, м	0,20-0,30	–
	Коефіцієнт затухання ґрунтового фону		
	10-12%	5,55	2,45

У момент проведення експериментів температура повітря становила  $t = 28^{\circ}\text{--}34^{\circ}\text{C}$ , атмосферного тиску 740-770 мм. рт. ст., вологість повітря 45-55%.

Під час дослідів проводили догляд за трактором і культиватором відповідно до інструкції. Використовуваний культиватор був технічно справний, відрегульований відповідно за технічним описом та інструкцією по експлуатації.

На третьому етапі польових випробувань визначалися агротехнічні показники процесу культивації на різних режимах роботи робочого органу. В ході експерименту фіксувалася глибина обробки і фракційний склад обробленого шару ґрунту. З метою виключення впливу мікрорельєфу поля на реєстровані показники пружні елементи в кріпленнях робочих органів секцій культиватора були налаштовані на різні жорсткості, що дозволяло вивчити вплив жорсткості пружного елемента на агротехнічні показники на одному експериментальному гоні.

## **Висновки**

1. Метою проведених експериментальних досліджень культиваторного МТА була перевірка теоретичних положень і висновків, встановлених в результаті досліджень щодо впливу конструктивних показників робочих органів і властивостей ґрунтового фону на енергетичні та якісні показники роботи МТА.

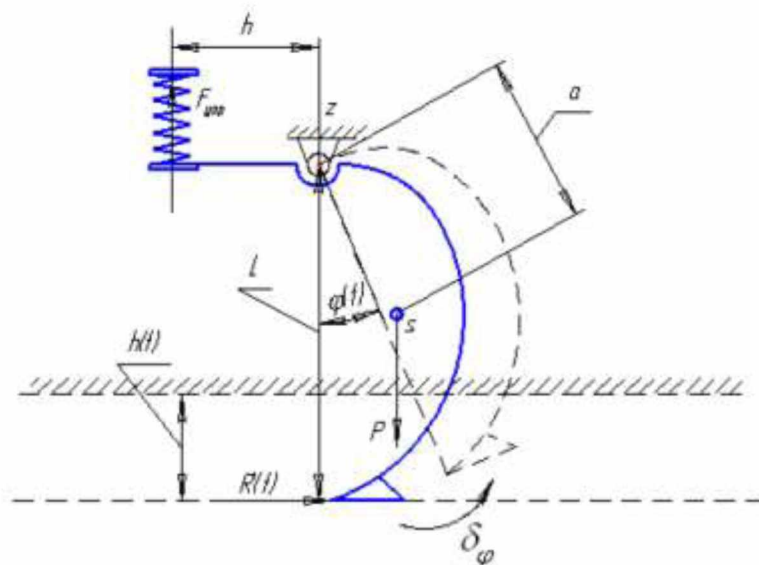
2. Для визначення параметрів технологічного процесу запропонована методика вимірювання якісних показників роботи культиваторного МТА.

## РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ

## 3.1. Теоретичний аналіз схеми стійки культиватора з пружним кріпленням до рами ґрунтообробного знаряддя

Кінематична розрахункова схема стійки культиватора Bourgault 8810 з наявністю пружного елемента, розташованого в кріпленні до рами ґрунтообробного знаряддя, показана на рис. 3.1.



$P$  – сила тяжіння культиваторної стійки, Н;  $F_{пр}$  – сила пружності пружини, Н;  $R$  – результуюча сила опору ґрунту, Н;  $a$  – відстань від шарніра до центру мас, м.

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема стійки культиватора Bourgault 8810:

Пружну систему будемо розглядати як автоколивальну, неконсервовану, здатну здійснювати незгасаючі вимушені періодичні коливання і характеризується: наявністю постійного джерела енергії коливальної системи, пристроєм, що регулює надходження енергії в коливальну систему з джерела енергії, зворотним зв'язком між регулюючим пристроєм та коливальної системою.

Як джерело енергії виступає нерівномірність горизонтальної складової тягового опору культиваторної стійки, коливальної системою є пружна підвіска з робочим органом. Коливальна система представлена у вигляді пружини в кріпленні стійки з лінійною характеристикою і жорсткістю  $c1$  (віднесена до горизонтального переміщення носка лапи), стійки культиватора з робочим органом жорсткістю  $c2$  і моментом інерції  $J_{cm}$  щодо шарніра.

Для спрощення подальших розрахунків по оптимізації жорсткості пружного елемента наведемо жорсткість пружного елемента і жорсткість стійки до місця кріплення пружини, точка  $B$  (рис. 3.2).

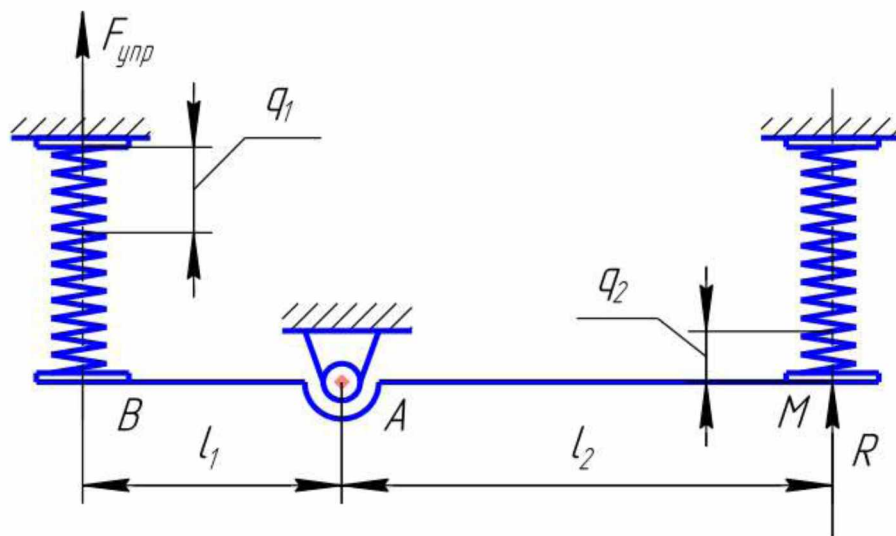


Рисунок 3.2 – Схема приведення жорсткості системи до місця кріплення пружини

Пружини з'єднуються послідовно через проміжний важільний елемент. Сумарне переміщення пружин визначиться залежністю:

$$q_{np} = q_1 + q_2 \frac{l_1}{l_2}, \quad (3.1)$$

де  $q_1$  – деформація пружного елемента в кріпленні робочого органу, м;

$q_2$  – деформація стійки, м;

$q$  – переміщення точки  $B$  за рахунок деформації стійки.

Так як:

$$q_1 = \frac{F_{np}}{c_1}; \quad q_2 = \frac{F_{np}}{c_2} \cdot \frac{l_1}{l_2}, \quad (3.2)$$

то вираз 3.1 набуде вигляду:

$$\frac{F_{np}}{c_{np}} = \frac{F_{np}}{c_1} + \frac{F_{np}}{c_2} \cdot \frac{l_1^2}{l_2^2}, \quad (3.3)$$

звідки:

$$c_{np} = \frac{c_1 c_2 l_2^2}{c_2 l_2^2 + c_1 l_1^2}. \quad (3.4)$$

Виразимо жорсткості пружного елемента  $c_1$  і стійки  $c_2$  через їх геометричні параметри. Гвинтову пружину можна уявити як просторово вигнутий стрижень (рис. 3.3), під дією осьової сили, приведеної до центру тяжіння крайнього перетину  $F$ , отримаємо згинаючий момент  $M_p = F \frac{D}{2}$ .

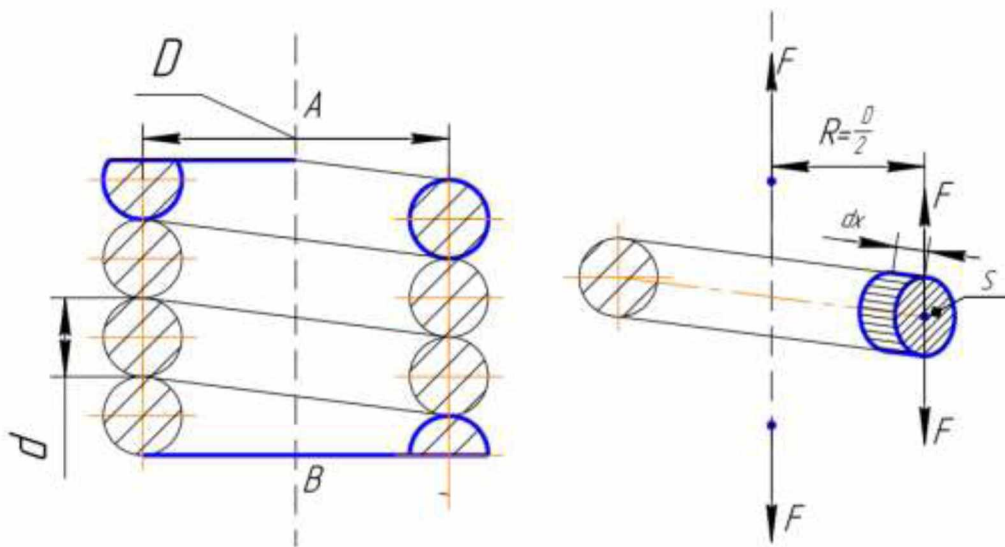


Рисунок 3.3 – До розрахунку коефіцієнта жорсткості пружини

Зміну довжини пружини можна визначити, скориставшись інтегралом Мора:

$$\Delta_B = \int_B^A \frac{M_p \cdot M_1}{GJ_p} dx, \quad (3.5)$$

де  $M_p = F \frac{D}{2}$  – згинаючий момент від сили  $F$ , Н·м;  $M_1 = 1 \frac{D}{2}$  – згинаючий момент від одиничної сили, прикладеної до центра тяжіння крайнього перерізу, Н·м;  $dx$  – довжина елементу пружини, м;  $G$  – модуль зсуву, МПа;  $J_p$  – полярний момент інерції,  $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ ;  $d$  – діаметр дроту, м.

Довжина усієї пружини:

$$l = \pi Dn, \quad (3.6)$$

де  $n$  – число робочих витків, тоді:

$$\Delta_B = \int_0^{\pi Dn} \frac{FD}{2} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{dx}{GJ_p} = \frac{FD^2}{4GJ_p} \cdot \pi Dn = \frac{32FD^3\pi n}{4G\pi d^4} = \frac{8FD^3n}{Gd^4}. \quad (3.7)$$

Приймемо, що  $\Delta_B = 1$  м, одержимо:

$$1 = \frac{8c_1 D^3 n}{Gd^4}, \quad (3.8)$$

звідки:

$$c_1 = \frac{Gd^4}{8D^3n}. \quad (3.9)$$

Пружну стійку будемо розглядати як кривий брус малої кривизни, постійного перерізу (рис. 3.4).

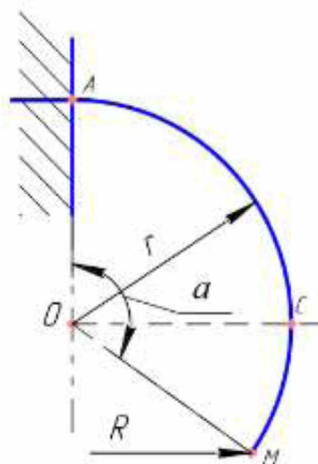


Рисунок 2.4 – До розрахунку визначення коефіцієнта жорсткості пружної стійки

Застосовуючи інтеграл Мора визначимо величину коефіцієнта жорсткості  $c_2$ , по горизонтальному переміщенню точки  $M$ .

$$\Delta_M = \int_A^M \frac{M_1 M_R}{EJ} ds, \quad (3.10)$$

де  $\Delta_M$  – горизонтальне переміщення точки  $M$ ,

$M_R$  – згинальний момент від горизонтального зусилля  $R$ , Н·м;

$M_1$  – згинальний момент від одиничної сили, прикладеної до точки  $B$ , Н·м;

$J$  – момент інерції,  $J = \frac{bh^3}{12}$ .

Враховуючи, що

$$M_R = R(r + r \sin \alpha), \quad (3.11)$$

$$M_1 = 1(r + r \sin \alpha), \quad (3.12)$$

$$ds = r d\alpha, \quad (3.13)$$

одержимо:

$$\begin{aligned} \Delta_M &= \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \frac{Rr^2 (1 + \sin \alpha)^2}{EJ} r d\alpha = \frac{Rr^3}{EJ} \int_0^{\frac{2\pi}{3}} (1 + \sin \alpha)^2 d\alpha = \\ &= \frac{Rr^3}{EJ} \left( \int_0^{\frac{2\pi}{3}} d\alpha + \int_0^{\frac{2\pi}{3}} 2 \sin \alpha d\alpha + \int_0^{\frac{2\pi}{3}} \sin^2 \alpha d\alpha \right) = \frac{6,3 \cdot Rr^3}{EJ} = \frac{76Rr^3}{bh^3 E}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Причому, що  $\Delta_M = 1$  м, одержимо

$$1 = \frac{76r^3 c_2}{bh^3 E}, \quad (3.15)$$

звідки:

$$c_2 = \frac{bh^3 E}{76r^3}. \quad (3.16)$$

Підставивши вирази формул 3.9 і 3.16 в вираз 3.4, і з огляду на те, що в кріпленні робочого органу конструктивно закладено два пружних елементи, отримаємо:

$$c_{np} = \frac{Gd^4bh^3El_2^2}{4D^3n \cdot 76r^3 \left( \frac{bh^3E}{76r^3} l_2^2 + \frac{Gd^4}{4D^3n} l_1^2 \right)}. \quad (3.17)$$

Для практичних розрахунків можна прийняти, що  $G \approx 0,4E$ , тоді:

$$c_{np} = \frac{Ed^4bh^3l_2^2}{760D^3nr^3 \left( \frac{bh^3l_2^2}{76r^3} + \frac{d^4l_1^2}{10D^3n} \right)}, \quad (3.18)$$

підставивши конструкторські параметри стійки і пружини, одержимо:

$$c_{np} = \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot (0,012)^4 \cdot 0,05 \cdot (0,025)^3 \cdot 1,21^2}{760 \cdot (0,048)^3 \cdot n \cdot 0,58^3 \left( \frac{0,05 \cdot (0,025)^3 \cdot 1,21^2}{0,58^3} + \frac{0,012^4 \cdot 0,16^2}{10 \cdot 0,048^3 n} \right)} = \frac{647830,95}{(0,4n+1)}. \quad (3.19)$$

Графічно залежність наведеної жорсткості даної системи від числа робочих витків пружного елемента представлена на рис. 3.5.

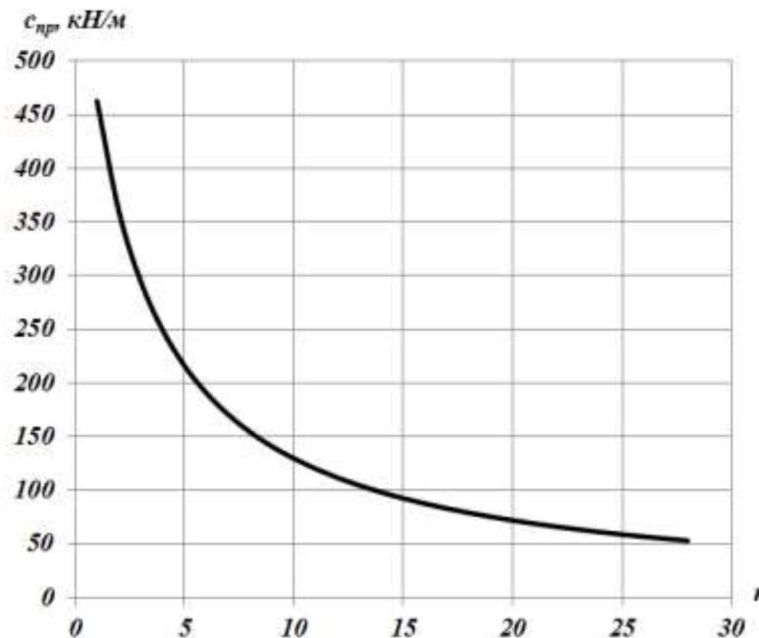
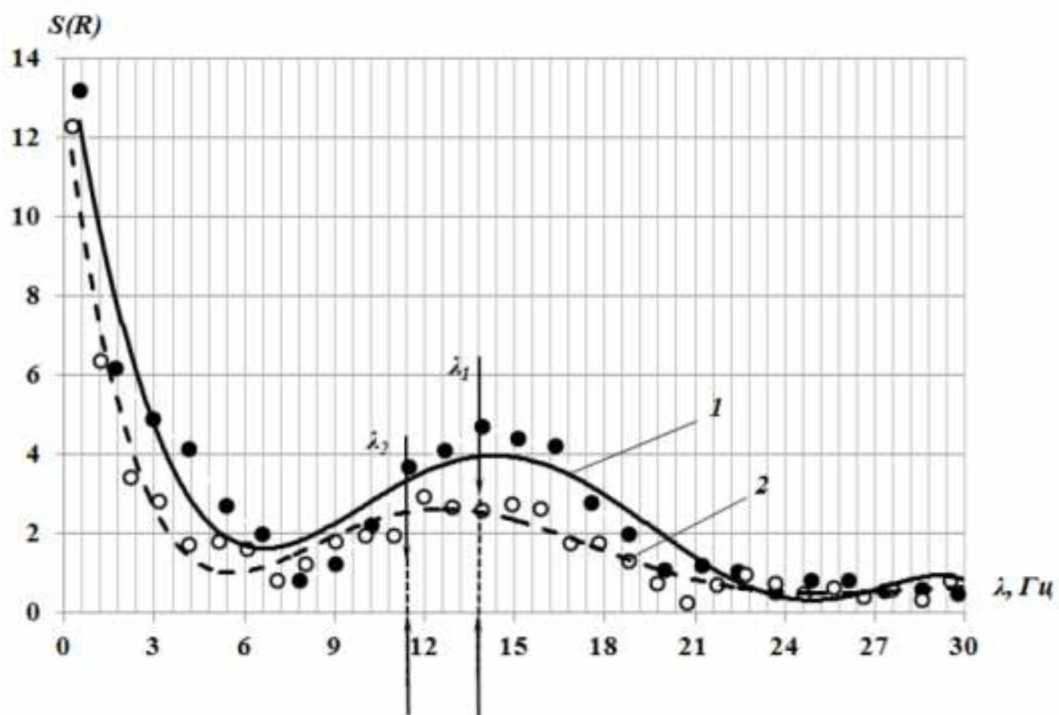


Рисунок 3.5 – Залежність приведеної жорсткості коливальної системи від числа робочих витків пружного елемента

### 3.2. Енергетичні показники роботи культиваторного МТА на режимах роботи робочого органу

Початкове завдання, передбачене програмою дослідження, полягала в одержанні пошукових експериментальних осцилограм горизонтальної складової тягового опору робочого органу культиватора при жорсткому кріпленні його до рами. Подальша обробка яких дозволила визначити генеруючі можливості зовнішнього впливу щодо порушення власних коливань робочого органу (рис. 3.6).



1 – фон стерня, 2 – фон пар;

Рисунок 3.6 – Спектральні щільності горизонтальної складової тягового опору робочого органу культиваторного МТА при жорсткому кріпленні до рами.

Аналіз графічних залежностей показує, що в розглянутому діапазоні частот існує три значущих енергетичних сплесків. Перший сплеск генерується в діапазоні до 6 Гц, природа його виникнення, згідно з [22], визначається поздовжньо-кутовими коливаннями трактора у вертикальній

площині, другий сплеск спостерігається в діапазоні частот від 9 до 16 Гц, його появу пов'язують з процесом взаємодії робочого органу з ґрунтом, неоднорідністю його фізико-механічних властивостей і мікрорельєфом.

Природу високочастотних складових спектра визначають вібрації причіпного знаряддя, що передаються від трактора. Аналіз показує, що частота енергетичного сплеску надає більший вплив на величину віброприскорення, ніж його амплітуда, тому енергетичний сплеск в діапазоні частот від 9 до 16 Гц, що володіє досить високими амплітудами і підвищеною частотою коливань, був обраний нами в якості розрахункового. Його енергетичний рівень цілком здатний створювати досить високі віброприскорення робочого органу знижуючи тим самим коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту, а значить опір руху робочого органу в ґрунті.

Як розрахункове значення частоти вимушених коливань, відповідно до рис. 3.6, нами було обрано такі частоти: для ґрунтового фону стерня  $\lambda = 14,8$  Гц, для ґрунтового фону пар  $\lambda = 11,5$  Гц. Відповідно жорсткість пружного елемента в кріпленні робочого органу склала: для ґрунтового фону стерня –  $c = 140$  кН, для ґрунтового фону пар –  $c = 85$  кН. Дана жорсткість відповідає 9 і 20 робочим виткам пружного елемента.

Експериментальні спектральні щільності гакового зусилля трактора, отримані при роботі МТА, за умови настройки всіх робочих органів культиватора на резонансний режим дозволили оцінити вплив даного режиму на динамічну навантаженість трактора (рис. 3.7, 3.8).

Аналіз представлених спектральних щільностей гакового зусилля свідчить про зниження рівня динамічних навантажень на трактор в районі до 4 Гц при роботі на резонансному режимі. Пояснити це можна зниженням середнього значення гакового зусилля. Однак робочі органи, налаштовані на резонансний режим роботи, генерують вузький спектр частот, в розширеному діапазоні, з різким збільшенням амплітуди коливань навантаження, що свідчить про наближення їх власної частоти до частоти впливу, що збурює.

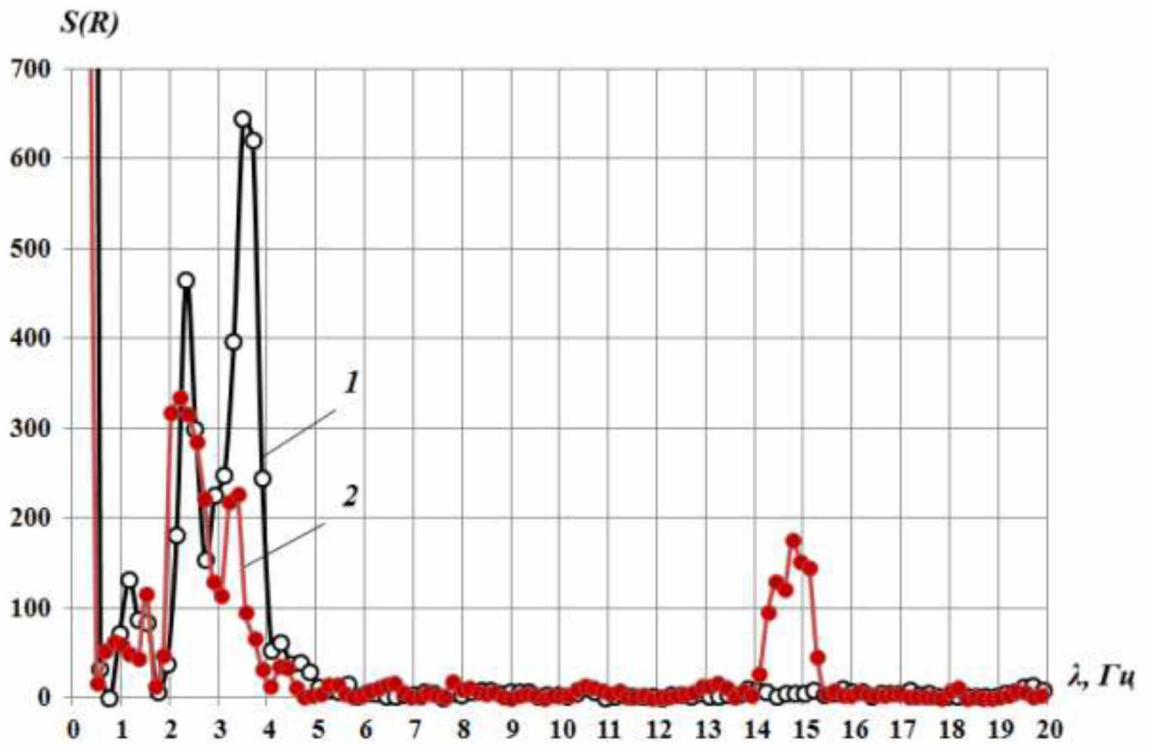


Рисунок 3.7 – Спектральні щільності гакового зусилля трактора при роботі на ґрунтовому тлі стерня: 1 – жорстке кріплення робочих органів, 2 – пружне кріплення робочих органів, що забезпечує резонансний режим роботи

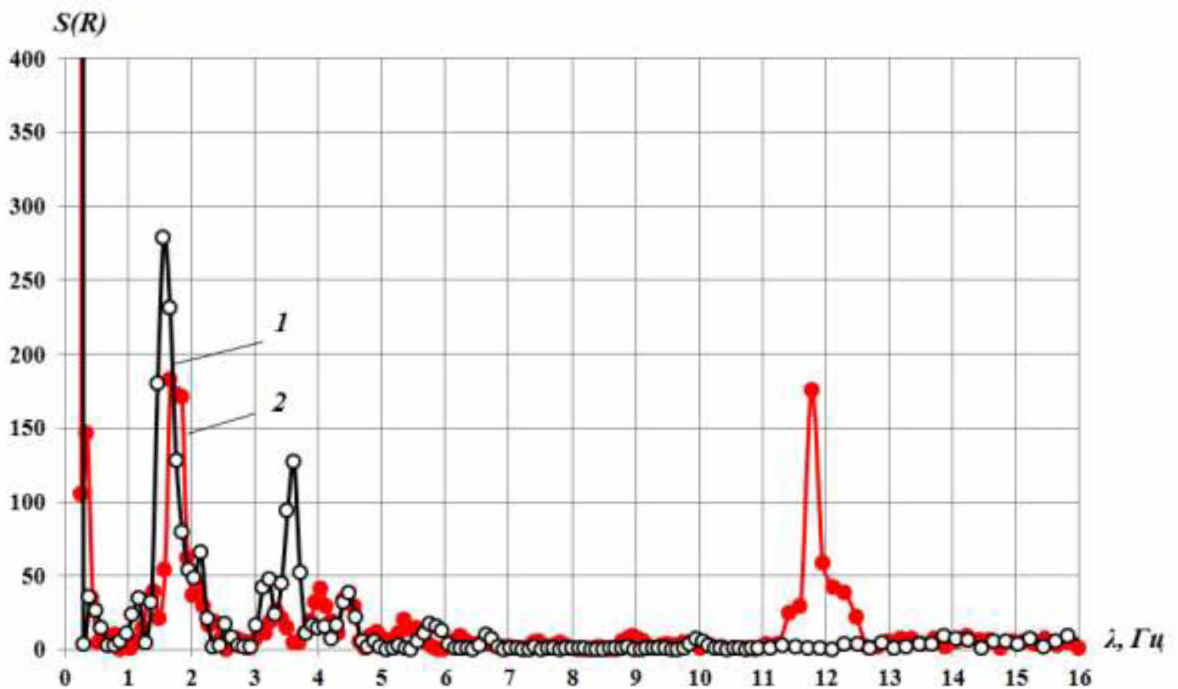


Рисунок 3.8 – Спектральні щільності гакового зусилля трактора при роботі на ґрунтовому тлі пар

Амплітуда цього сплеску визначається властивостями самого ґрунтового фону, це особливо чітко проглядається на спектральній щільності, отриманої при роботі на пару.

На перший погляд можна припустити що частоти можуть надавати негативний ефект на процес взаємодії рушія трактора з ґрунтовим фоном (підвищення коефіцієнта буксування, опір руху) і як наслідок знижувати виробничі показники МТА [22], але більш детальний аналіз отриманих спектрів дозволяє стверджувати: використання резонансного режиму роботи робочих органів не збільшує динамічну навантаженість трактора в складі МТА, тому що середнє значення середньоквадратичного відхилення гакового зусилля трактора (значення площі під кривою спектральної щільності) залишається майже незмінним.

В якості основного показника енергоємності процесу обробки ґрунту, в процесі експерименту фіксувалися осцилограми горизонтальної складової тягового опору робочого органу і гаку навантаження трактора при постійній теоретичній швидкості руху МТА. Подальша обробка експериментальних осцилограм дозволила отримати дві основні характеристики зазначених параметрів: середнє значення і середньоквадратичне відхилення. Графічні залежності середнього значення горизонтальної складової тягового опору робочого органу в функції жорсткості пружного елемента представлені на рис. 3.9.

Аналіз даних графічних залежностей показує, що розрахункові значення жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу, для ґрунтового фону стерня –  $c = 140$  кН, для ґрунтового фону пар –  $c = 85$  кН, виявилися близькими до оптимальних значень, з точки зору зниження горизонтальної складової тягового опору стійки культиватора.

Загальне зниження середнього значення горизонтальної складової тягового опору робочого органу на резонансному режимі роботи склало: для ґрунтового фону стерня до 35%, на ґрунтовому фоні пар до 20%.

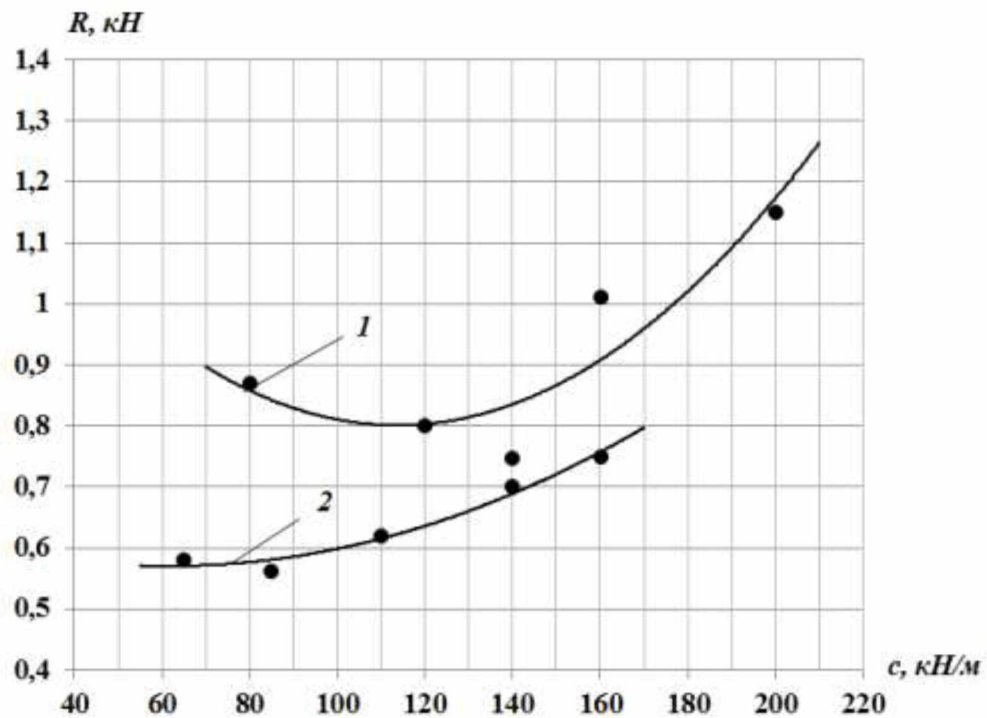


Рисунок 3.9 – Залежність середнього значення горизонтальної складової тягового опору робочого органу культиватора в функції жорсткості пружного елемента в кріпленні: 1 – фон стерня, 2 – фон пар

Менший ефект на ґрунтовому фоні пар можна пояснити більш низьким енергетичним рівнем самої операції, а також більш низькою зв'язаністю самого ґрунтового фону. Очікувати подібного енергетичного ефекту в цілому для трактора, не варто, так як загальний опір культиватора визначається не тільки процесом взаємодії робочих органів з оброблюваним матеріалом, але і опором, що характеризує витрати на перекочування опорних коліс.

Основні характеристики гакового зусилля трактора представлені на рис. 3.10, 3.11.

Аналізуючи представлені графічні залежності можна зробити висновок, що в цілому використання пружного зв'язку в конструкції кріплення робочих органів позитивно позначається на силових витратах при проведенні ґрунтообробних операцій. Виграш у витратах спостерігається на будь-яких режимах роботи робочого органу, але найбільший ефект отримано при використанні резонансного режиму роботи.

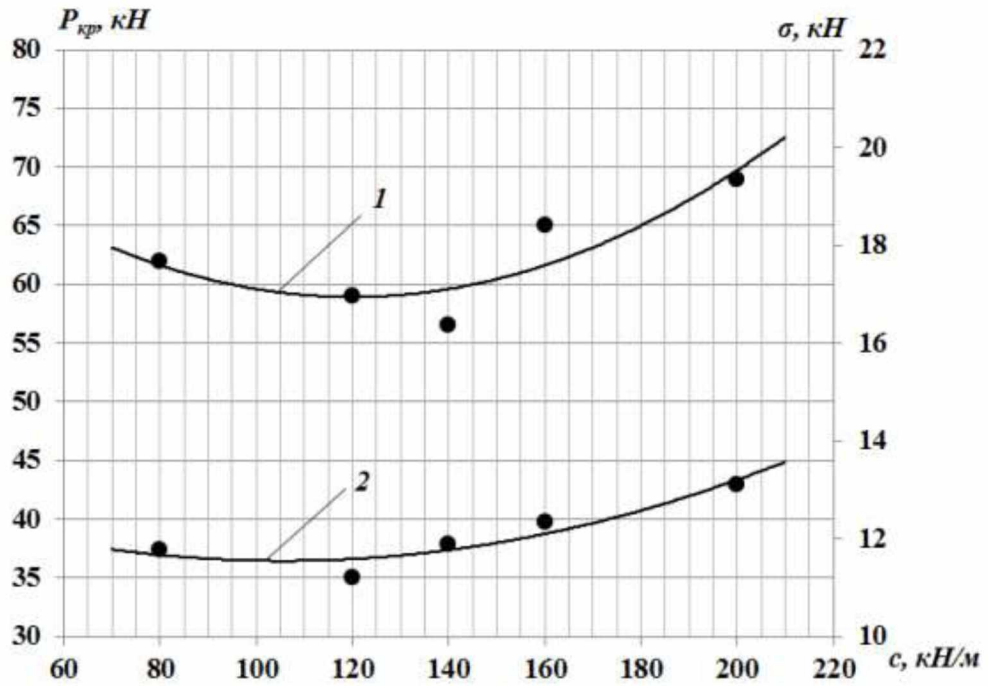


Рисунок 3.10 – Характеристики гакового зусилля трактора в функції жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу культиватора: 1 – середнє значення гакового зусилля, 2 – середнє значення середньоквадратичного відхилення гакового зусилля трактора; фон стерня.

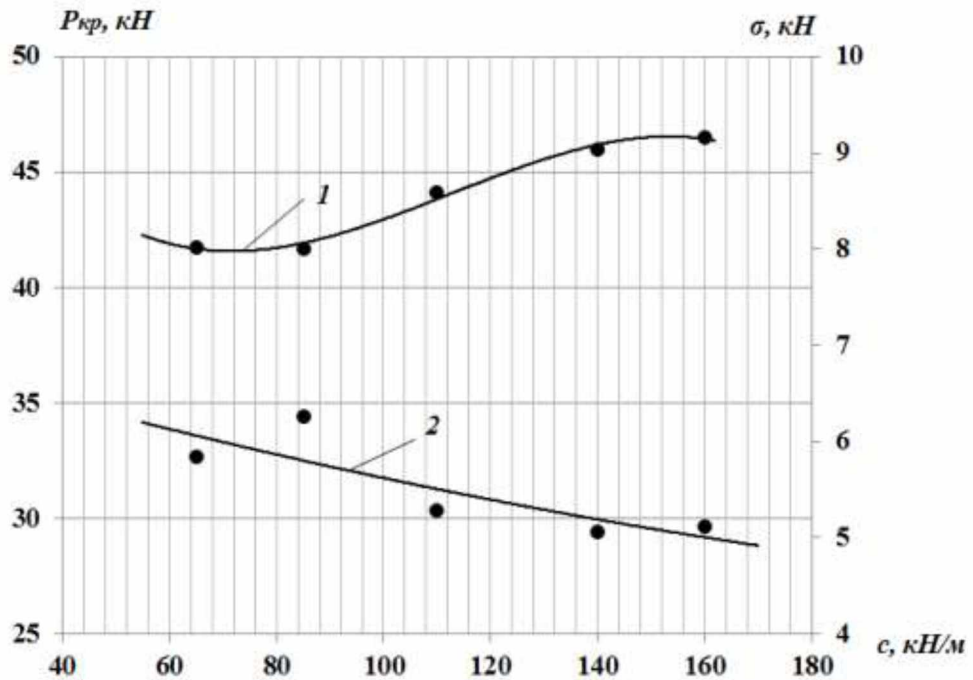


Рисунок 3.11 – Характеристики гакового зусилля трактора в функції жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу культиватора: – середнє значення гакового зусилля, 2 – середнє значення середньоквадратичного відхилення гакового зусилля трактора; фон пар.

Загальне зниження середнього значення гакового зусилля трактора на резонансному режимі роботи склало: для ґрунтового фону стерня до 18%, на ґрунтовому фоні пар до 12%.

Таким чином, якщо дія резонансних коливань з якихось причин буде давати негативний ефект (порушення агротехнічних вимог, що пред'являються до даної операції, зниження стійкості ґрунтового фону до вітрової ерозії), то можливо поліпшити роботу МТА зміщенням власної частоти коливань культиваторної стійки в зарезонансну зону, що не оптимізує значення жорсткості пружного елемента за резонансним критерієм.

Інший висновок який можна зробити це те, що на ґрунтах зі слабкими дисипативними властивостями використання резонансного режиму роботи робочих органів сприяє підвищенню динамічності процесу навантаження МТА. Це підтверджують графічні залежності середньоквадратичного відхилення гакового зусилля трактора в функції жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу.

Так при проведенні передпосівної обробки ґрунтового фону пар значення середньоквадратичного відхилення склало: для жорсткого кріплення  $0,11 P_{кр}$ , для дорезонансного режиму роботи  $0,12 P_{кр}$ , резонансного  $0,15 P_{кр}$ , післярезонансного  $0,14 P_{кр}$ , тобто не дивлячись на зниження середнього значення гакового зусилля загальна динамічність процесу зростає.

При проведенні передпосівної обробки ґрунтового фону стерня значення середньоквадратичного відхилення склало: для жорсткого кріплення  $0,19 P_{кр}$ , для дорезонансного режиму роботи  $0,19 P_{кр}$ , резонансного  $0,21 P_{кр}$ , післярезонансного  $0,19 P_{кр}$ , але дисипативні властивості ґрунтового фону цілком забезпечують зниження амплітуди коливання, значення середньоквадратичного відхилення на резонансному режимі роботи виявилось менше ніж при жорсткому кріпленні робочого органу.

### 3.3. Дослідження агротехнічних показників роботи культиваторного МТА

На першому етапі оброблений ґрунт поділявся на фракції діаметром понад 100 мм; 50-100мм; 25-50мм; менше 25мм. Результати цих досліджень представлені на рис. 3.12, 3.13.

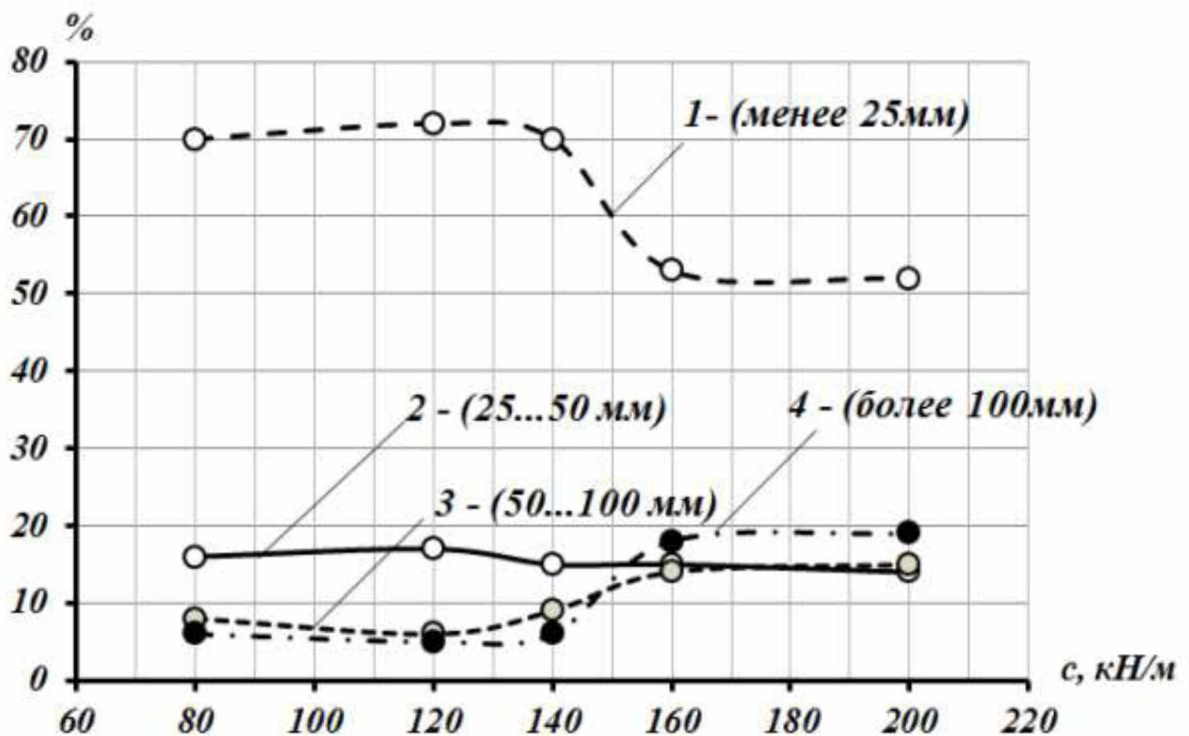


Рисунок 3.12 – Вплив жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу на фракційний склад ґрунту. Фон стерня. 1 – фракції розміром менш 25мм, 2 – фракції розміром 25-50мм, 3 – фракції розміром 50-100мм, 4 – фракції розміром більше 100мм

Аналіз представлених графічних залежностей дозволяє стверджувати, що при роботі на режимах близьких до резонансу до значного покращення якості кришення ґрунтового шару. Спостерігається збільшення фракцій діаметром до 25мм і значне зменшення небажаного, з точки зору агрономії, кількості фракцій діаметром понад 100 мм. Нагадаємо, що агротехнічними вимогами до передпосівної обробки стерньових фонів регламентуються

наявність кількості фракцій діаметром менше 25мм до 80%. Використання резонансного режиму дозволяє значно наблизитися до даного показника. У разі жорсткого кріплення робочого органу культиватор нездатний забезпечити необхідні агротехнічні вимоги на всіх ґрунтових фонах.

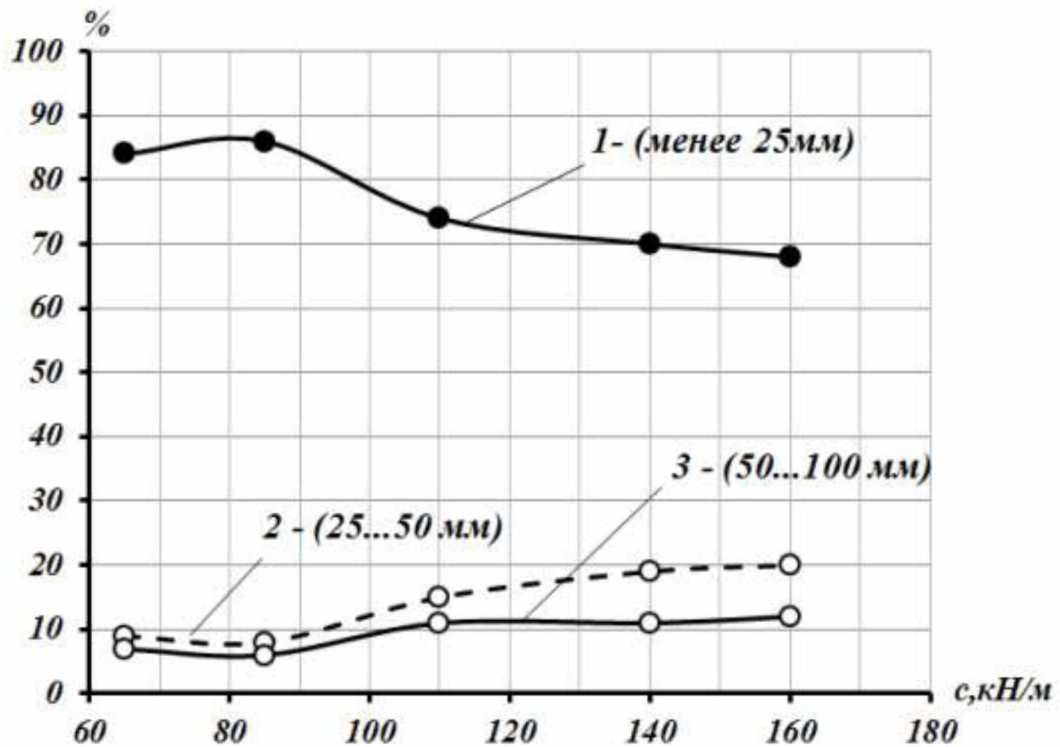


Рисунок 3.13 – Вплив жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу на фракційний склад ґрунту. Фон пар. 1 – фракції розміром менш 25мм, 2 – фракції розміром 25-50мм, 3 – фракції розміром 50-100мм

Використання резонансних режимів роботи може істотно впливати на стійкість ґрунтового фону до вітрової ерозії. Так як на кожне явище, яке сприяє підвищенню кількості еродованих частинок в ґрунті, має бути накладено обмеження, то наступна група польових експериментів була спрямована на вивчення впливу резонансного режиму роботи робочих органів на фракційний склад ґрунту діаметром менше 25 мм, для чого використовувався набір сит діаметром отворів 10-25 мм, 7-10мм, 5-7мм, 3-5мм, 1-3мм, 0.5-1мм, менш 0,5 мм.

На ґрунтовому фоні стерня (рис. 3.14) результати дослідів свідчать на користь робочих органів, налаштованих на режим автоколивань, спостерігається хороше кришення великих фракцій (діаметром 7-25мм) і приріст відсотка фракцій діаметром 3-7мм, при цьому частка пилоподібних фракцій (діаметром менше 1мм) залишається майже незмінною.

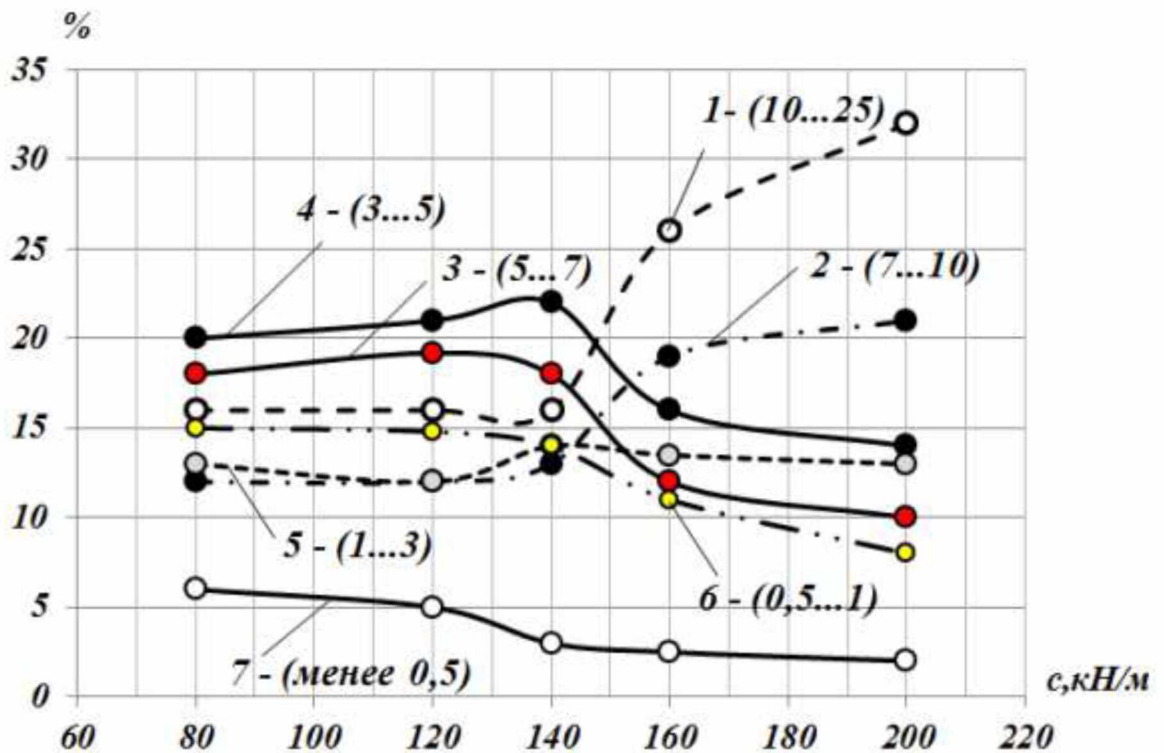


Рисунок 3.14 – Вплив жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу на фракційний склад ґрунту: фон стерня. 1 – фракції розміром 10-25мм, 2 – фракції розміром 7-10мм, 3 – фракції розміром 5-7мм, 4 – фракції розміром 3-5мм, 5 – фракції розміром 1-3мм, 6 – фракції розміром 0,5-1мм, 7 – менше 0,5 мм

Зовсім по іншому розподілу відбувається подрібнення маси ґрунту на ґрунтовому фоні – пар (рис. 3.15). При наближенні до резонансного режиму роботи спостерігається різкий приріст пилоподібних частинок (діаметром менше 1 мм) за рахунок кришення найбільш сприятливих з агротехнічної точки зору фракцій (5-10мм).

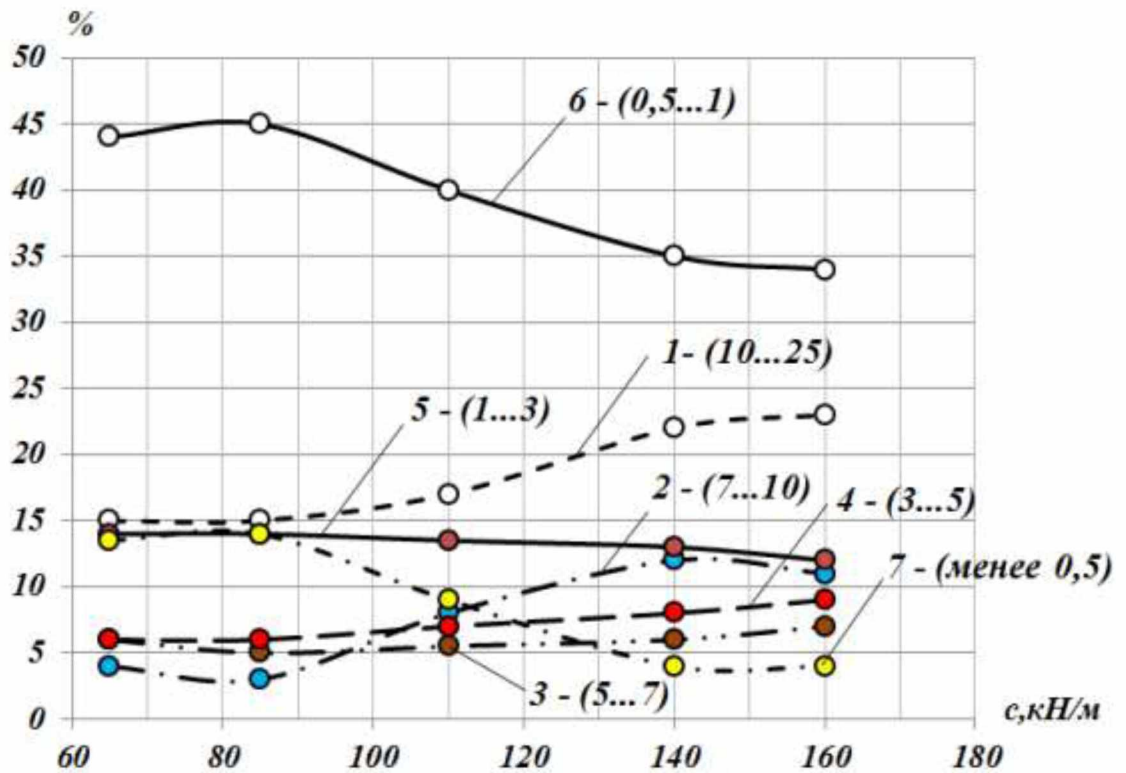


Рисунок 3.15 – Вплив жорсткості пружного елемента в кріпленні робочого органу на фракційний склад ґрунту: фон пар. 1 – фракції розміром 10-25мм, 2 – фракції розміром 7-10мм, 3 – фракції розміром 5-7мм, 4 – фракції розміром 3-5мм, 5 – фракції розміром 1-3мм, 6 – фракції розміром 0,5 1мм, 7 – менше 0,5 мм

Пояснити це можна слабкими дисипативними властивостями ґрунтового фону, нездатними забезпечити зниження амплітуди коливання робочого органу в горизонтальній площині до прийнятних меж.

## Висновки

1. Використання режиму автоколивань робочих органів дозволяє знизити гачове навантаження трактора до 18%, в порівнянні з жорстким кріпленням робочого органу, на ґрунтовому фоні стерня і до 12% на ґрунтовому фоні пар, що істотно знижує енергетичні витрати на проведення ґрунтообробних операцій.

2. Зниження гакового зусилля трактора обумовлено появою віброефекту робочих органів і як наслідок зміною міцності ґрунту, а не зменшенням глибини обробки за рахунок виглиблення робочого органу.

3. В процесі експерименту встановлено, що агротехнічні вимоги, що пред'являються до культивації, по стійкості руху робочого органу в разі використання резонансного режиму виконуються; експериментально підтверджено кращу якість кришення ґрунтового шару.

4. В цілому резонансний режим роботи, позитивно позначаючись на енергетичних витратах на обробку ґрунту, істотно впливає на стійкість ґрунтового фону до вітрової ерозії, особливо сильно це проявляється на ґрунтах, що володіють слабкими дисипативними властивостями.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища». Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;

– державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

#### **4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

### **Вимоги безпеки при нанесенні покриттів**

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

### **Висновки щодо підвищення стану охорони**

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

### **4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки**

Сумарні експлуатаційні витрати на одиницю обсягу виконаної роботи визначаються наступним виразом:

$$C_3 = C_T + C_{ЗП} + C_{АО} + C_{КР} + C_{ТР}, \quad (4.1)$$

де  $C_3$  – сумарні експлуатаційні грошові витрати на роботу МТА при обробці 1 га, грн./га;  $C_T$  – грошові витрати на паливо, грн./га;  $C_{ЗП}$  – грошові витрати на заробітну плату, грн./га;  $C_{АО}$  – грошові витрати на амортизацію, ремонт і технічне обслуговування (в тому числі зберігання), грн./га;  $C_{КР}$  –

відрахування грошових витрат на капітальний ремонт, грн./га;  $C_{TP}$  – відрахування грошових витрат на поточний ремонт, грн./га.

Грошові витрати на паливні та мастильні матеріали:

$$C_T = \frac{G_T}{W_O} \Pi_K. \quad (4.2)$$

Грошові витрати на заробітну плату працівникам:

$$C_{ЗП} = \frac{m_{\text{мех}} f_{\text{мех}} \mu_{\text{мех}}}{W_O}. \quad (4.3)$$

Грошові витрати на амортизацію, ремонт і технічне обслуговування:

$$C_{AO} + C_{KP} + C_{TP} = \frac{\Pi_{\text{бє}} m (a_{\text{ap.o}} + r + h)}{W_O T_{\text{зе}}}, \quad (4.4)$$

де  $r$ ,  $h$  – норми відрахувань на капітальний та поточний ремонт,  $r = 0,05$ ,  $h = 0,11$ .

Продуктивність машинно-тракторного агрегату:

$$W_O = 0,1BV\tau. \quad (4.5)$$

Приведені витрати:

$$C_{\text{ПР}} = C_3 + E_H K_{\text{вд}}, \quad (4.6)$$

де  $E_H = 0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень [28];  $K_{\text{вд}}$  – питомі капітальні вкладення на одиницю роботи, грн.

Питомі капітальні витрати на одиницю виробленої роботи визначаються виразом:

$$K_{\text{вд}} = \frac{m \Pi_{\text{бє}}}{T_{\text{зе}} W_O}, \quad (4.7)$$

де  $m$  – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати.

Річний економічний ефект від використання резонансного режиму роботи робочих органів визначається по економії приведених витрат по формулі:

$$E_{\Gamma} = (C_{\text{ПР}}^{\text{сєр}} - C_{\text{ПР}}^{\text{рез}}) W_O T_{\text{зе}}, \quad (4.8)$$

де  $(C_{PP}^{сер} - C_{PP}^{рез}) = \Delta C$  виграш у витратах при використанні резонансного режиму роботи.

Результати розрахунків по приведеним формулам представлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.5 – Економічний ефект від використання резонансного режиму роботи робочих органів культиваторного МТА

Показники	Варіанти	
	Традиційна технологія	Запропонована (з використанням резонансних коливань робочого органу)
1. Нормативна завантаженість МТА на одній операції, га	400	400
2. Годинна витрата дизельного палива, кг/год.	70,2	68,6
3. Продуктивність, га/год.		
- стерня	8,76	9,96
- пар	9,96	10,73
4. Швидкість руху, км/год.		
- стерня	8,0	9,1
- пар	9,1	9,8
5. Коефіцієнт використання часу	0,75	0,75
6. Приведені затрати на обробку 1 га		
- стерня	440	380
- пар	389	351
7. Зниження експлуатаційних витрат на даній операції, грн./га		
- стерня	—	60
- пар	—	38
8. Річний економічний ефект, грн.	—	39200

Таким чином, річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу обробки ґрунту складе 39 200 грн. при обробці 400 га площі.

## **Висновки**

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонований культиватор для суцільного обробітку ґрунту, обладнаний пружним кріпленням робочих органів до рами, є безпечним для навколишнього середовища.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Річний економічний ефект від впровадження запропонованого способу обробки ґрунту складе 39 200 грн. при обробці 400 га площі.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз виконаних досліджень щодо раціонального використання динамічних аспектів взаємодії робочого органу з пружним зв'язком в кріпленні з ґрунтом дозволив виділити наступні проблеми: складність зміни жорсткості пружного кріплення, з метою зміщення власної частоти коливань робочого органу в резонансну зону, з точки зору конструкторського виконання; використання вібруючих ефектів може мати значний вплив на фракційний склад ґрунту, збільшуючи приріст фракцій діаметром до 1 мм.

2. Отримано математичні залежності наведеної жорсткості коливальної системи, представленої у вигляді пружного елемента в кріпленні робочого органу культиватора з лінійною характеристикою і стійки, від числа робочих витків пружного елемента.

3. Проведені експериментальні дослідження показали, що резонансний режим роботи, позитивно позначаючись на енергетичних витратах на обробку ґрунту, істотно впливає на стійкість ґрунтового фону до вітрової ерозії, особливо сильно це проявляється на ґрунтах, що володіють слабкими дисипативними властивостями. Використання режиму автоколивань робочих органів дозволяє знизити гакове навантаження трактора до 18%, в порівнянні з жорстким кріпленням робочого органу, на ґрунтовому фоні стерня і до 12% на ґрунтовому фоні пар, що істотно знижує енергетичні витрати на проведення ґрунтообробних операцій.