

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин**

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему

**Покращення умов керування трактором  
ЮМЗ-8040 шляхом удосконалення підвіски сидіння  
тракториста**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-3-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Єременко Валерій Едуардович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Бойко Владислав Борисович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

тракторів і сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Єременку Валерію Едуардовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Покращення умов керування трактором ЮМЗ-8040 шляхом удосконалення підвіски сидіння тракториста

керівник роботи Бойко Владислав Борисович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

**2. Строк подання студентом роботи** 10.12.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Наукові рішення кафедри ТСГМ з даної тематики. Вихідні дані господарства та огляд конструктивних та теоретичних рішень з підвищення ефективності керування тракторами шляхом удосконалення підвіски сидіння трактора.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4) 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1-5           | Бойко В. Б., доцент                       |                |                  |
| нормоконтроль | Золотовська О.В., доцент                  |                |                  |
|               |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання: 5.09.2024р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний (оглядовий)         | до 25.09.2024 р.              | Виконано |
| 2     | Теоретичний                     | до 19.10.2024р.               | Виконано |
| 3     | Експериментальний               | до 15.11.2024 р.              | Виконано |
| 4     | Охорона праці                   | до 19.11.2024 р.              | Виконано |
| 5     | Економічний                     | до 2.12.2024 р.               | Виконано |
| 6     | Демонстраційна частина          | до 9.12.2024 р.               | Виконано |

Студент

\_\_\_\_\_ Єременко В.Е.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Бойко В.Б.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

[illegible]

## РЕФЕРАТ

Сременко В.Е. Покращення умов керування трактором ЮМЗ-8040 шляхом удосконалення підвіски сидіння тракториста/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню умов керування трактором ЮМЗ-8040 шляхом удосконалення підвіски сидіння тракториста.

Запропоноване конструктивне рішення дозволить знизити поштовхи, вібрації та частотні коливання, які передаються трактористу через сидіння підчас керування трактором.

Використавши наукові рішення кафедри ТСГМ з даної тематики та провівши огляд конструктивних та теоретичних рішень з підвищення ефективності керування тракторами шляхом удосконалення підвіски сидіння трактора запропоновано конструктивне рішення з удосконалення підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 ефективність якого доведено розрахунками та проведеними дослідженнями.

Ключові слова: підвіска, гідроциліндр, пневмоциліндр, адаптивна система підвіски сидіння, частотні навантаження, коливання.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                                     | 8  |
| 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ                                                                                      | 11 |
| 1.1 Вплив вібрації та коливань на організм тракториста                                                                    | 11 |
| 1.2 Аналіз конструктивних рішень зниження вібрацій та коливань, що сприймає тракторист при керуванні МТА або ТТА          | 14 |
| 1.3 Висновки                                                                                                              | 23 |
| 1.4 Мета і завдання досліджень                                                                                            | 24 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ                                                                                                  | 25 |
| 2.1 Конструктивне рішення з поліпшення керування трактором шляхом розробки адаптивної підвіски робочого місця тракториста | 25 |
| 2.2 Розрахунок основних параметрів адаптивної підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040                                          | 26 |
| 2.3 Теоретичні дослідження динамічних коливань трактора                                                                   | 30 |
| 2.4 Висновки                                                                                                              | 37 |
| 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ                                                                                            | 38 |
| 3.1 Програма досліджень                                                                                                   | 38 |
| 3.2 Об'єкт досліджень                                                                                                     | 38 |
| 3.3 Прилади для контролю та вимірювання коливань                                                                          | 41 |
| 3.4 Експериментальні випробування підвіски робочого місця тракториста в умовах полігону                                   | 42 |
| 3.5 Експериментальні випробування підвіски робочого місця тракториста в польових умовах                                   | 49 |
| 3.6 Висновки                                                                                                              | 56 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ                                   | 57 |
| 4.1 Організація охорони праці                                                         | 57 |
| 4.2 Аналіз виробничого травматизму                                                    | 59 |
| 4.3 Вимоги з охорони праці під виконання транспортних робіт трактором ЮМЗ-8040        | 61 |
| 4.4 Заходи безпеки в НС на току, де експлуатується трактор ЮМЗ-8040 з причепом 2ПТС-4 | 64 |
| 4.5 Висновки                                                                          | 67 |
| 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ                                             | 68 |
| Висновок                                                                              | 71 |
| ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ                                                                | 72 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                            | 74 |
| ДОДАТКИ                                                                               | 78 |

## ВСТУП

### ***Актуальність роботи.***

У сучасних умовах розвиток сільського господарства можливий за рахунок інтенсифікації виробництва через комплексну механізацію та збільшення енергетичного оснащення. Особливо важливо вдосконалювати агротехнічні та технологічні показники машинно-тракторних (МТА) та тракторно-транспортних (ТТА) агрегатів. Однією з ключових тенденцій розвитку є збільшення потужності тракторів. Однак зростання швидкості та потужності техніки призводить до підвищення рівня вібрації на робочому місці оператора, що негативно впливає на його продуктивність та безпеку [1].

Крім того, зростає обсяг транспортування вантажів у господарствах, що збільшує використання ТТА на базі тракторів високої прохідності. За результатами досліджень, такі агрегати виконують 40-60% перевезень, і підвищення швидкості руху спричиняє збільшення вібраційної дії на оператора, що веде до стомлюваності, зниження якості роботи та підвищення ризиків [2].

На основі цього одним із пріоритетних напрямків розвитку ТТА є зниження вібраційної дії та покращення умов праці операторів. Ефективним вирішенням є впровадження підресорених сидінь, оскільки пасивні системи з фіксованими характеристиками вже не задовольняють вимоги продуктивності. Таким чином, тема роботи, присвяченої розробці рішення для зниження вібрацій на робочому місці тракториста у науково-освітньому центрі практичної підготовки ДДАЕУ, є актуальною.

***Мета кваліфікаційної роботи:*** зниження вібраційного навантаження на водія сільськогосподарського трактора при виконанні транспортних та технологічних робіт за рахунок застосування адаптивної підвіски сидіння.

### ***Задачі роботи:***

- провести аналіз способів зниження вібрацій та коливання що сприймає тракторист під час керування трактором;
- обґрунтувати та провести удосконалення підвіски робочого місця тракториста;
- отримати математичну модель, що описує вертикальні коливання, які передаються на робоче місце тракториста під час руху трактора з метою оцінки ефективності запропонованого удосконалення підвіски сидіння;
- провести розрахунки та дослідження запропонованого удосконалення для встановлення раціональних параметрів пневмогідравлічних акумуляторів підвіски сидіння;
- провести розрахунки для підтвердження економічної ефективності кваліфікаційної роботи.

**Об'єктом дослідження** є універсально-просапний трактор ЮМЗ-8040 з підвіскою сидіння оператора

**Предмет дослідження:** вібрації та коливання, які виникають на робочому місці тракториста при переміщенні МТА і ТТА

**Методи виконання роботи.** В якості програми для моделювання процесів на робочому місці тракториста під час руху МТА і ТТА використано програмний пакет MATLAB з додатком Simulink. Статистичний аналіз результатів досліджень проведено з використанням програмного пакету Statistica-10.

### **Наукова новизна роботи:**

- Проведено удосконалення підвіски робочого місця тракториста універсально-просапного трактора ЮМЗ-8040
- обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри пневмогідравлічних акумуляторів адаптивної підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Запропоноване удосконалення підвіски робочого місця тракториста дозволить зменшити навантаження при керуванні трактором шляхом поглинання поштовхів, вібрації та коливань, що виникають в процесі переміщення ТТА.

**Публікації.** За результатами виконаної кваліфікаційної роботи опубліковано тези в науковому збірнику III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених 15 листопада 2024 «Інжиніринг технологій і технічних систем агропромислового комплексу».

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Вплив вібрації та коливань на організм тракториста

Вібрація та коливання є постійними супутниками під час всього життя людини, що пов'язано з поширенням механічних машин особливо протягом останніх 100 років. Коливальні процеси мають різну фізичну природу: це на самперед механічна, теплова та ін. при чому вона може змінюватися в часі, як зростати так і зменшуватися. Вібрація ж залежить тільки від механічних коливань, що виникають в процесі роботи різних агрегатів.

Згідно ДСТУ ISO 2631-1:2004 вібрація це рух точки або механічної системи, при якому відбуваються коливання скалярних величин, що характеризують його [3]. Науковці Ю.В. Колос та В.М. Барановський, не виходячи за межі попереднього визначення запропонували своє розширене визначення терміну вібрація. Вони розглядають вібрацію як рух механічної системи або точки за якого постійно в часі змінюються її координати то зростають то спадають при наймні хоча б одна із них.

Згідно теми кваліфікаційної роботи ми розглядаємо вібрацію тобто механічні коливання, що виникають від роботи енергетичної установки трактора та підчас його руху в складі з причепом по нерівним ділянкам дороги чи бездоріжжю. При цьому частота коливань може змінюватися від кількох герц до тисяч.

До основних параметрів, які дозволяють охарактеризувати вібрацію відносять амплітуду –  $A$ , м; період коливань  $T$ , с та частоту  $f$ , Гц.

Виразом  $f = 1/T$  описано залежність частоти від періоду повторень процесу відносно часу.

Механічні коливання характеризуються наступними параметрами: вібропереміщенням  $S$ , яке показує максимальну відстань між межами руху

об'єкта, яку вимірюють по осі руху об'єкта. Наприклад між піками амплітуд. В якості одиниць вимірювання використовують міліметри (мм) або мікрони (мкм);

швидкість руху точки об'єкта відносно осі її руху є похідною вібропереміщення відносно часу і називається віброшвидкістю  $V_v$ . І похідною від віброшвидкості являється віброприскорення  $a$ , що характеризує динамічний вплив (потужність), що викликав коливання. Даний показник отримав найбільше поширення в теорії дослідження коливань завдяки датчикам, що вимірюють саме віброприскорення, не використовуючи наступних перетворень. Це спрощує процеси теоретичних досліджень коливань. Віброприскорення, вимірюються як і класичні прискорення в  $\text{м/с}^2$ .

Згідно теоретичних положень коливання розрізняють як вільні так вимушені коливання. Вільні коливання виникають під впливом внутрішніх сил і є загасаючими. Вимушені коливання виникають під впливом періодичних збурюючих сил. В таких галузях, як переробка, будівництво та ін. вібрація використовується в технологічному процесі, як позитивне явище.

Але в більшості випадків вібрація є негативним явищем з яким приходится боротися, оскільки її вплив протягом тривалого часу може викликати негативні наслідки, як вузлах машин так і організмі біологічних об'єктів.

Транспортна вібрація – це коливання, які постійно чинять впливають на організм тракториста (водія) на робочому місці під час виконання технологічних операцій ТТА і МТА.

Низькочастотні коливання значної інтенсивності виникають внаслідок активної взаємодії рушіїв тракторно-транспортного агрегату з поверхнею, на якій він рухається (рис. 1.1). Амплітуда та частота цих коливань залежать від форми опорної поверхні та швидкості руху агрегату. Рівень впливу коливань на оператора значною мірою визначається конструкцією машини та місцем розташування робочого місця механізатора.

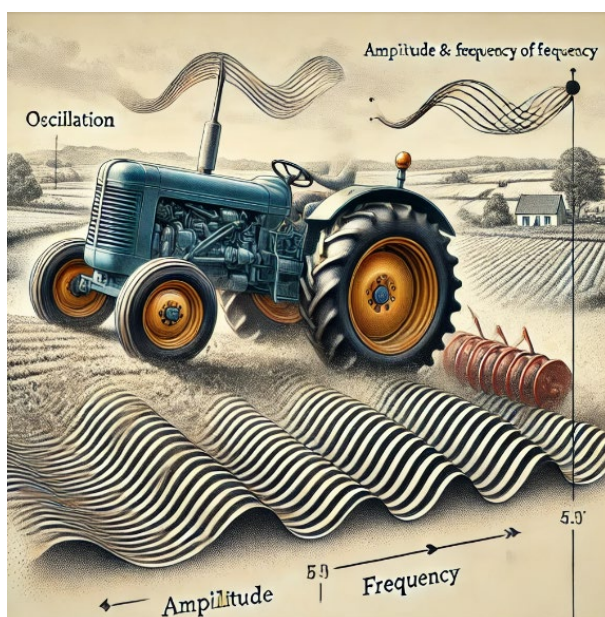


Рисунок 1.1 – Динаміка коливань під час руху МТА [4]

Виконуючи транспортні роботи тракторист сприймає локальну вібрацію, яка передається через органи керування та загальну вібрацію через робоче місце та точку опори, що викликає струшувальну дію всього організму. Комбінована вібрація це вплив як локальної так і загальної вібрації на організм тракториста (водія).

В залежності від характеру розрізняють вузько смугові, широко смугові, постійні та не постійні вібрації. На рисунку 1.2 наведено значення параметрів вібрацій різного роду.

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Вузькосмугові вібрації</b> - у яких параметри в 1/3 октавної смуги частот більше ніж на 15 дБ перевищує значення у сусідніх 1/3 октавних смугах</p> | <p><b>Широкосмугові вібрації</b>, коли в діапазоні більше однієї октави спектр безперервний</p>                                                                                      |
| <p><b>Постійна вібрація</b> – величина нормованих параметрів змінюється лише у 2 разу (на 6 дБ) за час спостереження</p>                                  | <p><b>Непостійна вібрація</b> – величина нормованих параметрів змінюється не менше ніж в 2 рази (на 6 дБ) за час спостереження щонайменше 10 хв при вимірі з постійною часу 1 с.</p> |
| <p><b>Імпульсні</b> - що складаються з одного або кількох впливів (ударів), тривалість кожного менше 1 с</p>                                              | <p><b>Переривчасті</b> – контакт тракториста з вібрацією переривається, а тривалість інтервалів, протягом яких має місце контакт, становить понад 1 с</p>                            |

Рисунок 1.2 - Різновиди вібрацій

Згідно [5, 6] основним джерелом виникнення коливань ТТА і МТА, що діють на тракториста є:

- а) нерівність дороги чи опорної поверхні (агрофона)
- б) вібрації що виникають при роботі ДВЗ від його систем та механізмів, карданних передач, елементів ходової частини трактора та ін.

За результатами проведених досліджень [7] встановлено діапазон частот в межах від 1,5 до 4,1 Гц, що негативно впливають на тракториста під час керування МТА або ТТА.

## **1.2 Аналіз конструктивних рішень зниження вібрацій та коливань, що сприймає тракторист при керуванні МТА або ТТА**

Дослідженням питання зниження вібрацій та коливань, що виникають на робочому місці тракториста присвячені роботи таких науковців як Б.І. Кальченко, А.П. Кожух, О.С. Ребров, А.Г. Мамонтов та ін. Провівши аналіз наукових робіт ми прийшли до висновку, що використання пасивних систем підресорювання підвіски чи кабіни трактора не вирішують питання гасіння вібрацій та коливань на належному рівні, що обмежує експлуатацію МТА та ТТА на вищих швидкостях і не дозволяє підвищити відповідно продуктивність агрегатів. , що безпосередньо позначається на продуктивності даних агрегатів. На особливу увагу заслуговують роботи пов'язані з удосконаленням систем підресорювання шляхом використання в їх конструкції демпферних елементів з електронним керування зміни їх робочих характеристик [8, 9]. Такі системи дозволяють в автоматичному режимі задавати необхідний алгоритм роботи підвіски для зниження вібрацій та коливань, що виникаю під час руху МТА і ТТА. Основним недоліком таких систем являється складність, а відповідно велика вартість.

Тому зараз намітилася тенденція, що дозволяє за низьких витрат на складні системи підвіски тракторів забезпечити комфортні умови роботи тракториста шляхом підресорювання робочого місця тракториста а саме сидіння.

Тому розгляне найбільш перспективні рішення в даному напрямку. Так на даний час набула тенденція використання адаптивних систем підвісок сидіння тракториста з використанням електронних блоків керування системою в автоматичному режимі. За результатами проведених досліджень встановлено зниження коливань за дрібних нерівностей опорної поверхні та за великих амплітудних коливань [10]. На рисунку 1.3 представлено загальний вигляд такої підвіски

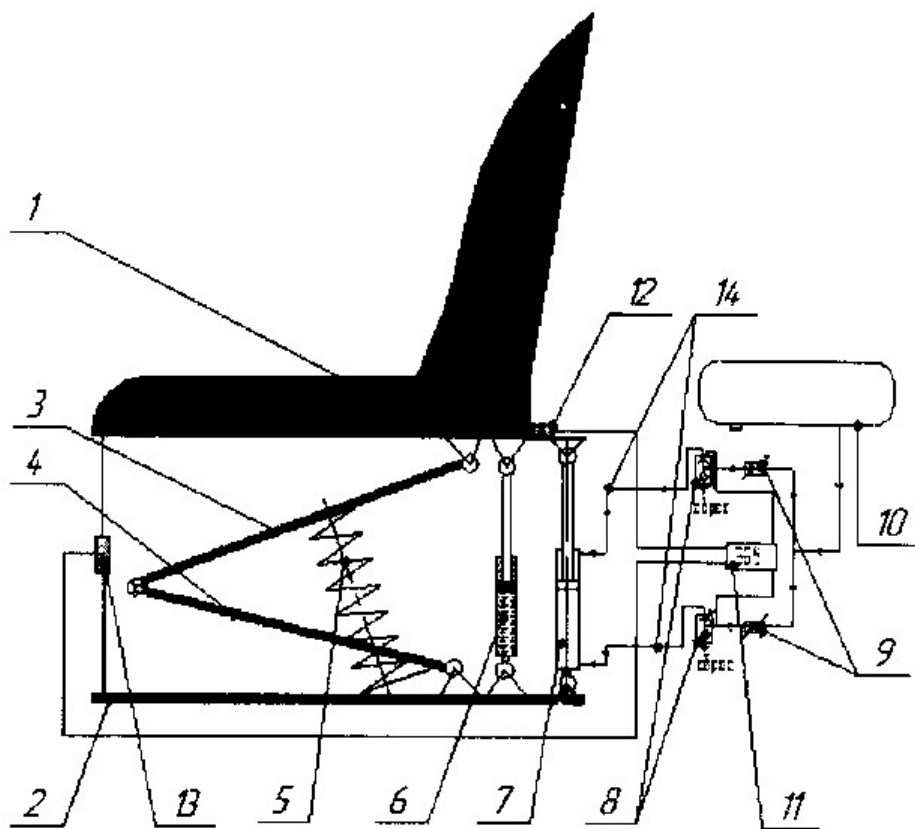


Рисунок 1.3 – Адаптивна підвіска робочого місця тракториста

- 1 – робоче місце тракториста; 2 – озов; 3, 4 – планка відповідно верхня та нижня; 5 – пружина; 6 –демпфер гідравлічний; 7 –пневматичний елемент активний; 8 – електроклапани; 9 – дросель; 10 – пневмоакумулятор (ресивер); 11 – блок керування системою ЕБК; 12 – датчик контролю вібрації; 13 – позиційний датчик; 14 – пневматична магістраль

Положення тракториста на підвісному сидінні контролюється датчиком 13, сигнал з якого надходить до блоку управління 11 для подальшої обробки. Після цього з блоку управління надходить команда на електромагнітні клапани 8, через які повітря з ресивера 10 потрапляє в пневмопоршневий пружний елемент. Таким чином, відбувається подача повітря при коливаннях підвіски сидіння у вертикальному напрямку. Електромагнітні клапани 8 відкриваються за сигналом з блоку управління 11. При незначних коливаннях підвіска функціонує на середній ділянці, де пружні та демпфуючі характеристики визначаються параметрами пружини 5 і опором гідравлічного демпфера. Активний пневматичний елемент підвищує жорсткість на крайніх ділянках пружної характеристики.

За результатами проведених досліджень запропонованої адаптивної підвіски встановлено її демпфуючі та пружні властивості на середній ділянці ( $K_s = 700 \text{ Н с/мм}$ ,  $C = 4202 \text{ Н/м}$ ). Недоліком даної конструкції є лінійна характеристика циліндричної пружини, що функціонує на середній ділянці та враховує постійне навантаження транспортного агрегату і швидкість руху, але не бере до уваги особливості двигуна.

Також до недоліків даного конструктивного рішення можна віднести обмеженість в діапазоні зміни пружних властивостей що пов'язано з використанням одного пневмоциліндра 7 та конструктивно складного гідравлічного демпфера 6 де застосовується магнітореологічної рідини.

Для вирішення даної проблеми запропоновано адаптивну підвіску [11] (патент на корисну модель UA №46232), яка зображена на рисунку 1.4.

До складу системи входить гідроциліндр 2, регульований гідродросьель 10, пневмоциліндр, клапани для стравлювання надлишкового тиску 16 та нагнітання повітря 14. Гідродросьель має з'єднання з камерами гідроциліндра та камерою гідравлічною ПГА 12, регулювання пневматичної камери 13 здійснюється за допомогою блока керування враховуючи коливання які передаються підвісці. Адаптивна підвіска працює аналогічно попередньому

варіанту за одним виключенням а саме відсутності використання магнітореологічної рідини в гідроциліндрі. Функцію демпфера виконуватиме гідравлічний циліндр, регульований гідродросель і ПГА, керування якими виконує ЕБК.

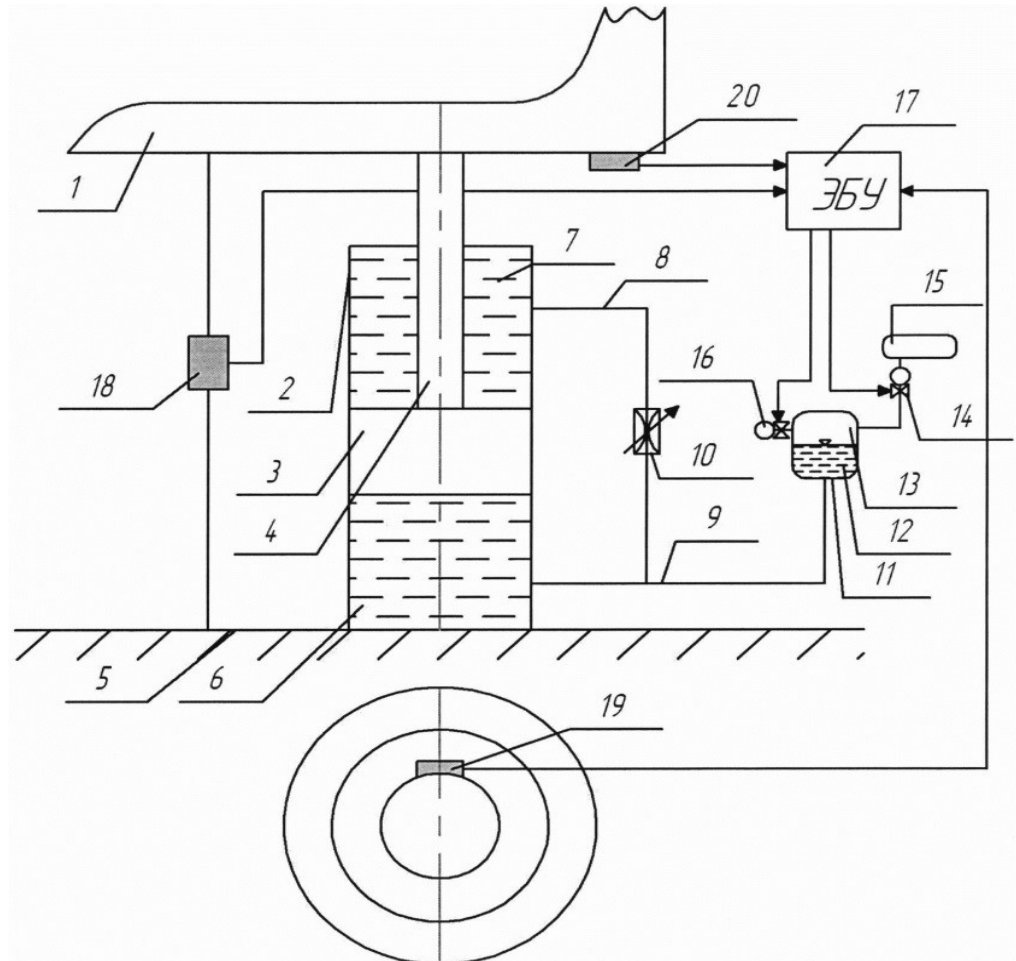


Рисунок 1.4 – Конструктивне рішення адаптивної підвіски сидіння трактора UA №46232

1 – робоче місце (сидіння); 2 – робочий гідроциліндр; 3 – поршень гідроциліндра; 4 – шток гідроциліндра; 5 – остов; 6 – поршнева камера; 7 – штокова камера; 8, 9 – гідравлічні магістралі; 10 – гідродросель; 11 – пневмо-гідравлічний акумулятор (ПГА); 12 – гідравлічна камера; 13 – пневматична камера; 14, 16 – пневмоклапани; 15 – пневмоакумулятор (ресивер); 17 – блок керування електронний; 18 – позиційний датчик; 19, 20 – датчик контролю вібрації

За результатами проведених досліджень отримано графічні залежності роботи адаптивної системи підвіски сидіння представлені на рисунку 1.5, яким підтверджено ефективність її роботи. Так застосування підвіски на тракторах МТЗ-80 в агрегаті з причепом 2ПТС-4 дозволило знизити значення вертикальних прискорень на 21 відсоток [12, 13]. Але використання тільки одного пневмогідравлічного акумулятора в системі не дозволяє розширити регульовальні межі для згладжування пружних навантажень, які виникають під час руху МТА і ТТА.

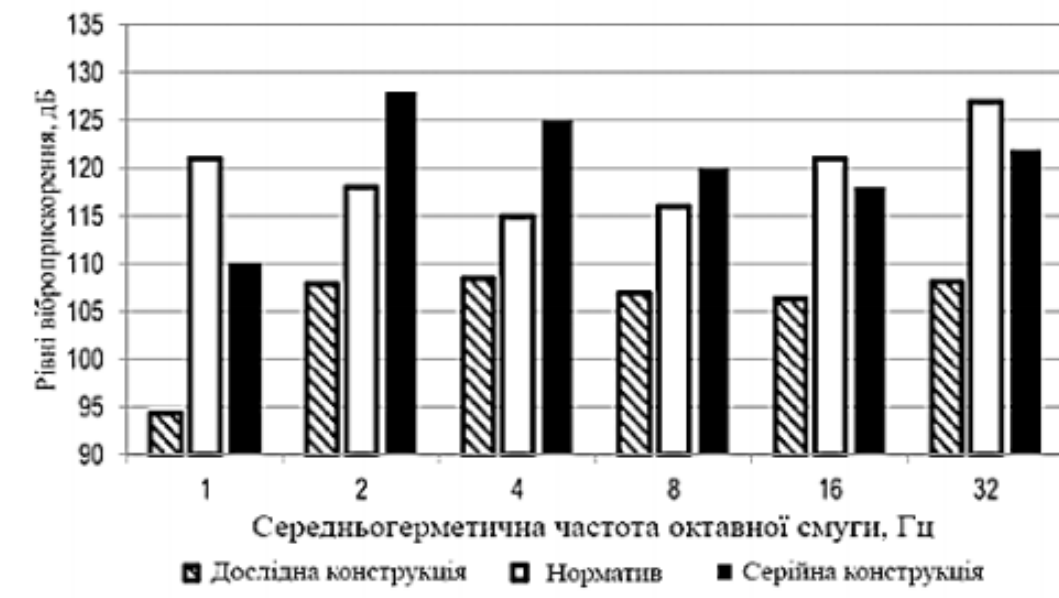


Рисунок 1.5 – Результати дослідження адаптивної системи підвіски трактора МТЗ-80 в складі з причепом 2ПТС-4

Для вирішити питання по розширенню діапазона регулювань адаптивної підвіски запропоновано конструктивне рішення адаптивної підвіски з активним демпфером та використанням трьох ПГА [14].

Підвіска (рис 1.6) складається з пари планок 1, які мають зв'язок з остовом, електромагнітної котушки, вбудованої в гідродемпфер. Поршнева камера через регульований гідродросьель з'єднана з пневмогідроакумулятором 8 та 9, а штокова камера з пневмогідроакумулятором 7. Незначні коливання реєструє ЕБК 13 за допомогою сигналів що надходять від датчика прискорень 15, де після обробки сигналів відбувається реакція по зміні режиму відкриття

гідродроселів 11 та 12, змінюючи пропускну здатність магнітореологічної рідини, забезпечуючи підтримання оптимальної жорсткості пневмогідроакумуляторів 8 та 9. Зростання амплітуди коливань підвіски 3 контролює датчик вертикальних прискорень 15. Сигнали від датчика 15 надходять на ЕБК з якого формується команда на закриття або відкриття гідродроселя 11, який впливає на зміну жорсткості ПГА 9. За режиму великих коливань працює лише один пневмогідроакумулятор, це дозволяє збільшити жорсткість підвіски та змінити її робочі характеристики.

Таке рішення дозволяє розширити діапазони регулювання жорсткості адаптивної підвіски робочого місця тракториста, що наближає таку конструкцію до напівактивних підвісок сидіння трактора.

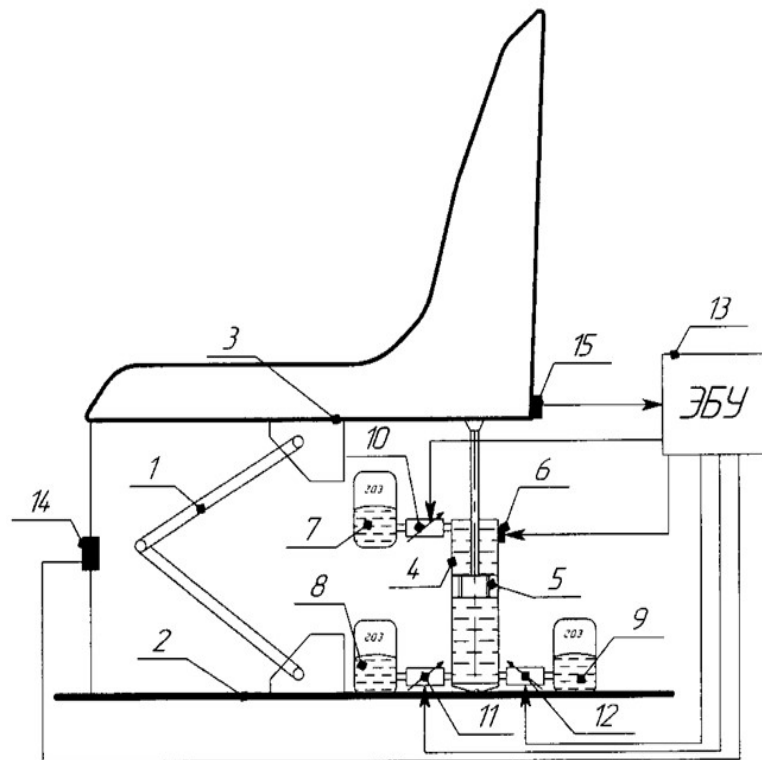


Рисунок 1.6 – Адаптивна система підвіски сидіння з активним демпфером

1 – планка напрямна; 2 – остов; 3 – робоче місце (сидіння); 4 – активний гідродемпфер; 5 – соленоїд; 6 – датчик демпфера; 7-9 – ПГА; 10-12 – керовані гідродроселі; 13 – електронний блок керування (ЕБК); 14, 15 – датчик вібрацій

В зв'язку з незначним інформативним навантаженням для керування адаптивною системою підвіски використовуються контролери за низької пропускної здатності, оскільки тільки значні зміни в дорожніх умовах, наприклад, перехід з твердого покриття на бездоріжжя, переміщення по полю з різним агрофоном збільшують навантаження на мікроконтролер. Сучасні адаптивні системи комплектуються мікроконтролерами ЕБК, що мають підвищену пропускну здатність мікроконтролерів. Це дозволяє швидко реагувати на зміни в умовах переміщення трактора та на появу коливань та вібрацій. За результатами проведених досліджень встановлено що реакція системи підвіски дозволяє знизити кількість низькочастотних коливань з частотою від 1 до 7 Гц. Перевагою використання мікроконтролерів підвищеної пропускної здатності забезпечує вищі можливості напівактивних і активних систем підвіски, хоча їх конструкція є більш складною, що обмежує їх поширення.

Напівактивні системи підвіски, здатні змінювати свої властивості як дискретно, так і безперервно, споживають менше зовнішньої енергії в порівнянні з активними системами. Їхня швидкодія становить 20-30 Гц, що дозволяє змінювати характеристики протягом окремих циклів коливань. Компанія John Deere використовує напівактивні підвіски сидінь з регульованим демпфуванням на основі магнітореологічної рідини, розроблені фірмою Sears (рис. 1.7) [15].

Принцип роботи цієї підвіски полягає в тому, що датчик положення сидіння надсилає сигнал до ЕБК, який керує електромагнітною котушкою демпфера 2, змінюючи демпфіруючі властивості амортизатора. Балон 1 зі стисненим повітрям забезпечує накопичення та подачу повітря в ресорну підвіску, що дає власну частоту коливань від 0,45 до 0,8 Гц. Ключовим компонентом є магнітореологічний демпфер. Дослідження показали, що максимальне споживання енергії припадає на активні підвіски (більше 10,5 кВт), тоді як адаптивні та напівактивні системи споживають від 10 до 20 Вт [16].

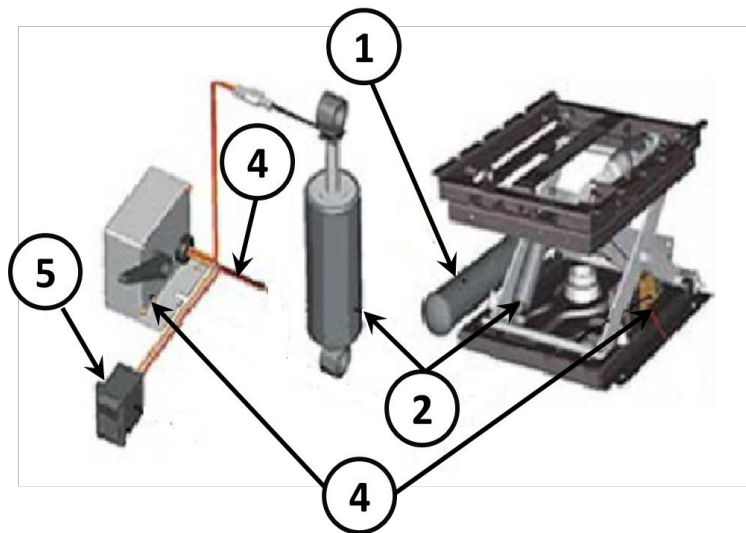


Рисунок 1.7 – Система «Sears» напівактивної підвіски сидіння VRS тракторів John Deere

- 1 – пневмобалон (ресивер); 2 – магнітореологічний демпфер-амортизатор;  
 3 – датчик переміщення підвіски та ЕБК; 4 – блок енергозабезпечення;  
 5 – задатчик жорсткості підвіски робочого місця (сидіння)

Раніше розглянуті системи підвіски працюють за принципом накопичення енергії коливань через пружний елемент і її розсіювання через демпфуючий елемент. Відмінність активної системи полягає в тому, що для її функціонування потрібне зовнішнє живлення, яке використовується виконавчим пристроєм між підресореною і непідресореною масою. Це дозволяє повністю контролювати амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підвіски за допомогою ЕБК із зворотним зв'язком і спеціальним алгоритм

Компанія Grammer розробила серію активних підвісок сидінь (рис. 1.8) [17], випробування яких проводилися на тракторах John Deere. Принцип роботи підвіски полягає в наступному: під час руху трактора датчик положення 1 передає інформацію до блоку керування 2, який надсилає керуючий сигнал на електроклапан пневматичний 3 через, який з ресивера 4 подається додатково об'єм повітря. Для демпфування коливань використовуються пневматичний та гідравлічний амортизатори 6.

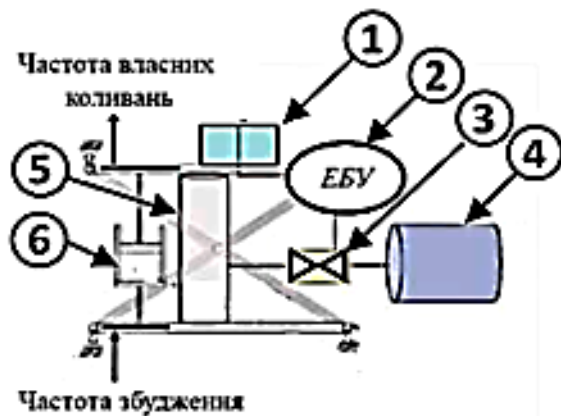


Рисунок 1.8 – Сидіння «Grammer Maximo Dynamic»  
(праворуч) схема адаптивної підвіски; (ліворуч) сидіння Grammer  
Maximo Dynamic

1 – датчик переміщення сидіння; 2 – мікроконтролер; 3 – електроклапан пневматичний; 4 – пневмоакумулятор (ресивер); 5 – пневматичний демпфер; 6 – гідроамортизатор

Отже, ведуться спроби створення ефективних активних підвісок, однак через високе споживання енергії, недостатню розробку алгоритмів керування віброзахисними властивостями та високу вартість магнітореологічних амортизаторів, такі підвіски поки що не набули широкого застосування.

Попри значну кількість розроблених систем віброзахисту, на даний момент найпоширенішими залишаються пасивні системи. Вони мають просту конструкцію, є надійними та довговічними. Проте пасивні системи не завжди відповідають сучасним вимогам щодо захисту оператора від вібрацій, особливо в машинно-тракторних агрегатах, які працюють на підвищених швидкостях у сільському господарстві. В таких умовах ефективність пасивних систем обмежена, і в деяких випадках вони вже не здатні виконувати свої функції належним чином.

Аналіз проведених досліджень свідчить, що ефективною альтернативою на високих швидкостях є використання адаптивних та напіваактивних систем підвіски. Дослідження цих систем демонструють їхню здатність значно знижувати рівень вібраційного навантаження. Однак, питання щодо вибору оптимальних характеристик та розробки систем керування їх демпфуючими властивостями залишаються недостатньо вивченими. Крім того, застосування напіваактивних систем з магнітореологічними амортизаторами залишається обмеженим через складність конструкції та керуючих систем.

Активні віброзахисні системи все ще мають великий потенціал, але основними перепонами на шляху до їх широкого використання є високе енергоспоживання, складність конструкції та висока вартість.

З огляду на це, удосконалення підвіски оператора через оптимізацію характеристик і управління демпфуючими властивостями під час руху на підвищених швидкостях тракторно-транспортного агрегату є важливим завданням.

### **1.3 Висновки**

1. Зростання продуктивності ТТА і МТА обмежується коливаннями та вібрацією, що виникають при переміщенні по нерівній поверхні та за збільшення швидкості агрегату. Вібрація і коливання прискорюють втомлюваність тракториста та зниження його працездатності, оскільки робоче місце не відповідає вимогам санітарних норм щодо вібраційної навантаженості.

2. Віброзахисні засоби пасивного типу, що встановлюються в тракторах, не дозволяють в повній мірі вирішити питання зниження коливань, що діють на тракториста через зростання швидкісного режиму руху МТА і ТТА.

3. Системи адаптивний, активний і напіваактивний тип забезпечують найбільшу ефективність гасіння коливань та вібрації. Найбільш складною із цих систем являється активна система, що пов'язано з використанням великої

кількості елементів конструкції та підвищене енергоспоживання, що обмежує їх поширення.

4. Використання в напівактивних системах магнітореологічних амортизаторів в даний час також обмежує їх поширення, все це ускладнює конструктивну частину та систему керування підвіскою.

5. Найбільшого поширення в тракторобудуванні набули адаптивні віброзахисні системи підресорювання робочого місця тракториста МТА і ТТА. Однак у таких підвісках недостатньо опрацьований процес вибору раціональної пружно-демпферної характеристики та систем для її підтримання.

#### **1.4 Мета і завдання досліджень**

**Мета кваліфікаційної роботи:** зниження вібраційної навантаження на водія сільськогосподарського трактора при виконанні транспортних та технологічних операцій шляхом застосування адаптивної підвіски сидіння.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні дослідження:

- провести аналіз способів зниження вібрацій та коливання що сприймає тракторист під час керування трактором;
- обґрунтувати та провести удосконалення підвіски робочого місця тракториста;
- отримати математичну модель, що описує вертикальні коливання, які передаються на робоче місце тракториста під час руху трактора з метою оцінки ефективності запропонованого удосконалення підвіски сидіння;
- провести розрахунки та дослідження запропонованого удосконалення для встановлення раціональних параметрів пневмогідравлічних акумуляторів підвіски сидіння;
- провести розрахунки для підтвердження економічної ефективності кваліфікаційної роботи.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Конструктивне рішення з поліпшення керування трактором шляхом розробки адаптивної підвіски робочого місця тракториста

Врахувавши результати проведеного аналізу в попередньому розділі розроблено схему підвіски робочого місця тракториста (рис. 2.1), яка адаптована для встановлення на тракторах марки ЮМЗ-8040. Запропоноване конструктивне рішення покращить керованість трактором в умовах поля чи бездоріжжя.

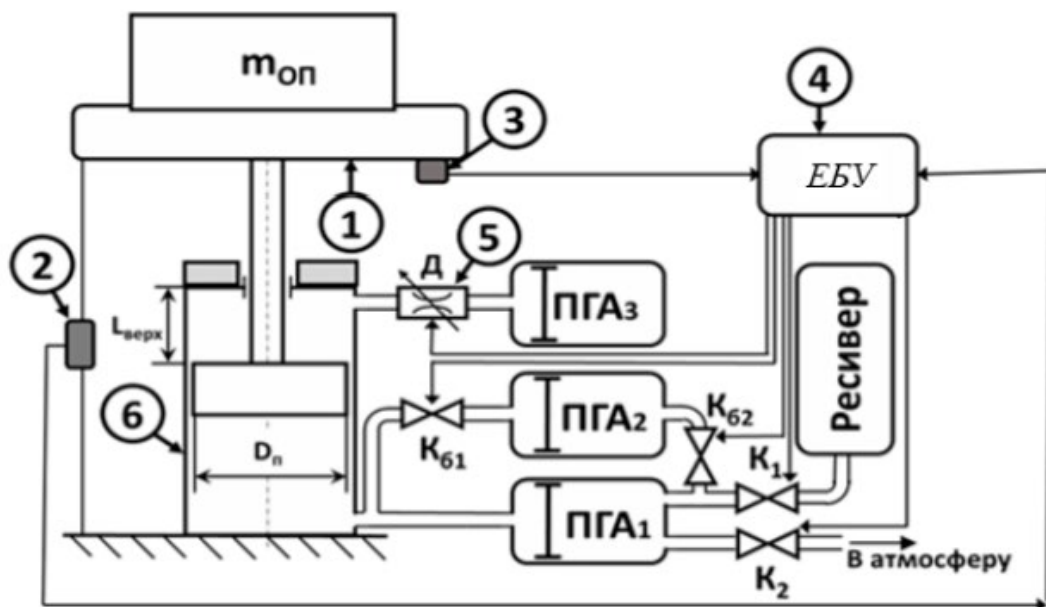


Рисунок 2.1 – Адаптивна підвіска сидіння трактора ЮМЗ-8040

- 1 – сидіння; 2 – датчик переміщення сидіння; 3 – датчик вертикального прискорення; 4 – блок електронного керування;  
5 – регульований гідродросель; 6 – гідравлічний циліндр

Робота підвіски розпочинається з посадки на робоче місце (сидіння) 1 тракториста. При цьому відбувається переміщення штока гідроциліндра 6 під масою водія. Хід штока контролюється датчиком переміщення 2. Далі зусилля від штока передається на поршень, який передає його на рідину в поршневій порожнині витісняючи її до порожнин пневмо-гідравлічного амортизатора

ПГА<sub>1</sub> і та ПГА<sub>2</sub> через клапан К<sub>61</sub>. Надходження робочої рідини до пневмогідравлічних амортизаторів призведе до стиснення газу в пневматичних камерах амортизатора ПГА<sub>1</sub> та ПГА<sub>2</sub>, що мають зв'язок між собою через клапан К<sub>62</sub>, до моменту вирівнювання пружної деформації та ваги тракториста  $G_{\text{тр}}$  завдяки встановленню тиску  $P_{\text{ст}}$ . Значення ваги тракториста визначимо за рівнянням [18]:

$$G_{\text{тр}} = \frac{5}{7} m_{\text{тр}} \cdot g \quad (2.1)$$

де  $m_{\text{тр}}$  – маса тракториста, кг.

Робота підвіски розпочинається з виконання первинних налаштувань. Так відкриваючи клапан К<sub>1</sub> або К<sub>2</sub> встановлюємо тиск підпору в пневматичних камерах амортизаторів ПГА<sub>1</sub> та ПГА<sub>2</sub> в залежності від маси тракториста. За умови постійного тиску статичної рівноваги  $P_{\text{ст}}$  який визначимо за рівнянням:

$$P_{\text{ст}} = \frac{4 \cdot G_{0\Pi}}{\pi \cdot D_{\Pi}^2} \quad (2.2)$$

де  $D_{\Pi}$  діаметр поршня гідроциліндра, м.

## **2.2 Розрахунок основних параметрів адаптивної підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040**

Розрахунок мінімально допустимого робочого об'єму  $V_1$  пневмокамери ПГА<sub>1</sub> виконуємо прийнявши значення амплітудного постійного прискорення  $a_{\text{макс}}$ , що діятиме на тракториста. Для цього визначимо максимальний тиск  $P_{\text{макс}}$  за рівнянням:

$$P_{\text{макс}} = \frac{20 \cdot m_{0\Pi} \cdot (g + a_{\text{макс}})}{7 \cdot \pi \cdot D_{\Pi}^2} \quad (2.3)$$

За максимального значення тиску шток з поршнем переміститься до низу гідроциліндра а зміну об'єму пневмокамери амортизатора ПГА<sub>1</sub> (рис. 2.2) визначимо за рівнянням:

$$\Delta V = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot L \cdot D_{\text{п}}^2 \quad (2.4)$$

де  $L$  – максимальний хід штока підвіски, м.

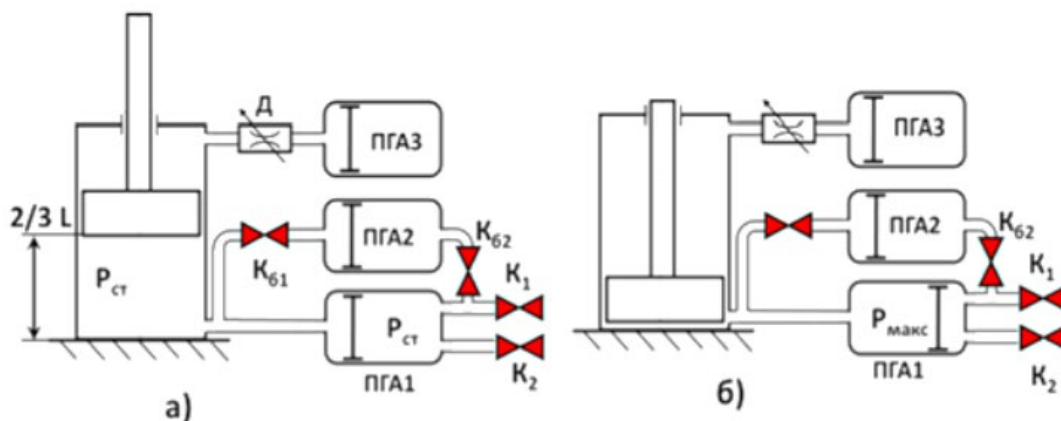


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема пневмокамери амортизатора ПГА<sub>1</sub>  
а) за умови рівноваги; б) за умови максимального стиску підвіски

Враховуючи політропний процес стиснення повинно виконуватися співвідношення [19]:

$$P_{\text{ст}} \cdot V_1^n = P_{\text{макс}} \cdot (V_1 - \Delta V)^n \quad (2.5)$$

Врахувавши співвідношення (2.5) отримаємо рівняння визначення об'єму  $V_1$ :

$$V_1 = \frac{\Delta V}{1 - \left(\frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{макс}}}\right)^{\frac{1}{n}}} \quad (2.6)$$

Розрахунок загального об'єму неumo-гідро амортизаторів виконаємо з виконанням умови підтримання мінімальної жорсткості підвіски, що забезпечить зниження коливальних гармонік нижче 2 Гц. [20].

Залежність зміни жорсткості від лінійних коливальних та частоти резонансних явищ  $f_p$  опишемо за допомогою рівняння:

$$C_{\text{мин}} = \frac{20 \cdot \pi^2 \cdot f_p^2 \cdot m_{\text{оп}}}{7} \quad (2.7)$$

Врахувавши, що жорсткість пневматичних пружних елементів має лінійну характеристику, визначимо силу переміщення поршня гідроциліндра в положення статичної рівноваги за рівнянням:

$$F_{\text{ср}} = \frac{1}{3} L \cdot C_{\text{мин}} \quad (2.8)$$

Приріст тиску визначимо за рівнянням:

$$P_{\text{пр}} = 4 \cdot \frac{F_{\text{ср}}}{\pi \cdot D_{\text{п}}^2} \quad (2.9)$$

За досягнення тиску  $P_{\text{пр}}$  при зменшенні об'єму пневмокамери амортизатора при стисканні відбудеться зміна параметрів пружної характеристики підвіски робочого місця тракториста. При цьому швидкодіючі клапни  $K_{61}$  та  $K_{62}$  відключають гідро-пневмоамортизатор ПГА<sub>2</sub>.

Політропний процес стиску можна описати виконанням наступної умови:

$$P_{\text{ст}} \cdot (\Sigma V)^n = (P_{\text{ст}} + P_{\text{пр}}) \cdot \left( \Sigma V - \frac{4 \cdot L}{3 \cdot \pi \cdot D_{\text{п}}^2} \right)^n \quad (2.10)$$

Тоді загальний сумарний об'єм пневмокамер пневмо-гідро амортизаторів ПГА визначимо за рівнянням:

$$\Sigma V = \frac{\frac{4 \cdot L}{3 \cdot \pi \cdot D_{\text{п}}^2}}{1 - \left( \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{ст}} + P_{\text{пр}}} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad (2.11)$$

Скориставши рівнянням 2.11 визначимо об'єм пневмокамери амортизатора ПГА<sub>2</sub>

$$V_2 = \Sigma V - V_1 \quad (2.12)$$

Врахувавши отримані теоретичні положення рівняння пружної характеристики підвіски отримає вигляд:

$$F_{\text{пр}} = \begin{cases} P_{\text{ст}} \cdot S \left[ \frac{V_{\text{max}} \cdot V_{\text{min}}}{(V_{\text{max}} \cdot \frac{7}{30} L \cdot S [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{30} L)])} \right]^n & \text{при } z < -\frac{7}{30} L \\ P_{\text{ст}} \cdot S \left( \frac{V_{\text{max}}}{(V_{\text{max}} - S \cdot z) [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{30} L)]} \right)^n & \text{при } -\frac{7}{30} L \geq z \geq \frac{7}{15} L \\ P_{\text{ст}} \cdot S \left[ \frac{V_{\text{max}} \cdot V_{\text{min}}}{(V_{\text{max}} \cdot \frac{7}{15} L \cdot S [V_{\text{min}} - S(z + \frac{7}{15} L)])} \right]^n & \text{при } z > \frac{7}{15} L \end{cases} \quad (2.13)$$

На рисунку 2.3 та 2.4 наведено результати розрахунку пружної деформації запропоновано адаптивної підвіски сидіння трактора ЮМЗ.

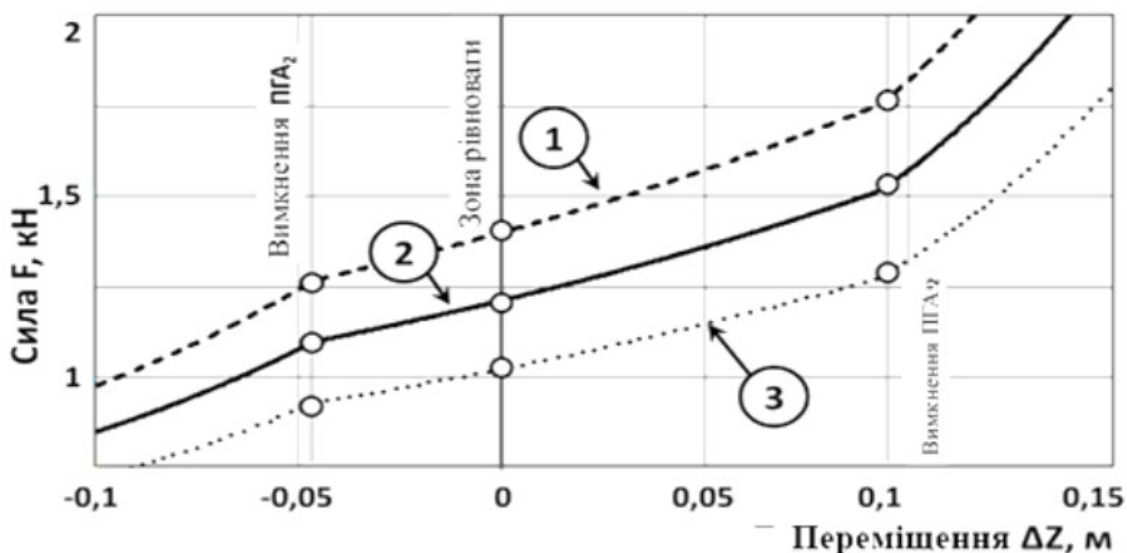


Рисунок 2.3 – Пружня характеристика адаптивної підвіски

1 - маса тракториста  $m = 120$  кг; 2 - маса тракториста  $m = 95$  кг;

3 - маса тракториста  $m = 75$  кг

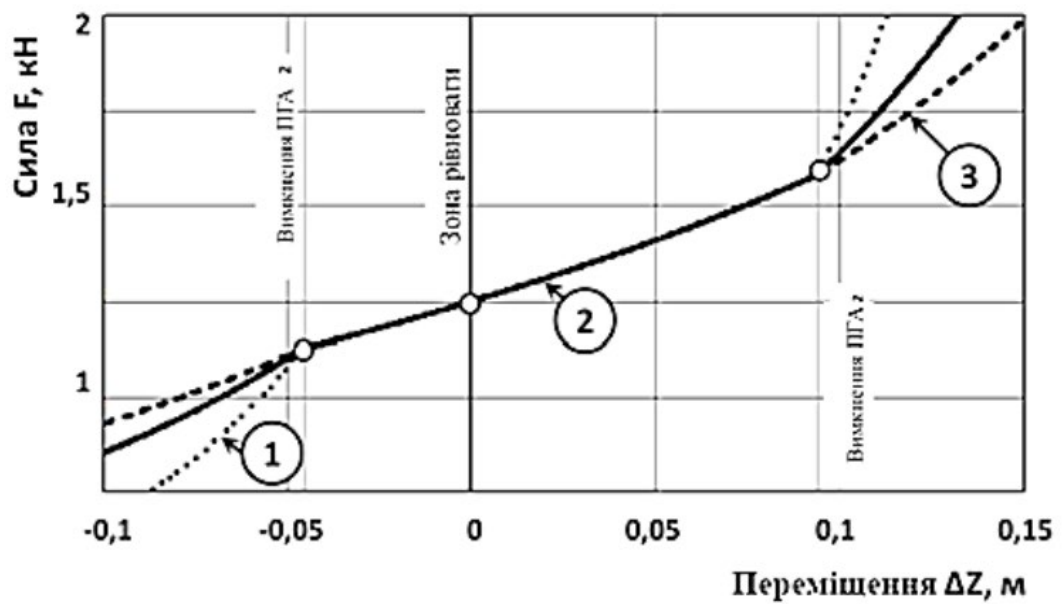


Рисунок 2.4 – Зміна пружної характеристики підвіски за різних значень об'єму пневмогідравлічного амортизатору ПГА<sub>2</sub>

- 1 – заповнення об'єму ПГА<sub>2</sub> на 50% від раціонального значення;  
 2 – раціональне значення заповнення; 3 – заповнення на 150% від раціонального значення

Для встановлення раціональних значень пружньо-демфуючих показників підвіски проведемо теоретичні дослідження динамічних коливань трактора на якому буде встановлено запропоновану конструкцію підвіски сидіння.

### 2.3 Теоретичні дослідження динамічних коливань трактора

Для проведення теоретичних досліджень коливань, які виникають при переміщенні ТТА розробимо модель динамічної моделі, яка відображає коливання тракторно-транспортного агрегату. Процес переміщення ТТА доволі складний і описати аналітичним його досить складно, тому для спрощення побудови математичного апарату приймемо деякі спрощення.

В якості фізичної моделі реального тракторно-транспортного агрегату приймемо еквівалентну динамічну модель. Замість рухомих мас трактора приймемо інерційні маси, момент інерції та використаємо пружні елементи замістивши ними пружність підвіски сидіння та колісної ходової частини. Коефіцієнт демпфування робочого місця тракториста (сидіння) замістимо дисипативними елементами.

Як уже говорилося раніше для спрощення розрахунку приймемо наступні припущення.

1. Розрахунки амплітудних та частотних характеристик, що передаються на робоче місце водія виконуватимемо за частоти що не перевищує 20 Гц.
2. Опорна поверхня абсолютно жорстка.
3. Остов трактора теж приймаємо як жосткий без деформацій кістяк та зміщення центра ваги
5. Нехтуємо пружними властивостями кабіни трактора.
6. Розрахунки виконуємо в межах поздовжньо-вертикальної площини XZ, завдяки симетрії трактора, що обґрунтовується симетрією трактора відносно даної площини, та відсутності коливань відносно поперечної площини.
8. Значення коефіцієнта опору кочення для всіх коліс однакові.

Прийнявши дані припущення побудуємо коливальну систему трактора, яка матиме чотири ступеня свободи (рис 2.5).

На першому етапі теоретичних досліджень рівняння руху трактора розглянемо баланс сил, що діють на трактор в цілому. На рисунку 2.5 наведено сили, які діють на трактор під час руху.

Суму сил, що діють на трактор відносно вісі Z, визначимо за рівнянням:

$$m_0 \cdot \frac{d^2 z_0}{dt^2} = F_{\Pi} + F_3 - F_C - P_{\text{сц}} \cdot \sin(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \quad (2.14)$$

де  $m_0$  — маса остова трактора, кг;

$F_{\Pi}$  — проекція сум. сили, що діє на передні вісь трактора по осі Z, Н;

$F_3$  – проекція сум. сили, що діє на задню вісь по осі  $Z, H$

$F_c$  – проекція сум. сили, що діє на підвіску сидіння трактора по осі  $Z, H$

$P_{сц}$  – сила, що діє в зчпному пристрої трактора,  $H$ ;

$\beta_{сц}$  – кут між вектором прикладеної сили  $P_{сц}$  та віссю тяг навіски, рад;

$\alpha_0$  – кут відхилення остова від положення стат. рівноваги, рад

$z_0$  зміщення центру мас остова від положення ст. рівн., відносно осі  $Z$ , м

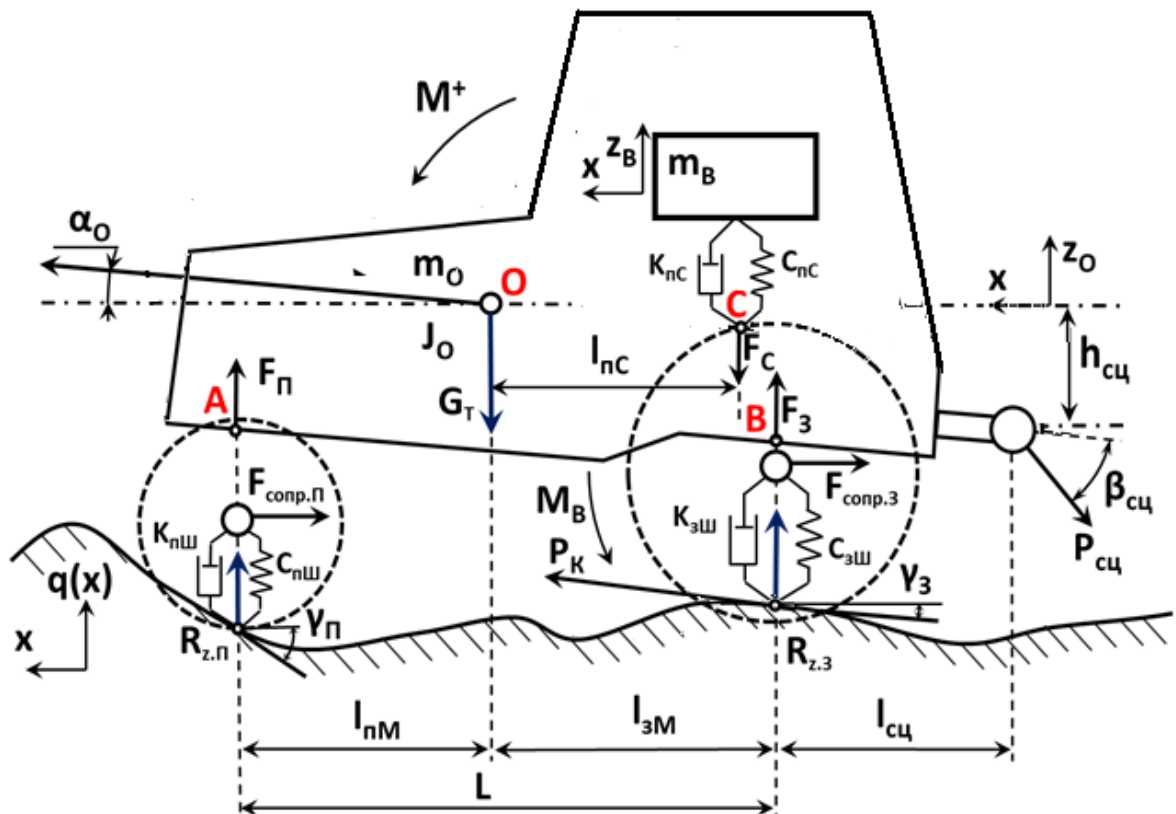


Рисунок 2.5 – Розрахункова схема сил, що діють на трактор під час руху

В зв'язку компенсації ваги, що приходить на передній та задній міст трактора реакціями  $R_{z.п}$  та  $R_{z.3}$  рівняння ваги трактора  $G_T$  отримає вигляд:

$$G_T = R_{z.п} + R_{z.3} \quad (2.15)$$

Рівняння суми моментів, прикладених до центру мас в точці О трактора, матиме вигляд:

$$J_0 \cdot \frac{d^2 \alpha_0}{dt^2} = -F_{\Pi} \cdot l_{\Pi M} - F_C \cdot l_{\Pi C} - P_{\text{сц}} \cdot \sin(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \cdot (l_{\text{зМ}} + l_{\text{сц}}) + P_{\text{сц}} \cdot \cos(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \cdot h_{\text{сц}} \quad (2.16)$$

де  $J_0$  – сум. момент інерції остова відносно осі, який проходить через центр мас,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

$l_{\Pi M}$  – відстань від центру маси (ЦМ) до вісі переднього мосту трактора, м;

$l_{\Pi C}$  – відстань від центра маси трактора до місця кріплення підвіски сидіння, м;

$l_{\text{зМ}}$  – відстань від центра маси до вісі заднього мосту, м;

$h_{\text{сц}}$  – відстань від центра маси до шарнірних з'єднань тяг навіски трактора, м;

$l_{\text{сц}}$  – відстань від вісі заднього мосту до шарнірного з'єднання тяг навіски трактора, м;

Розрахунок суми сил, що діятимуть на пружню частину підвіски визначимо за рівнянням:

$$m_B \cdot \frac{d^2 Z_B}{dt^2} = F_C \quad (2.17)$$

де  $m_B$  – маса безпружинної частини підвіски сидіння з трактористом, кг

$Z_B$  – значення поточного зміщення безпружинної частини підвіски від точки статичної рівноваги по вісі  $Z$ , м.

Суму зовнішніх сил, що діють на ТТА по вісі  $X$ , визначимо за формулою:

$$m_0 \cdot \delta_{\text{вр}} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = P_K \cdot \cos(\gamma_3) - F_{\text{опр.П}} - F_{\text{опр.З}} - P_{\text{сц}} \cdot \cos(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \cdot h_{\text{сц}} \quad (2.18)$$

де  $P_K$  – дотична сила на ведучому рушії трактора, Н;

$F_{\text{опр.П}}, F_{\text{опр.З}}$  – сумарний опір перекочування відповідно на передніх та задніх колесах, Н;

$\delta_{\text{вр}}$  – коефіцієнт обертових мас елементів трансмісії трактора;

$\gamma_3, \gamma_{\Pi}$  – приведений кут профілю відносно задніх та передніх коліс, рад.;  
 $x$  – значення зміщення ЦМ трактора від положення ст. рівн. по вісі X, м  
 Значення деформації колісних рушіїв визначимо за рівнянням:

$$\begin{cases} z_{\text{пш}} = z_0 - q(x) + l_{\text{пм}} \cdot \sin(\alpha_0) \\ z_{\text{зш}} = z_0 - q(x + L) - l_{\text{зм}} \cdot \sin(\alpha_0) \\ V_{\text{пш}} = \frac{dz_{\text{пш}}}{dt} \\ V_{\text{зш}} = \frac{dz_{\text{зш}}}{dt} \end{cases} \quad (2.19)$$

де  $q(x)$  – функ. залежність, що описує величину мікронерівностей опорної поверхні, м;

$L$  – повздовжня база трактора, м

Швидкість деформації підвіски  $V_{\text{зш}}$  і поточне її значення  $z_{\text{пс}}$  визначимо за рівнянням:

$$\begin{cases} z_{\text{пс}} = z_{\text{в}} - z_0 - l_{\text{пс}} \cdot \sin(\alpha_0) \\ V_{\text{зш}} = \frac{dz_{\text{пс}}}{dt} \end{cases} \quad (2.20)$$

Тоді значення сил, що діють на остов трактора визначимо за рівнянням:

$$\begin{cases} F_{\Pi} = c_{\text{пш}} \cdot z_{\text{пш}} + k_{\text{пш}} \cdot V_{\text{пш}} \\ F_3 = c_{\text{зш}} \cdot z_{\text{зш}} + k_{\text{зш}} \cdot V_{\text{зш}} \\ F_{\text{с}} = F_{\text{пр}}(z_{\text{пс}}) + F_{\text{демпф}}(V_{\text{пс}}) \end{cases} \quad (2.21)$$

де  $c_{\text{пш}}, c_{\text{зш}}$  – відповідно жорсткість задніх та передніх коліс, Н/м;

$k_{\text{пш}}, k_{\text{зш}}$  – відповідно коеф. демпферування задніх та передніх коліс, Н с/м

Для класичних систем амортизації сидінь в яких відсутні можливості регулювання жорсткості  $c_{\text{пс}}$  та демпфирування  $k_{\text{пс}}$  силу пружності  $F_{\text{пр}}$  та демпфирування  $F_{\text{демпф}}$  визначимо за формулами:

$$F_{\text{демпф}}(V_{\text{пс}}) = k_{\text{пс}} \cdot V_{\text{пс}} ; \quad F_{\text{пр}}(z_{\text{пс}}) = z_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \quad (2.22)$$

де  $k_{\text{пс}}$ ,  $c_{\text{пс}}$  – відповідно коеф. демпферування та жорсткості підвіски сидіння Н с/м.

Врахувавши отримані залежності побудуємо математичну модель, як чотири масову систему рівнянь:

$$\begin{cases} m_0 \cdot \frac{d^2 z_0}{dt^2} = F_{\text{п}} + F_3 - F_{\text{с}} - P_{\text{сц}} \cdot \sin(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \\ J_0 \cdot \frac{d^2 \alpha_0}{dt^2} = -F_{\text{п}} \cdot l_{\text{пм}} + F_3 \cdot l_{\text{зМ}} - F_{\text{с}} \cdot l_{\text{пс}} - P_{\text{сц}} \cdot \sin(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \cdot (l_{\text{зМ}} + l_{\text{сц}}) + P_{\text{сц}} \cdot \cos(\beta_{\text{сц}} + \alpha_0) \cdot h_{\text{сц}} \\ m_{\text{в}} \cdot \frac{d^2 z_{\text{в}}}{dt^2} = F_{\text{с}} \end{cases} \quad (2.23)$$

Вирішити класичну задачу Коші аналітичним шляхом досить складно тому використаємо чисельний метод скориставшись програмним математичним пакетом MathCad 15 (Додаток А).

Використавши отриману модель визначимо вертикальні прискорення, швидкості та переміщення в різних точках трактора. Графічні результати розрахунків представимо на рисунку 2.6.

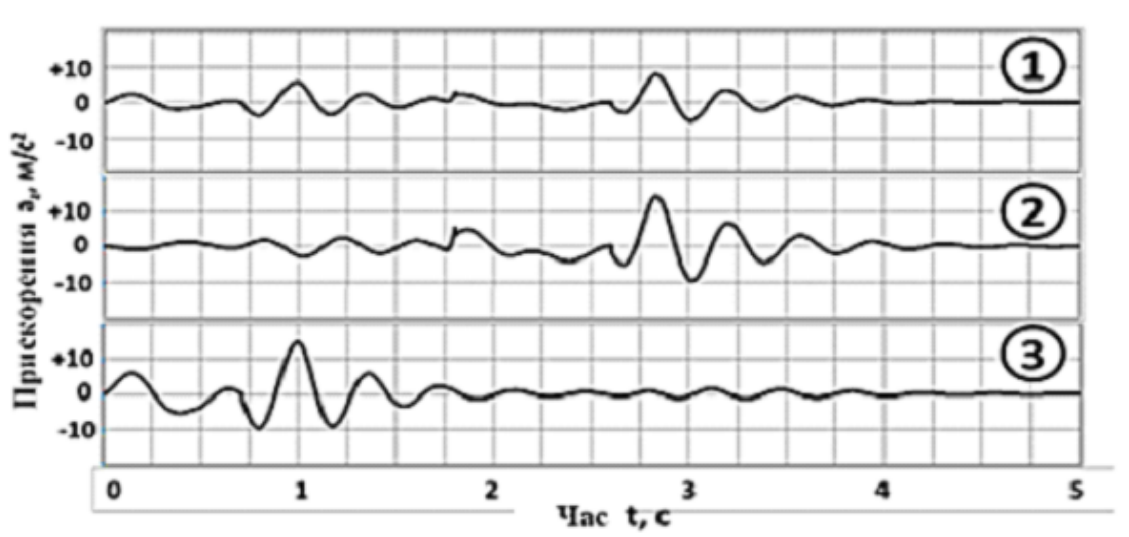


Рисунок 2.6 –Значення прискорення у різних точках трактора при переїзді одиничних нерівностей:

1 – прискорення в центрі мас остова трактора; 2 – прискорення на задньому мосту трактора; 3 – прискорення на передньому мосту трактора

Скориставшись математичною моделлю можна теоретично оціни якість роботи різних типів підвісок сидіння трактора. На рисунку 2.7 представлено результати використання різних типів підвісок на тракторі ЮМЗ-8040 при переїзді одиночних нерівностей.

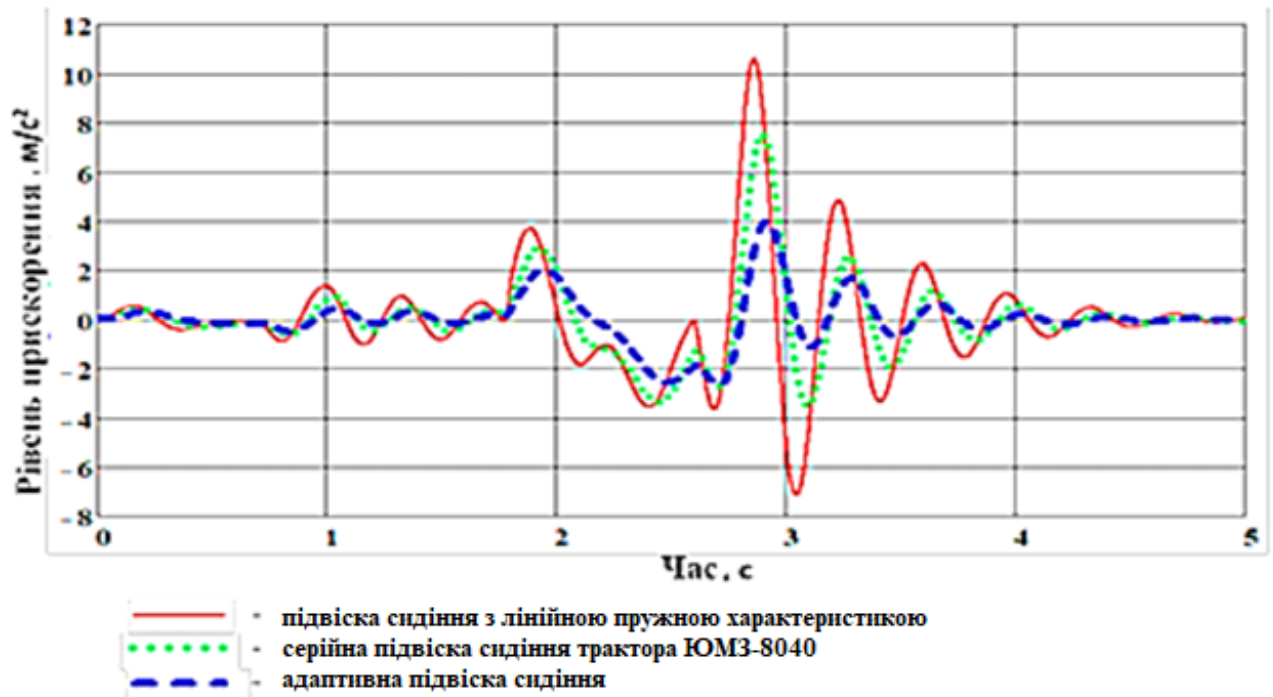


Рисунок 2.7 – Математичне моделювання використання різних типів підвісок сидіння на тракторі ЮМЗ-8040

За отриманими результатами графічних залежностей найбільшу ефективність демонструє розроблена адаптивна підвіска сидіння трактора. Завдяки комбінованому гасінню коливань, які передаються спочатку на гідроциліндр а далі до гідропнеumoамортизатора з можливістю регулювання жорсткості підвіски в залежності від маси тракториста, що керує трактором..

Виконуючи регулювання моментів перемикання ПГА2, відбувається зміна характеристики пружності адаптивної підвіски сидіння трактора. Керування перемиканням режиму роботи ПГА здійснюється блоком керуванн ЕБУ за сигналами датчика переміщення сидіння. Імпульси з ЕБУ передаються на

кроковий двигун, що задає необхідну витрату на гідродроселі обертаючи його золотник (рис. 2.1)

Використавши отриману математичну модель визначимо гранично допустимі швидкості машино-тракторного чи машино транспортного агрегату за умови використання стандартної та розробленої адаптивної підвіски трактора ЮМЗ-8040 (рис. 2.8).

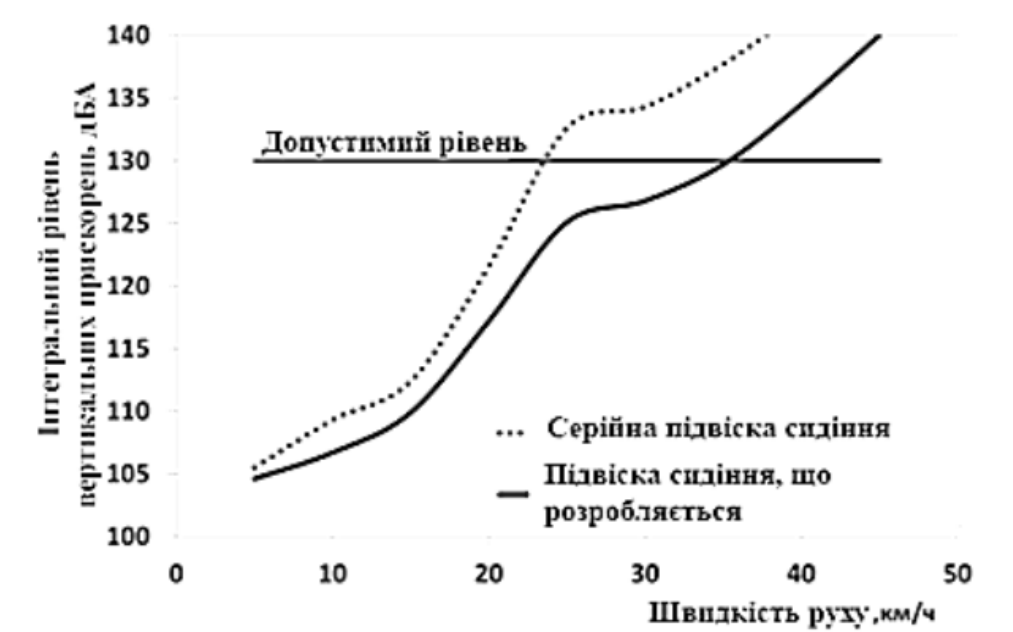


Рисунок 2.8 – Порівняльні характеристики роботи серійної та розробленої підвісок сидіння трактора ЮМЗ-8040

## 2.4 Висновки

1. За результатами проведеного аналізу розроблено адаптивну підвіску сидіння трактора ЮМЗ-8040.
2. В результаті проведених теоретичних досліджень отримано аналітичні рівняння розрахунку основних конструктивно технологічних параметрів розробленої підвіски сидіння трактора.
3. Використання запропонованої підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 дозволило збільшити граничне значення максимальної швидкості трактора з 25 до 34 км/год, що дозволить підвищити продуктивність трактора на виконанні транспортних перевезень.

## **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **3.1 Програма досліджень**

Основна задача програми досліджень – це експериментальне підтвердження отриманих аналітичних залежностей в попередньому розділі. Так виконання перевірки на адекватність математичної моделі експериментальним шляхом дозволить визначитися з можливістю подальшого її використання при проектуванні адаптивних підвісок сидіння тракторів.

Для досягнення поставленої мети програма досліджень складатиметься з наступних пунктів:

- розробка реєстраційно-вимірювального комплексу для проведення вимірювань вертикальних прискорень різних частин трактора;
- експериментальні дослідження підвіски сидіння при переїзді одиночних перешкод трактором в умовах полігону;
- експериментальні дослідження ефективної роботи адаптивної підвіски сидіння МТА в складі трактора ЮМЗ-8040 та дискової борони АГУ-2,4 при виконанні технологічних операцій;
- експериментальні дослідження ефективної роботи адаптивної підвіски сидіння ТТА в складі трактора ЮМЗ-8040 та 2ПТС-4 на транспортних роботах, з обґрунтуванням адекватності математичної моделі роботи підвіски.

Виконання досліджень та обробку експериментальних даних виконуємо за загальноприйнятими методиками [21-23]

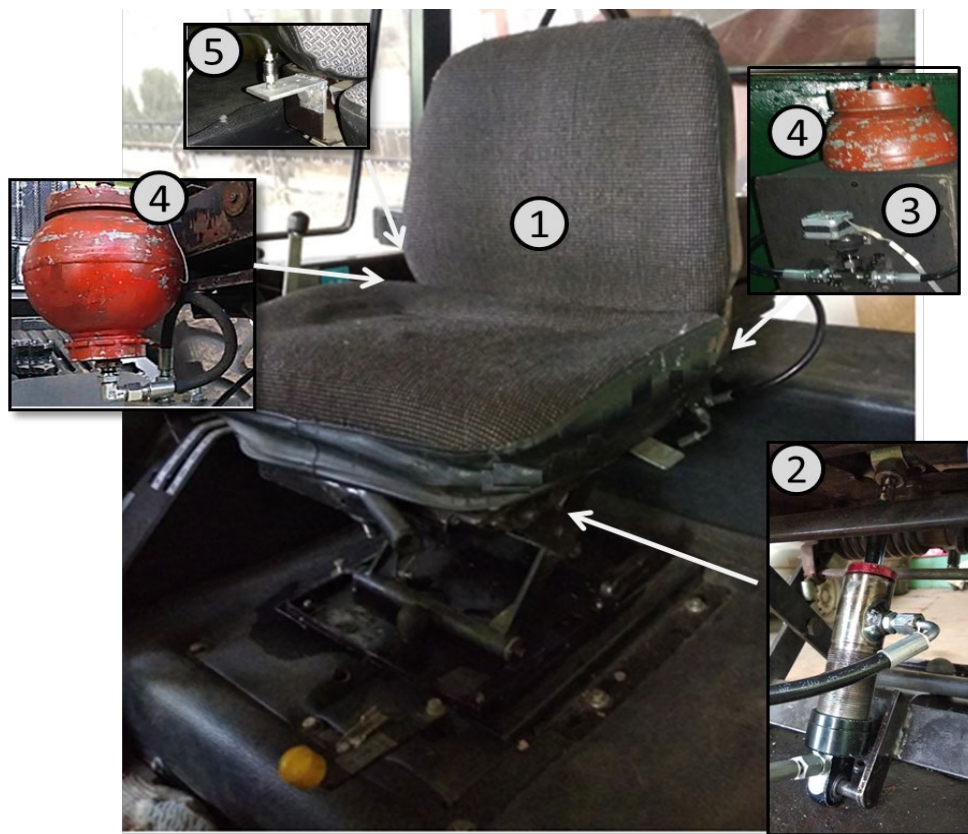
### **3.2 Об'єкт досліджень**

Враховавши попередні розділи об'єктом дослідження є універсально-просапний трактор ЮМЗ-8040 з адаптивною підвіскою сидіння (рис. 3.1).

Врахувавши результати теоретичних досліджень та проведений аналіз підвісок сидінь розроблено конструкцію адаптивної підвіски для трактора ЮМЗ-8040 (додаток А).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Універсально-просапний трактор з адаптивною підвіскою сидіння:

а) об'єкт досліджень трактор ЮМЗ-8040; б) адаптивна підвіска сидіння;

1 – сидіння; 2 – гідравлічний циліндр; 3 – гідродросель керований;

4, 5 – акумулятори гідропневматичні; 6 – датчик прискорення

При переміщенні трактора всі нерівності опорної поверхні передаються через ходову частину трактора на його остов 5 (рис. 3.2) в вигляді поштовхів, що безпосередньо сприймає оператор через робоче місце сидіння 1 та органи керування. Запропонована підвіска сидіння дозволяє підвищити ефективність керування трактором шляхом часткового поглинання поштовхів. За допомогою датчика переміщення сидіння 26 та датчика прискорення 27 відбувається постійний контроль за поштовхами, що надходять на робоче місце оператора. Електронний блок 25 виконує аналіз сигналів відповідних датчиків та формує необхідний алгоритм роботи підвіски сидіння завдяки виконавчим пристроям, а саме гідродроселя 9 та електроклапанів 19, 18, 24, 22. В результаті стиснення поршень із штоком витісняють рідину з поршневої камери гідроциліндра 2 до робочих порожнин пневмогідравлічного акумулятора 14 та через відкритий електричний клапан 22 до пневмогідравлічного акумулятора 15. Що зумовить стиск об'єму газу в пневматичній частині 17, 23 акумуляторів 14 та 15.

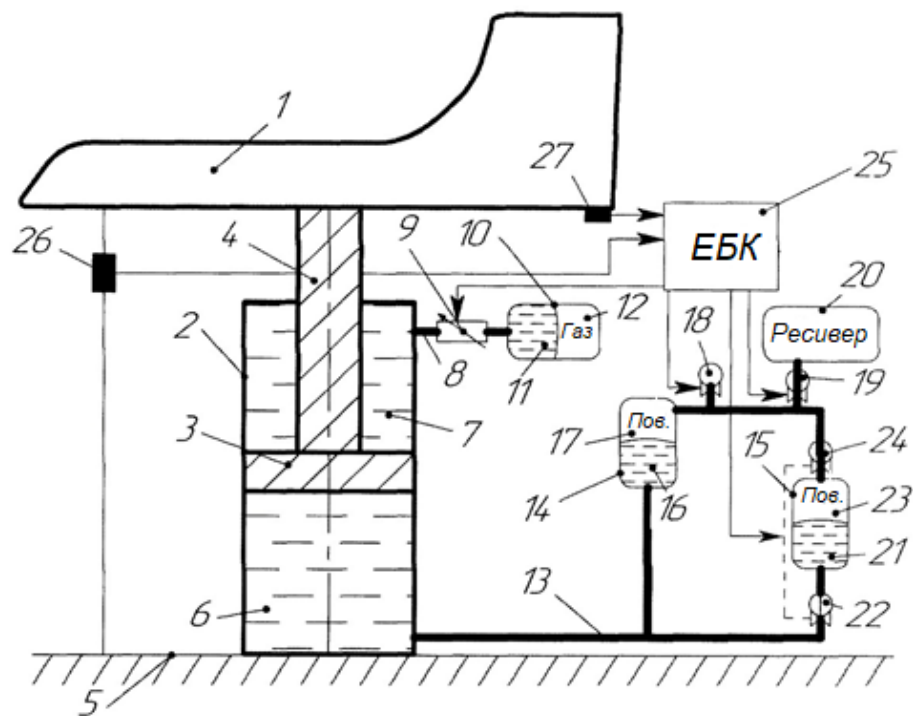


Рисунок 3.2 – Принципова схема адаптивної підвіски трактора ЮМЗ-8040

1 – сидіння; 2 – гідравлічний циліндр; 3 – поршень гідроциліндра; 4 – шток гідроциліндра; 5 – остов трактора; 6 – надпоршнева камера; 7 – штовкова камера; 8 і 13 – гідравлічні магістралі; 9 – регульований електрогідравлічний дросель;

10, 14, 15 – акумулятори ПГА; 11, 16, 21 - гідравлічна камера акумуляторів; 12, 17, 23 - пневматична камера акумуляторів; 18, 19, 22, 24 - електроклапани; 20 – ресивер; 25 – блок керування; 26 – датчик переміщення; 27 – датчик прискорень

Реалізація нелінійної упруго-демпфуючої характеристики роботи підвіски стала можливою завдяки регулюванню загального робочого об'єму пневматичних камер пневмогідравлічного акумулятора 14 та 15. Зміна характеристики роботи підвіски відбувається завдяки ЕБК за сигналами датчика переміщення 26 та прискорення 27 без появи резонансних явищ, які викликають пробій підвіски.

### 3.3 Прилади для контролю та вимірювання коливань

Для контролю та вимірювання основних параметрів експериментальних досліджень роботи адаптивної підвіски робочого місця тракториста розроблено реєстраційно-вимірюючий комплекс з використанням віброакселерометрів обладнаних тензодатчиками та датчиками *ICP* (рис. 3.3) [24- 28 ]

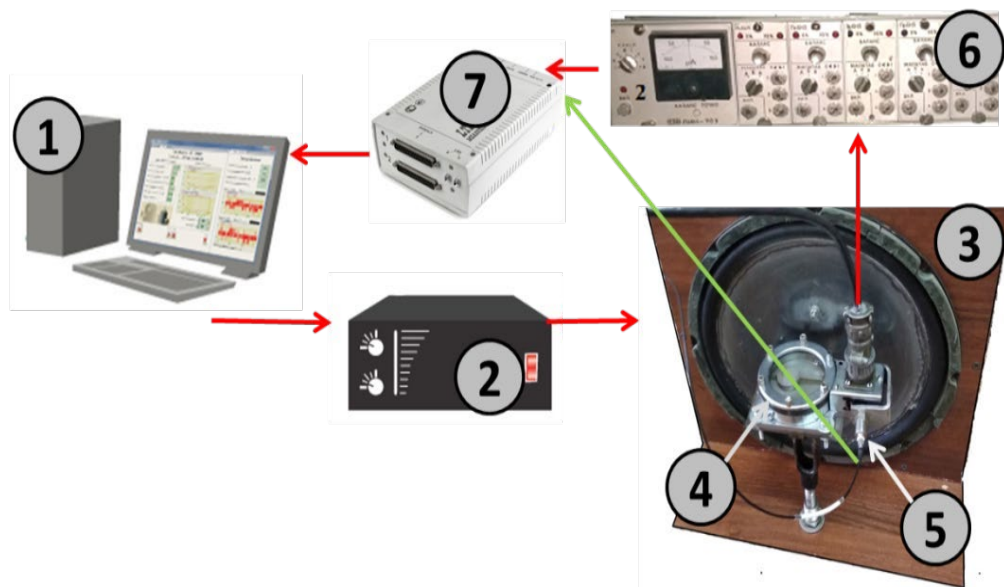


Рисунок 3.3 – Реєстраційно-вимірюючий комплекс з використанням віброакселерометрів РВК-ВА-1

1 – ПЕОМ; 2 – підсилювач; 3 – віброакселерометр; 4 – тензодатчик акселерометра; 5 – датчик ICP; 6 – блок підсилення на ПІН-703;

7 –перетворювач сигналу

Розроблений комплекс дозволяє досить точно визначати коливання, які виникають в ходовій частині трактора і що передаються далі на остов та робоче місце тракториста в результаті руху по нерівній опорній поверхні та переїзді одиночних перешкод МТА і ТТА. Діапазон робочих частот комплексу від 0,2 Гц до 1000 Гц, напруга живлення від бортової мережі трактора 12 В.

### **3.4 Експериментальні випробування підвіски робочого місця тракториста в умовах полігону**

В якості об'єкта дослідження використано трактор ЮМЗ-8040 з удосконаленою адаптивною підвіскою.

Якість роботи підвіски сидіння трактора будемо оцінювати за зміною значень прискорень, які виникатимуть в залежності від моменту інерції остовам дослідного трактора  $JJ_0$ . Визначення моменту інерції виконуватимемо за умови переміщення трактора без агрегатування з іншими машинами по рівній ділянці з одиночними нерівностями, як наведено в додатку Б. Таке рішення наблизить умови за яких здійснюється переміщення ТТА описане математичною моделлю.

(3.1)

$$q_{\text{п}}(t) = \frac{A_{\text{нерів}}}{2} \cdot \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi \cdot V}{L_{\text{нерів}}} \cdot t \right) \right) \cdot \left( \Phi(V \cdot t) - \Phi(V \cdot t - L_{\text{нерів}}) \right),$$

де  $A_{\text{нерів}}$  – значення амплітуди при проїзді одиночних нерівностей, м;

$L_{\text{нерів}}$  – значення довжини одиничних нерівностей, м;

$V$  – значення швидкості при дослідженні, м / с;

$\Phi(t)$  – функція Хевісайду.

Значення нерівності під ведучими колісними рушьями опишемо рівнянням:

$$q_3(t) = q_{\text{п}}(V \cdot t - L_{\text{нерів}}) \quad (3.2)$$

Графічна інтерпретація отриманого рівняння представлена на рисунку 3.4.

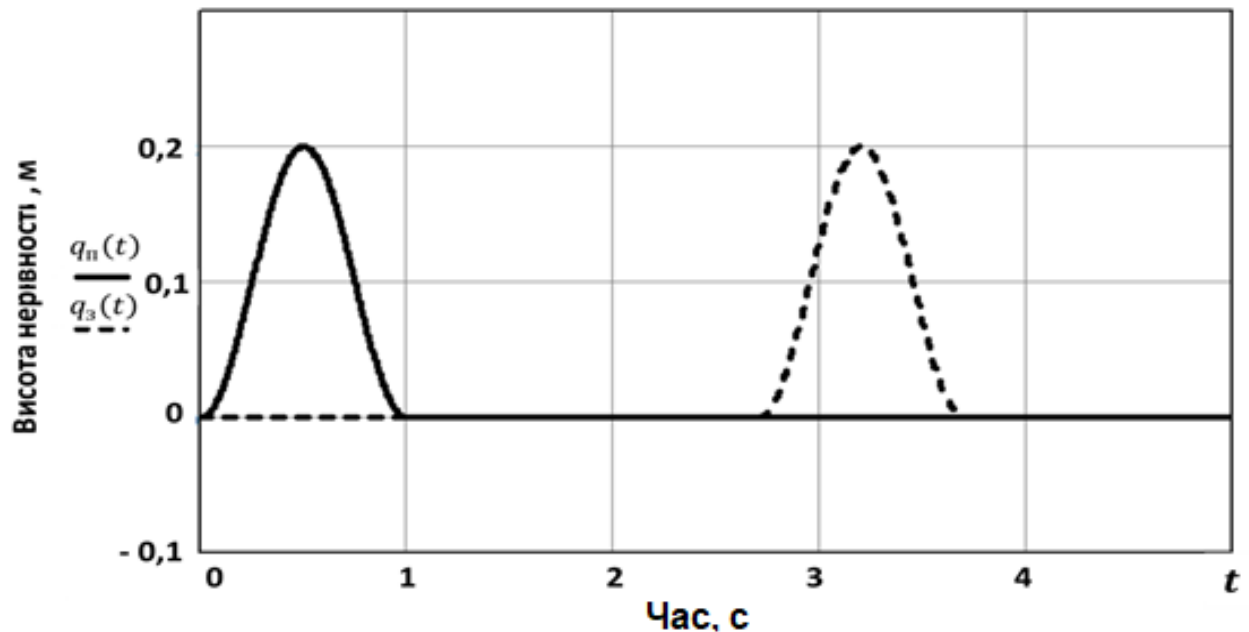


Рисунок 3.4– Графічна інтерпретація переїзду одиничних нерівностей

Визначивши значення вертикальних прискорень під час переїзду одиничних нерівностей проведемо розрахунки моменту інерції остова використавши математичну модель наведену в попередньому розділі. Для отримання основних складових моделі виконаємо дослідження на полігоні з одиничними нерівностями, які створюватимуть збурюючі дії на остов трактора. Дослідження виконуємо для трьох варіантів швидкісного режиму, а саме 4 км/год, 7 км/год та 10 км/год. Приведені швидкості відповідають швидкісному режиму виконання основних технологічних операцій з складною формою опорної поверхні. Для встановлення дійсної швидкості руху виконуємо контрольні заїзди на ділянці довжиною 20 м, як показано на рисунку 3.4.

Задача виконаних досліджень встановити значення прискорень на передній вісі, задній вісі трактора, на робочому місці оператора (сидінні), які виникають при подоланні одиничних нерівностей трактором. Реєстрацію цих прискорень виконуємо за допомогою реєстраційно-вимірюючого комплексу з використанням

віброакселерометрів обладнаних тензодатчиками та датчиками *ICP*, як наведено в пункті 3.2. Під час проведення дорожніх випробувань проводилися виміри віброприскорень на передньому мосту, кабіні та сидінні оператора трактора тензометричними віброакселерометрами.

Вертикальні прискорення  $a_{пД}$  передньої вісі визначимо за рівнянням:

$$a_{пД} = \frac{d^2 \cdot z_0}{dt^2} + l_{пМ} \cdot \frac{d^2 \cdot a_0}{dt^2} \quad (3.3)$$

Вертикальні прискорення  $a_{зД}$  задньої вісі трактора визначимо за рівнянням:

$$a_{зД} = \frac{d^2 \cdot z_0}{dt^2} + (l_{зМ} + 0,45) \cdot \frac{d^2 \cdot a_0}{dt^2} \quad (3.4)$$

За отриманими результатами розрахунків та експериментальних досліджень побудовано графічні залежності прискорень, що виникають на передній, задній вісі трактора та робочому місці тракториста (рис. 3.5).



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Результати експериментального дослідження прискорень різних частин трактора: а- прискорення передньої вісі; б – прискорення на сидінні; в – прискорення задньої вісі трактора

За результатами проведених досліджень отримано значення моменту інерції остову трактора, яке становить  $JJ_0 = 9610 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . Розбіжність між теоретичними та дослідними показниками прискорень не більше 5 %, тобто математична модель досить адекватна.

В результаті проведених досліджень також встановлено значення швидкості та величини вертикальних переміщень елементів трактора з точністю до 4,5 % порівнюючи дослідні та теоретичні значення. На рисунках 3.6 і 3.7 наведено графічні залежності отриманих значень швидкості та величини вертикальних переміщень в часі.





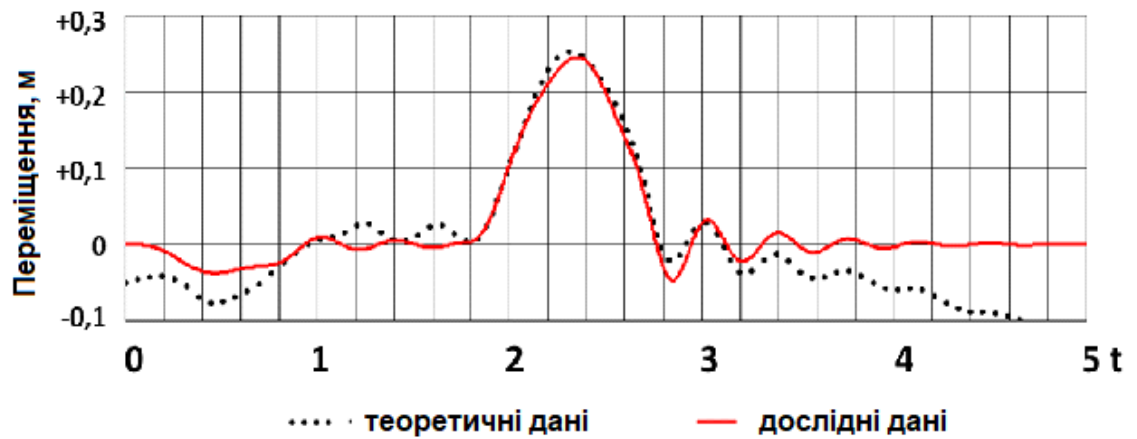
Рисунок 3.6 - Результати експериментального дослідження швидкості вертикального переміщення різних частин трактора:  
 а – швидкість переміщення передньої вісі трактора при переїзді одиночних нерівностей; б – швидкість переміщення сидіння трактора при переїзді одиночних нерівностей; в – швидкість переміщення задньої вісі трактора при переїзді одиночних нерівностей



а)



б)



в)

Рисунок 3.7 – Результати експериментального дослідження вертикального переміщення різних частин трактора: а – переміщення передньої вісі трактора при переїзді одиночних нерівностей; б – переміщення сидіння трактора при переїзді одиночних нерівностей; в – переміщення задньої вісі трактора при переїзді одиночних нерівностей

За результатами проведених експериментальних досліджень в умовах полігону отримано значення постійних коефіцієнтів математичної моделі. Порівняння отриманих показників теоретичним і дослідним шляхом дозволило підтвердити адекватність моделі. В результаті лабораторних і дорожніх досліджень було уточнено всі необхідні константи, що використовуються в математичній моделі – жорсткості шин, координати положення центру тяжіння, навантаження на передні та задні мости та момент інерції кістяка, що дозволило забезпечити високий ступінь збіжності результатів теоретичних та практичних досліджень.

### **3.5 Експериментальні випробування підвіски робочого місця тракториста в польових умовах**

Експериментальні дослідження роботи серійної та експериментальної підвісок виконували в умовах поля ТОВ «Перемога». На першому етапі визначали значення вертикальних прискорень при роботі МТА в складі трактора ЮМЗ-8040 і навісної дискової борони АГУ-2,4 (рис. 3.8). Дослідження проводилися на швидкості від 5 км/год до 10 км/год.



Рисунок 3.8 – Полові дослідження підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті з дисковою бороною АУГ-2,4.

На другому етапі до складу ТТА входив трактор ЮМЗ-8040 в агрегаті з причепом 2ПТС-4 с. Випробування виконувалися на швидкості від 15 до 30 км/год з повністю завантаженим причепом (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Дослідження роботи підвіски сидіння на виконанні транспортних робіт трактор ЮМЗ-8040+2ПТС-4

На першому етапі агрегат переміщувався по полю підготовленому під посів. Довжина залікової ділянки (гону) становила 500 м з яких 100 метрів ділянки використовувалися для встановлення необхідного швидкісного режиму. За результатами експериментальних досліджень побудовано графічні залежності вертикальних прискорень за різних частот коливань (рис. 3.10).

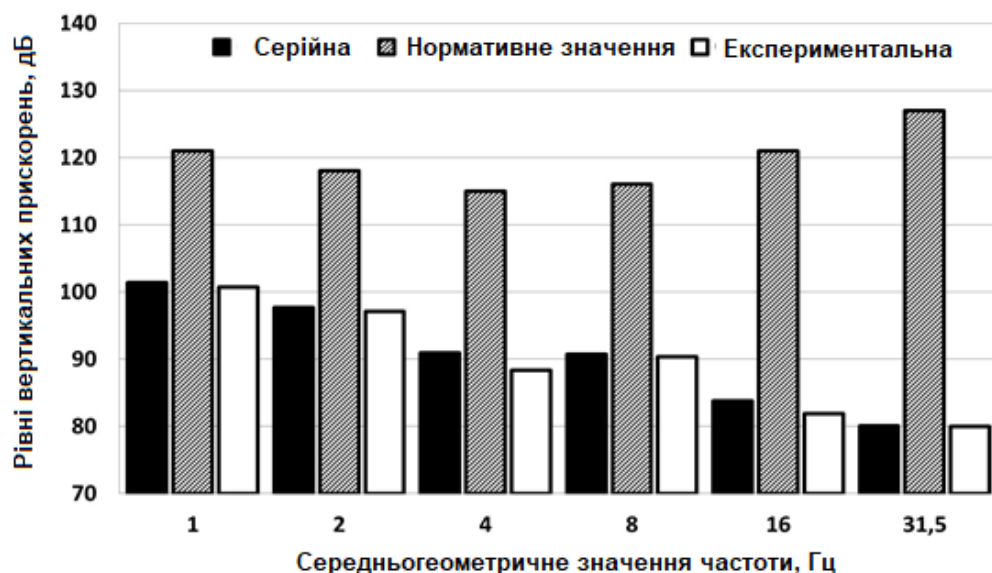


Рисунок 3.10 – Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті з дисковою бороною АГУ-2,4 на швидкості 5 км/год.

За результатами аналізу отриманої графічної залежності встановлено, що максимальні пікові прискорення спостерігаються при значенні середньгеометричних частот близько 4 Гц при цьому значення прискорення у октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 95 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 3 дБ менше.

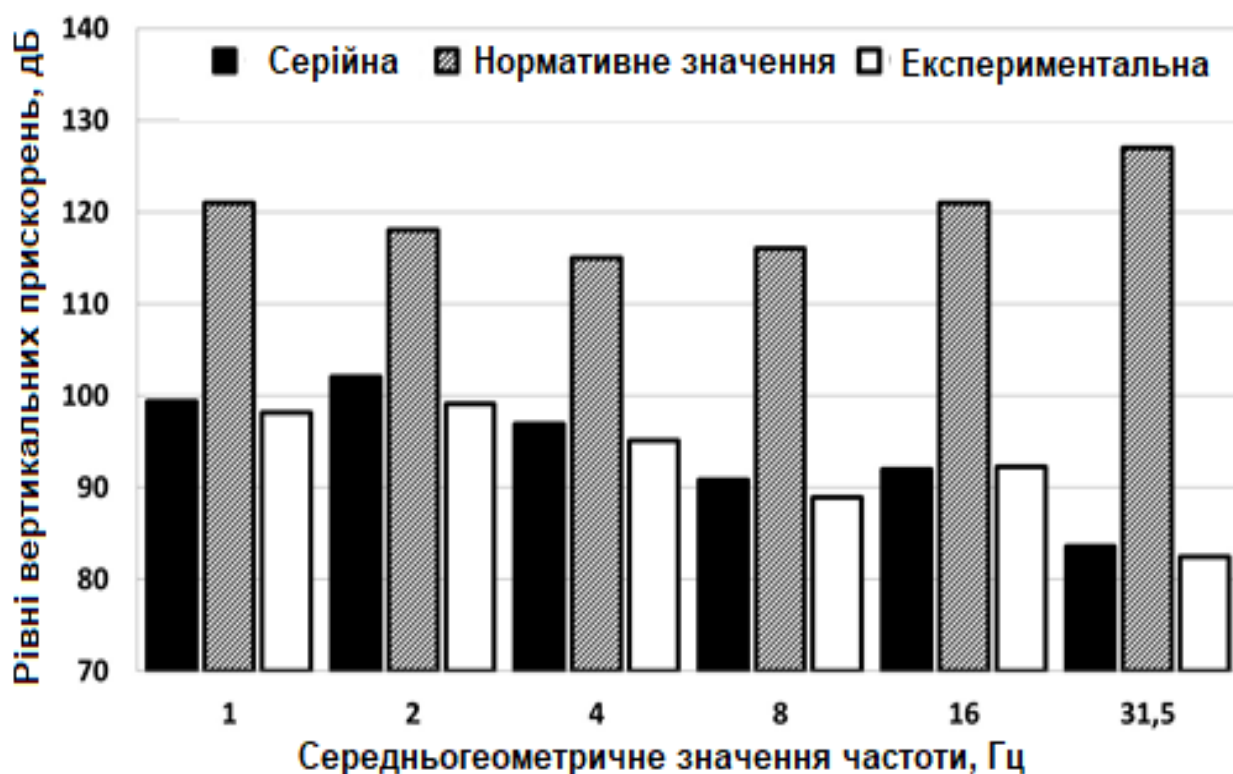


Рисунок 3.11 – Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті з дисковою бороною АГУ-2,4 на швидкості 10 км/год.

За результатами аналізу графіка рис. 3.11 швидкість руху агрегату 10 км/год встановлено, що максимальні пікові прискорення спостерігаються при значенні середньгеометричних частот близько 2 Гц при цьому значення прискорення у октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 98,8 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 7,8 дБ менше.

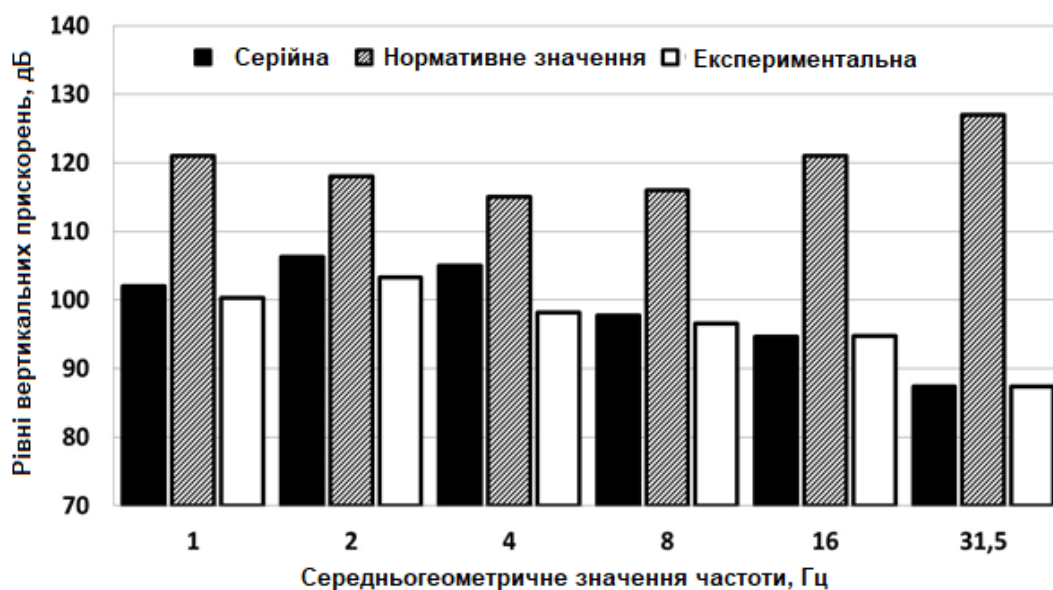


Рисунок 3.12 – Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті із причепом 2ПТС-4 на швидкості 15 км/год.



Рисунок 3.13– Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті із причепом 2ПТС-4 на швидкості 20 км/год.

За результатами аналізу графіка рис. 3.12 швидкість руху агрегату 15 км/год встановлено, що максимальні пікові прискорення спостерігаються при значенні середньогометричних частот близько 4 Гц при цьому значення прискорення у

октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 99 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 8 дБ менше.

За результатами аналізу графіка рис. 3.13 швидкість руху агрегату 20 км/год встановлено, що максимальні пікові прискорення спостерігаються при значенні середньгеометричних частот близько 2, 4, 8 Гц при цьому значення прискорення у октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 99,2 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 8,2 дБ менше.

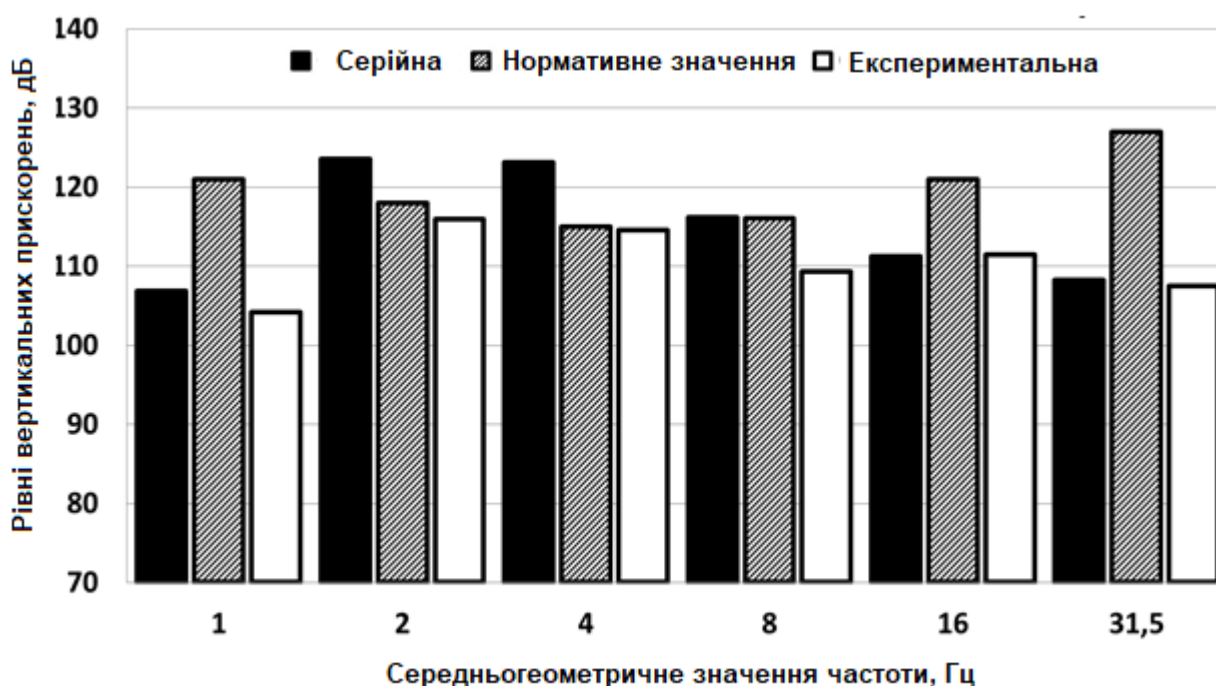


Рисунок 3.14 – Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті із причепом 2ПТС-4 на швидкості 25 км/год.

За результатами аналізу графіка рис. 3.14 швидкість руху агрегату 25 км/год встановлено, що максимальні пікові прискорення спостерігаються при значенні середньгеометричних частот близько 2, 4 Гц при цьому значення прискорення у октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 112 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 10 дБ менше. Також спостерігається перевищення встановлених санітарних норм серійною підвіскою на 12 дБ

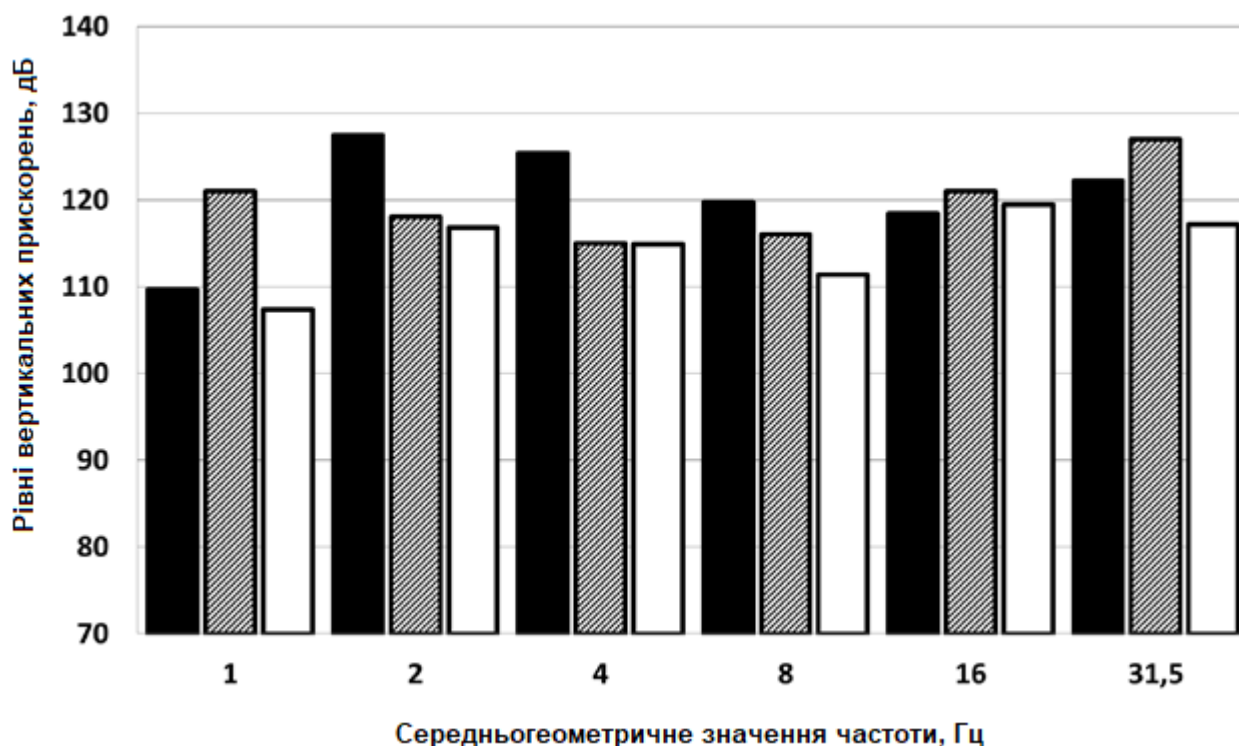


Рисунок 3.15 – Польові дослідження роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в агрегаті із причепом 2ПТС-4 на швидкості 30 км/год.

За результатами аналізу графіка рис. 3.15 подальше зростання швидкості руху агрегату до 30 км/год призводить до росту пікових прискорень на всіх частотах, максимальний пік прискорення спостерігаються при значенні середньогометричних частот близько 2 Гц при цьому значення прискорення у октавних смугах розробленої адаптивної підвіски складає 115 дБ, що в порівнянні з серійною підвіскою на 13 дБ менше. Також спостерігається перевищення встановлених санітарних норм серійною підвіскою в полосі частот 2, 4, 8, 16 Гц.

За результатами проведених досліджень доведено ефективність роботи запропонованої адаптивної підвіски за різних швидкісних режимів роботи агрегату, але найбільш ефективно підвіска проявила себе на високих швидкостях починаючи від 20 до 30 км/год. Ефективність роботи підвіски на різних швидкостях наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати польових досліджень роботи підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 на виконанні технологічних та транспортних операцій

| №<br>п/п | Швидкість<br>руху, км/ч | Значення прискорень, дБ |                              |       | Ефективність<br>роботи<br>запропонованої<br>підвіски, дБ |
|----------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|-------|----------------------------------------------------------|
|          |                         | Базовий<br>варіант      | Експериментальний<br>варіант | Норма |                                                          |
| 1        | 5                       | 104,6                   | 103,8                        | 115   | 0,8                                                      |
| 2        | 10                      | 106,6                   | 98,8                         | 115   | 7,8                                                      |
| 3        | 15                      | 107                     | 99                           | 115   | 8                                                        |
| 4        | 20                      | 107,4                   | 99,2                         | 115   | 8,2                                                      |
| 5        | 25                      | 124                     | 112                          | 115   | 12                                                       |
| 6        | 30                      | 128                     | 114                          | 115   | 14                                                       |

З таблиці 3.1 видно, що збільшення швидкості агрегату відбувається ріст безпосередньо вертикальних прискорень особливо значним він стає при збільшенні швидкості більше 20 км/год, так робота базової підвіски перевищує встановлені санітарні нормативні значення за вертикальними прискореннями на 18 %. Використання удосконаленої підвіски робочого місця тракториста забезпечує нормативні показники за максимальної швидкості руху ТТА в 35 км/год, що покращує керування та безпеку переміщення трактора на виконанні транспортних робіт. Ефективність роботи запропонованої експериментальної підвіски з ростом швидкості зросла з 0,8 дБ до 14 дБ, що підтверджує актуальність впровадження запропонованого конструктивного рішення.

### 3.6 Висновки

1. Розроблений реєстраційно-вимірювальний комплекс дозволив провести експериментальні дослідження вертикальних прискорень елементів трактора в умовах полігону та поля.

2. За результатами експериментальних досліджень в умовах полігону встановлено значення моменту інерції остову трактора МТЗ-8040 при подоланні одиночних нерівностей значення якого склало  $JJ_0 = 9610 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , що дозволило оптимізувати математичну модель так щоб розбіжність між теоретичними та дослідними показниками прискорень склала не більше 5 %, тобто математична модель досить адекватна.

3. За результатами проведених досліджень в умовах поля підтверджено ефективність розробленої адаптивної підвіски на швидкості від 5 до 35 км/год без відхилень від санітарних норм, що покращує керування та безпеку переміщення трактора на виконанні транспортних робіт. Ефективність роботи запропонованої експериментальної підвіски з ростом швидкості зросла з 0,8 дБ до 14 дБ, що підтверджує актуальність впровадження запропонованого конструктивного рішення.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Організація охорони праці**

ТОВ "Перемога", що спеціалізується на вирощуванні рослинницької продукції, приділяє велику увагу охороні праці, оскільки забезпечення безпеки працівників є важливим чинником ефективної діяльності підприємства. Організація охорони праці спрямована на створення безпечних умов роботи, профілактику травматизму та професійних захворювань, а також дотримання чинного законодавства [29, 30].

#### **1. Загальні принципи організації охорони праці**

Забезпечення відповідності діяльності підприємства законодавчим і нормативним актам у сфері охорони праці.

Профілактика ризиків для здоров'я та життя працівників.

Впровадження сучасних стандартів безпеки та автоматизації процесів.

Проведення навчань і постійного інформування працівників щодо правил охорони праці.

#### **2. Управління охороною праці**

На підприємстві створено службу охорони праці, основні функції якої:

Розробка заходів для зменшення ризиків травматизму.

Контроль за дотриманням працівниками правил безпеки.

Проведення регулярних перевірок робочих місць і обладнання.

Розробка інструкцій з охорони праці для всіх видів робіт.

Відповідальність за виконання заходів охорони праці покладена на керівників підрозділів та інженера з охорони праці.

### 3. Навчання та інструктажі

Для підвищення рівня безпеки на підприємстві проводяться наступні види інструктажів:

Вступний інструктаж — для всіх працівників при прийомі на роботу.

Первинний інструктаж — на робочому місці перед початком виконання завдань.

Повторний інструктаж — проводиться кожні пів року для оновлення знань.

Позаплановий інструктаж — у разі змін у технологіях чи обладнанні.

Цільовий інструктаж — для виконання разових робіт.

Також організовуються тренінги та навчання для ознайомлення з сучасними методами роботи та засобами захисту.

### 4. Організація робочого місця

Робочі місця обладнані відповідно до стандартів безпеки та ергономіки.

Зони роботи з небезпечними речовинами (пестицидами, добривами) облаштовані вентиляцією та засобами захисту.

Забезпечено безпечний доступ до машин і механізмів.

### 5. Забезпечення засобами індивідуального захисту

Працівники забезпечуються спеціальним одягом, взуттям, рукавичками, окулярами та респіраторами залежно від виду робіт. Для роботи з хімічними речовинами передбачено додаткові засоби захисту.

### 6. Медичне забезпечення

Організовано регулярні медичні огляди працівників для профілактики професійних захворювань.

Забезпечено доступ до аптечок першої допомоги в усіх виробничих зонах.

Проводиться інформаційна кампанія щодо вакцинації та зміцнення здоров'я працівників.

#### 7. Пожежна безпека

На підприємстві встановлено вогнегасники та протипожежне обладнання.

Організовано регулярні навчання щодо дій у разі пожежі.

Забезпечено безпечне зберігання легкозаймистих матеріалів.

#### 8. Контроль та аудит охорони праці

Регулярно проводяться перевірки стану обладнання та умов праці.

Розслідуються всі випадки травматизму для усунення причин та запобігання повторення.

Контроль за дотриманням правил безпеки здійснює служба охорони праці.

### 4.2 Аналіз виробничого травматизму

Для оцінки рівня травматизму в ТОВ «Перемога» за період з 2021 до 2023 року використані дані про чисельність працівників, кількість потерпілих осіб та днів непрацездатності наведені в таблиці 4.1. Розрахунок виконаємо за загальноприйнятою методикою [30]

Таблиці 4.1 Вихідні дані для оцінки рівня травматизму

| Показники травматизму                                    | Роки |      |      |
|----------------------------------------------------------|------|------|------|
|                                                          | 2021 | 2022 | 2023 |
| Кількість працівників господарства, осіб                 | 18   | 24   | 32   |
| Кількість потерпілих та осіб, що втратили працездатність | 4    | 5    | 3    |
| Кількість непрацездатних днів, дн.                       | 82   | 109  | 61   |

Частота травматизму:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.1)$$

де:  $n_p$  – середнє число робітників, чол.;

$T$  - кількість потерпілих що втратили працездатність, чол.

Коефіцієнт непрацездатності:

$$K_{\text{н}} = \frac{D_{\text{н}} \cdot 1000}{n_p}, \quad (4.2)$$

де:  $D_{\text{н}}$  – кількість непрацездатних днів.

Тяжкість травматизму:

$$K_{\text{т}} = \frac{D_{\text{н}}}{n_2}, \quad (4.3)$$

де:  $n_2$  – кількість потерпілих що втратили працездатність, чол.

Результат розрахунку за приведеною методикою наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку рівня травматизму в ТОВ «Перемога»

| Показники травматизму  | Роки   |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|
|                        | 2021   | 2022   | 2023   |
| Коефіцієнти:           |        |        |        |
| - частоти травматизму  | 222    | 208    | 94     |
| - тяжкості травматизму | 20,50  | 21,80  | 20,33  |
| - непрацездатності     | 4555,6 | 4541,7 | 1906,3 |

Аналізуючи показники рівня травматизму можна сказати наступне:

Зменшення кількості потерпілих у 2023 році вплинуло на зниження коефіцієнта частоти та непрацездатності, що свідчить про покращення безпеки праці. До проблемних можна віднести 2022 рік він являється лідером по кількості потерпілих і непрацездатних днів, що вказує на недостатній рівень профілактики у той період.

Для вирішення зниження цих показників наведено наступні рекомендації:

- продовжувати впроваджувати заходи з профілактики травматизму, зокрема навчання персоналу та модернізацію обладнання.
- проводити регулярний моніторинг робочих місць та технічного стану обладнання.
- Покращити систему інструктажів та контролю за дотриманням правил безпеки.

#### **4.3 Вимоги з охорони праці під виконання транспортних робіт трактором ЮМЗ-8040**

Експлуатація трактора ЮМЗ-8040 під час виконання транспортних робіт вимагає суворого дотримання правил охорони праці, оскільки цей вид робіт пов'язаний із підвищеним ризиком травматизму та аварійних ситуацій. Забезпечення безпеки працівників включає комплекс організаційних, технічних і профілактичних заходів.

##### **1. Загальні вимоги**

До роботи на тракторі допускаються працівники, які пройшли навчання, перевірку знань з охорони праці та мають відповідне посвідчення.

Працівники повинні пройти обов'язковий медичний огляд, що підтверджує їхню здатність виконувати роботу.

Перед початком роботи необхідно провести первинний інструктаж на робочому місці.

## 2. Підготовка трактора до роботи

Провести технічний огляд трактора, перевірити:

Стан гальмівної системи, рульового керування, освітлення та сигналізації.

Тиск у шинах і їхню справність.

Рівень палива, масла та охолоджувальної рідини.

Наявність і справність дзеркал заднього виду.

Заборонено експлуатувати трактор за наявності несправностей.

## 3. Вимоги до організації робочого місця

Робоче місце оператора трактора повинно бути чистим і обладнаним відповідно до ергономічних вимог.

Двері кабіни повинні бути надійно зачинені під час руху.

Робоча зона повинна бути вільною від сторонніх предметів, які можуть заважати виконанню робіт.

## 4. Вимоги під час виконання транспортних робіт

Перед початком транспортування вантажу необхідно переконатися, що причіп або навісне обладнання правильно під'єднано та надійно закріплено.

Завантаження причепа повинно здійснюватися рівномірно, щоб уникнути перевантаження осей і перекосу причепа.

Заборонено перевозити вантажі, маса або габарити яких перевищують допустимі норми, зазначені в технічній документації.

Швидкість руху трактора повинна відповідати дорожнім умовам і не перевищувати встановлених обмежень:

На рівній дорозі — до 20 км/год.

При русі на поворотах, схилах або нерівностях — не більше 10 км/год.

Під час руху заборонено виконувати різкі маневри, гальмування чи зміни напрямку.

## 5. Безпека під час зупинки та розвантаження

Зупинка трактора повинна здійснюватися тільки на рівній поверхні з включенням стоянкового гальма.

Перед розвантаженням вантажу необхідно перевірити стійкість причепа або транспортного засобу.

Заборонено перебувати в зоні можливого перекидання вантажу під час розвантаження.

#### 6. Пожежна безпека

Трактор має бути оснащений справним вогнегасником.

Забороняється заправляти трактор паливом при працюючому двигуні або поблизу відкритого вогню.

У зоні виконання робіт не повинно бути легкозаймистих матеріалів.

#### 7. Дії у разі аварійної ситуації

У разі виникнення несправності або аварії необхідно зупинити трактор, вимкнути двигун і повідомити про ситуацію керівництву.

Якщо трапляється витік палива чи масла, негайно вжити заходів для їх усунення, використовуючи засоби індивідуального захисту.

У разі травмування працівників надати першу допомогу та викликати медичну допомогу.

#### 8. Завершення роботи

Після завершення роботи вимкнути двигун, перевірити стан трактора та очистити його від бруду.

Розмістити трактор у відведеному місці для стоянки, переконавшись у правильній парковці.

Здійснити запис у журналі технічного обслуговування про виконані роботи.

#### **4.4 Заходи безпеки в НС на току, де експлуатується трактор ЮМЗ-8040 з причепом 2ПТС-4**

В якості прикладу розглянемо приклад виникнення надзвичайної ситуації на току де експлуатується трактор ЮМЗ-8040 в агрегаті з причепом 2ПТС-4 [31].

Ток є важливою складовою сільськогосподарського виробництва, де виконуються роботи з транспортування, сортування та зберігання продукції. Експлуатація трактора ЮМЗ-8040 з причепом 2ПТС-4 потребує особливого дотримання правил безпеки, оскільки цей вид техніки працює в умовах підвищеного ризику. Надзвичайні ситуації (НС) можуть виникати через несправність техніки, порушення правил транспортування, пожежі або інші аварійні ситуації.

##### **1. Організаційні заходи**

###### ***Планування роботи:***

Встановлення чітких маршрутів руху трактора на току.

Виділення зон для навантаження, розвантаження та маневрування техніки.

Обмеження доступу сторонніх осіб до робочих зон.

###### ***Навчання персоналу:***

Проведення вступних та періодичних інструктажів з охорони праці.

Навчання діям у надзвичайних ситуаціях, таких як пожежа, аварія чи перевантаження причепа.

Ознайомлення з порядком використання засобів пожежогасіння.

###### ***Контроль за дотриманням правил:***

Регулярний нагляд за станом техніки та обладнання.

Організація чергових оглядів робочих місць на предмет дотримання норм безпеки.

## 2. Технічні заходи

### ***Перевірка технічного стану трактора та причепа:***

Перед початком роботи перевірити:

Справність гальмівної системи.

Надійність зчіпного пристрою між трактором та причепом.

Роботу сигналізації та освітлення.

Забезпечити рівномірне завантаження причепа для уникнення перекидання.

### ***Оснащення техніки засобами безпеки:***

Трактор ЮМЗ-8040 має бути обладнаний дзеркалами огляду, аварійними сигналами та вогнегасником.

Причеп 2ПТС-4 повинен мати справні механізми кріплення борту та систему гальмування.

### ***Мінімізація ризиків через зовнішні фактори:***

Уникати експлуатації техніки в умовах поганої видимості або сильного вітру.

Стежити за станом дорожнього покриття на току, забезпечуючи його рівність та чистоту.

## 3. Профілактика пожеж та вибухів

### ***Обладнання току засобами пожежогасіння та громовідводами:***

У зоні роботи трактора мають бути встановлені пожежні щити з вогнегасниками, піском та лопатами.

У приміщеннях із підвищеним рівнем пилу забезпечити наявність системи вентиляції.

***Запобігання займанням:***

Заборонити заправку трактора в зоні виконання робіт.

Уникати відкритого вогню поблизу зони роботи трактора та причепа.

Контролювати рівень пилу та забезпечувати його осадження водою.

**4. Дії у разі надзвичайних ситуацій**

***У разі пожежі:***

Оператор трактора має негайно вимкнути двигун та скористатися вогнегасником.

Евакуювати працівників із небезпечної зони.

Викликати пожежну службу та дотримуватися інструкцій з ліквідації пожежі.

***У разі аварії техніки:***

Зупинити трактор та увімкнути аварійні сигнали.

Забезпечити попереджувальні знаки для уникнення ризику інших аварій.

Повідомити керівництво та за необхідності викликати технічну допомогу.

***У разі перевантаження причепа:***

Зупинити роботу та перевірити рівномірність розподілу вантажу.

Забезпечити корекцію навантаження або розвантаження до безпечного рівня.

***У разі травмування працівників:***

Надати першу допомогу постраждалим.

Викликати медичну службу.

Забезпечити безпечні умови для евакуації постраждалих.

## 5. Інноваційні заходи

### ***Автоматизація процесів контролю:***

Встановлення систем відеоспостереження для моніторингу руху техніки.

Використання датчиків для контролю завантаження причепа.

Впровадження систем попередження аварій:

Встановлення систем автоматичного гальмування у разі наближення до перешкод.

Використання телеметрії для відстеження стану трактора та причепа.

## **4.5 Висновки**

1. Організація охорони праці в ТОВ "Перемога" базується на системному підході до забезпечення безпеки працівників. Дотримання нормативних вимог, регулярний моніторинг, навчання персоналу та впровадження сучасних технологій дозволяють створити безпечні умови роботи, мінімізувати ризики травматизму та підвищити ефективність діяльності підприємства.

2. Дотримання правил охорони праці під час експлуатації трактора ЮМЗ-8040 на транспортних роботах є запорукою безпеки працівників і збереження техніки. Виконання вимог щодо підготовки, організації роботи та регулярного контролю стану трактора дозволяє мінімізувати ризики травматизму та аварійних ситуацій.

3. Розроблені заходи щодо поліпшення охорони праці на току, де експлуатується трактор, спрямовані на зниження ризиків травматизму, підвищення безпеки працівників і забезпечення належного реагування на надзвичайні ситуації.

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Підвищення ефективності транспортних робіт на базі трактора МТЗ-80 можливо за рахунок удосконалення підвіски сидіння. Удосконалена конструкція підвіски сидіння зменшує рівень вібрацій і навантажень на оператора, що впливає на його працездатність, комфорт, продуктивність та знижує ризики професійних захворювань. Аналіз економічної ефективності такого удосконалення проводиться шляхом порівняння трактора МТЗ-80 з базовою підвіскою сидіння та трактора з удосконаленою конструкцією підвіски [32].

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для порівняння

| Показник                                        | МТЗ-80<br>(базова підвіска) | МТЗ-80У<br>(удос. підвіска) | Різниця<br>(+/-) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| Продуктивність, т/год                           | 12                          | 14                          | +2               |
| Витрата палива, л/год                           | 7                           | 6,8                         | -0,2             |
| Вартість палива, грн/л                          | 51                          | 51                          | -                |
| Річний обсяг перевезень, т                      | 300                         | 300                         | -                |
| Тарифна ставка, грн/т                           | 50                          | 50                          | -                |
| Напрацювання за рік, год                        | 1000                        | 1000                        | -                |
| Витрати на ремонт підвіски сидіння, грн/рік     | 1800                        | 1200                        | -600             |
| Витрати на обслуговування підвіски, грн/рік     | 1500                        | 1000                        | -500             |
| Трудозатрати оператора, год/т                   | 0,5                         | 0,45                        | -0,05            |
| Рівень вібрацій, дБ                             | 16                          | 10                          | -6               |
| Амортизаційні відрахування на підвіску, грн/рік | -                           | 2400                        | +2400            |

## *Розрахунок економічної ефективності*

### 1. Зниження витрат на паливе:

$$E_n = (B_{нб} - B_{нм}) W_{\Gamma} \cdot Ц_n, \text{ грн/рік} \quad (5.1)$$

Де  $B_{нб}$  - витрата палива, базовий варіант підвіски, л;

$B_{нм}$  - витрата палива, удосконалена підвіска л;

$W_{\Gamma}$  - річне напрацювання трактора, год

$Ц_n$  - вартість палива, грн/л

$$E_n = (7 - 6,8) \cdot 1000 \cdot 51 = 10200 \text{ грн/рік.}$$

### 2. Зменшення витрат на ремонт і обслуговування:

$$E_p = (B_{ТОб} + B_{ПРб}) - (B_{ТОм} + B_{ПРм}), \text{ грн/рік} \quad (5.2)$$

Де  $B_{ТОб}$  - витрати на ТО, базова підвіска, грн;

$B_{ПРб}$  витрати на поточний ремонт, базова підвіска грн;

$B_{ТОм}$  - витрати на ТО, удосконалена підвіска, грн;

$B_{ПРм}$  витрати на поточний ремонт, удосконалена підвіска грн.

$$E_p = (1800 + 1500) - (1200 + 1000) = 1100 \text{ грн/рік}$$

### 3. Підвищення продуктивності агрегату

Додатковий прибуток від збільшення продуктивності визначимо за рівнянням:

$$E_Q = (Q_y - Q_o) \cdot W_t \cdot C_p \text{ грн/рік} \quad (5.3)$$

де  $Q_o$  - продуктивність агрегату з базовою підвіскою, т/год

$Q_y$  - продуктивність агрегата з удосконаленою підвіскою, т/год

$W_t$  - річний обсяг перевезень, т

$C_p$  - тарифна ставка становить, грн/т.

$$E_Q = (14 - 12) \cdot 300 \cdot 50 = 30000 \text{ грн / рік}$$

#### 4. Загальний річний економічний ефект визначимо за рівнянням

$$E_z = E_n + E_p + E_{II} + E_z - A \quad (5.4)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн/рік.

$$E_z = 10200 + 1100 + 30000 - 2400 = 38900 \text{ грн}$$

Строк окупності удосконалення

$$T_o = \frac{I_n}{E_z} = \frac{35020}{38900} = 0,9 \text{ року} \quad (5.5)$$

Де  $I_n$  - величина інвестицій в удосконалення підвіски сидіння, грн

Результати економічного розрахунку наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати економічного розрахунку

| Показник                                           | МТЗ-80<br>(базова підвіска) | МТЗ-80У<br>(удос.<br>підвіска) | Різниця<br>(+/-) |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------|
| Вид робіт                                          | Перевезення<br>вантажу      | Перевезення<br>вантажу         | -                |
| Продуктивність, т/год                              | 12                          | 14                             | +2               |
| Витрата палива, л/год                              | 7                           | 6,8                            | -0,2             |
| Вартість палива, грн/л                             | 51                          | 51                             | -                |
| Річний обсяг перевезень, т                         | 300                         | 300                            | -                |
| Тарифна ставка, грн/т                              | 50                          | 50                             | -                |
| Напрацювання за рік, год                           | 1000                        | 1000                           | -                |
| Витрати на ремонт підвіски<br>сидіння, грн/рік     | 1800                        | 1200                           | -600             |
| Витрати на обслуговування<br>підвіски, грн/рік     | 1500                        | 1000                           | -500             |
| Рівень вібрацій, дБ                                | 16                          | 10                             | -6               |
| Амортизаційні відрахування<br>на підвіску, грн/рік | -                           | 2400                           | +2400            |
| Інвестиції в удосконалення<br>підвіски, грн        | 35020                       |                                |                  |
| Загальний економічний<br>ефект, грн/рік            | 38900                       |                                |                  |
| Термін окупності, рік                              | 0,9                         |                                |                  |

### Висновок

Удосконалення підвіски сидіння трактора МТЗ-80 забезпечує зниження витрат на пальне, ремонт і обслуговування, покращує комфорт роботи оператора та підвищує продуктивність. Загальний економічний ефект від впровадження удосконаленої підвіски склав 38900 грн/рік, що свідчить про високу доцільність впровадження цього конструктивного рішення. Термін окупності додаткових витрат на модернізацію становить менше 1 року, що робить цей проект привабливим для сільськогосподарських підприємств.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Зростання продуктивності ТТА і МТА обмежується коливаннями та вібрацією, що виникають при переміщенні по нерівній поверхні та за збільшення швидкості агрегату. Вібрація і коливання прискорюють втомлюваність тракториста та зниження його працездатності, оскільки робоче місце не відповідає вимогам санітарних норм щодо вібраційної навантаженості.

Віброзахисні засоби пасивного типу, що встановлюються в тракторах, не дозволяють в повній мірі вирішити питання зниження коливань, що діють на тракториста через зростання швидкісного режиму руху МТА і ТТА.

За результатами проведеного аналізу розроблено адаптивну підвіску сидіння трактора ЮМЗ-8040.

2. За результатами теоретичних досліджень:

- отримано аналітичні рівняння розрахунку основних конструктивно технологічних параметрів розробленої підвіски сидіння трактора.

- використання запропонованої підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 дозволило збільшити граничне значення максимальної швидкості трактора з 25 до 34 км/год, що дозволить підвищити продуктивність трактора на виконанні транспортних перевезень.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- в умовах полігону встановлено значення моменту інерції остову трактора МТЗ-8040 при подоланні одиночних нерівностей значення якого склало  $J_{Jo} = 9610 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , що дозволило оптимізувати математичну модель так розбіжність між теоретичними та дослідними показниками прискорень склала не більше 5 % , тобто математична модель досить адекватна.

- в умовах поля підтверджено ефективність розробленої адаптивної підвіски на швидкості від 5 до 35 км/год без відхилень від санітарних норм, що покращує керування та безпеку переміщення трактора на виконанні

транспортних робіт. Ефективність роботи запропонованої експериментальної підвіски з ростом швидкості зросла з 0,8 дБ до 14 дБ, що підтверджує актуальність впровадження запропонованого конструктивного рішення.

4. Дотримання правил охорони праці під час експлуатації трактора ЮМЗ-8040 на транспортних роботах є запорукою безпеки працівників і збереження техніки. Виконання вимог щодо підготовки, організації роботи та регулярного контролю стану трактора дозволяє мінімізувати ризики травматизму та аварійних ситуацій.

Розроблені заходи щодо поліпшення охорони праці на току, де експлуатується трактор, спрямовані на зниження ризиків травматизму, підвищення безпеки працівників і забезпечення належного реагування на надзвичайні ситуації.

5. Удосконалення підвіски сидіння трактора МТЗ-80 забезпечує зниження витрат на паливе, ремонт і обслуговування, покращує комфорт роботи оператора та підвищує продуктивність. Загальний економічний ефект від впровадження удосконаленої підвіски склав 38900 грн/рік, що свідчить про високу доцільність впровадження цього конструктивного рішення. Термін окупності додаткових витрат на модернізацію становить менше 1 року, що робить цей проект привабливим для сільськогосподарських підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наказ № 248 від 08.04.2014 Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»
2. Поліпшення віброакустичних параметрів транспортно-технологічних машин/Ю.Ф. Козакевич, Ю.І. Калінін, А.Н. Коваль [та ін] // Високі технології в машинобудівельному комплексі. - 2021. - № 1. - С. 172-176.
3. ДСТУ ISO 2631-1:2004 Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину
4. <https://soundcloud.com/scalex-cz/traktorove-castusky>
5. Коваль А. Н. Визначення пружної характеристики підвіски сидіння з пружними елементами як жорстких пластин / А.В. Коваль А.В. Лощенко // Наука та освіта на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (Вінниця, 26–27 листопада 2018
6. Порівняльний аналіз вітчизняних та зарубіжних нормативних вимог до віброзахисту водія трактора / З.А. Года, Т.З. Года, М.В. Ляшенко [та ін] // Вісник КНТУ. - 2021. - Т.15. - №2 (2021). - С. 2-8.
7. Upgrading seat suspension of tractor Belarus-1221 / A. V. Loschenko, R. G. Belyansky, A. N. Koval // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019, Kharkov, 27 мая – 01 2019 года. – Kharkov:
8. Petek N.K. An Electronically controlled Shock Absorber using electrorheological fluid // SAE Technical Paper 920275, 1992.
9. Nicola Caterino Semi-active control of a wind turbine via magnetorheological dampers // Journal of Sound and Vibration. Volume 345. - pp. 1–17.

10. Патент України №56284, МПК В60N 2/50 Сидіння транспортного засобу з підвіскою активного типу / О.І. Поливний, А.Ю. Юрченко. Опубл. 10.09.2006. Бюл. №25.
11. Корисна модель UA №46232, МПК В60N 2/50 Адаптивна система підвіски сидіння трактора/ М.І. Чересло. А.М. Склярчук. Опубл. 08.10.2009. Бюл. №21.
12. Видмиш А.А., Возняк О.М., Купчук І.М., Бойко Д.Л. Дослідження медіанної фільтрації одновимірних сигналів. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. №1. С. 88-102.
13. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.
14. Патент України №56849, МПК В60N 2/50. Активна підвіска сидіння транспортного засобу : заяв № а2022103354, опубл. 21.08.2020 / О. І. Поливний, А. Н. Коваль [та ін.]
15. Sears Seating. Інновації. Система зниження вібрацій VRS® [Електронний ресурс]. – 2008. – Режим доступу: <http://www.searsseating.net/innovation4.htm>.
16. Comparative research on semi-active control strategies for magnetorheological suspension / Xiao-min Dong [et al.] // Nonlinear Dynamics. – 2010. – Vol. 59, No. 3. –p. 433-453.
17. Grammer AG. Produktwelten. Commercial Vehicles. Landmaschinen [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу : <https://www.grammer.com/produktwelten/commercial-vehicles/landmaschinen.html>
18. Артюшенко, О.Д. Створення пневматичної підвіски сидіння для захисту тракториста від низькочастотних коливань, обґрунтування та вибір її оптимальних параметрів: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.05.03 / О.Д. Артюшенко. - Харків, 1984. - 16 с.

19. Сорока, О. В. Імітаційне моделювання коливань центру мас колісної машини за допомогою програми Simulink / О. В. Сорока, П. І. Степовий// Інженерний вісник. - 2020. - № 4 (64). - С. 3-4.

20. Удосконалення віброзахисної системи тракторно-транспортного агрегату на базі Білорусь 1221.2/ О.М. Коваль, О.М. Горбулич // Вісник Сумського національного аграрного університету. - 2020. - Т. 12. - № 2 (61). - С. 60-65.

21. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.

22. Ящеріцин П.І., Махарінський Є.І. Планування експерименту у машинобудуванні. Мінськ: Вища школа. 1985. 286 с.

23. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение. 1981. 184 с.

24. Сучасні сільськогосподарські машини та обладнання для рослинництва. За матеріалами Міжнародної виставки сільськогосподарської техніки SIGMA, 2018. - Київ: ІНФА-М, 2019. - 136 с.

25. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

26. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик\\_ефекту\\_Холла](https://uk.wikipedia.org/wiki/Датчик_ефекту_Холла)

27. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Перетворювачі та пристрої виміральної техніки» для студентів всіх форм навчання спеціальності «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» відділу Інфокомунікацій та інженерії. / Уклад.: О.Д. Архелюк – Чернівці.: ЧНУ імені Юрія Федьковича 2021. – 51 с.

28. Сучасні електромехатронні комплекси і системи : навч. посібник / Т. П. Павленко, В. М. Шавкун, О. С. Козлова, Н. П. Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 116 с.

29. «Закон України «Про охорону праці». №2695-ХІІ закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.

30. В.І. Голінько. Основи охорони праці: В.І. Голінько; Національний гірничий. універ-т. –2-ге видання. – Д.: НГУ, 2014. 272 с.
31. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки" № 2245-III зі змінами від 09.04.2014 - № 1193-VII набирає чинності з 26.04.2014 р.
32. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ., 2005.

# ДОДАТКИ

Додаток А

Об'єкт досліджень трактор ЮМЗ-8040

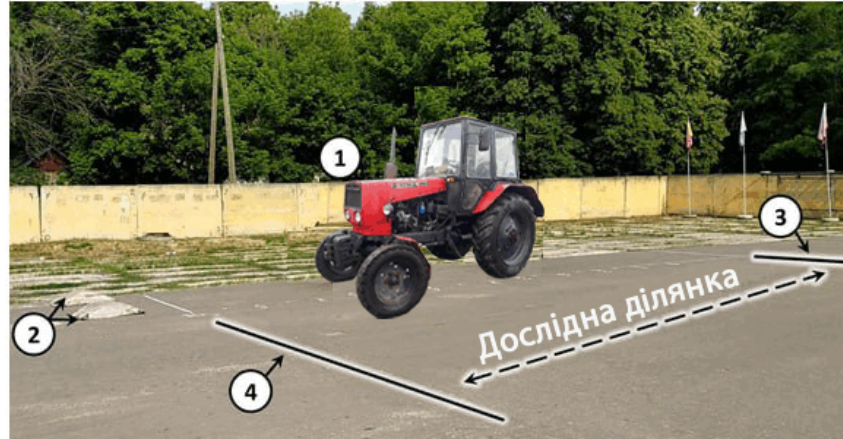


Технічна характеристика трактора ЮМЗ-8040

| Показник                                                                                                                                                             | Значення    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Маса трактора конструктивна<br>(експлуатаційна), кг                                                                                                                  | 4100        |
|                                                                                                                                                                      | 4200        |
| Габаритні розміри, мм:                                                                                                                                               |             |
| Довжина                                                                                                                                                              | 4165        |
| Ширина                                                                                                                                                               | 1884+30     |
| Висота                                                                                                                                                               | 2750+40     |
| База, мм                                                                                                                                                             | 2450+30     |
| Колія, мм (регульова безступінчата)                                                                                                                                  |             |
| передніх коліс                                                                                                                                                       | 1360...1860 |
| задніх коліс                                                                                                                                                         | 1400...1800 |
| Мінімальний радіус поворота посередині<br>сліду зовнішнього переднього колеса при<br>колії 1400 мм з підгальмовуванням<br>внутрішнього заднього колеса, м, не більше | 4,6         |
| Тип ходової системи                                                                                                                                                  | колісна 4x2 |
| Швидкість руху, км/год                                                                                                                                               | 1,53-33,8   |

## Додаток Б

### Дослідження роботи удосконаленої підвіски сидіння трактора ЮМЗ-8040 в умовах полігону



#### Дослідний полігон

1 – об’єкт досліджень; 2 – одиночна нерівність; 3 – лінія старту; 4 – лінія фінішу

#### Графічна інтерпретація результатів досліджень підвіски при переїзді одиночних нерівностей

