

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

Підвищення ефективності виконання технологічних операцій машино-тракторним агрегатом шляхом розробки системи дистанційного накопичення та обробки даних агрегату

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шуруєв Богдан Владиславович

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)

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«_____» _____ 2024 р.

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

Шуруєву Богдану Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності виконання технологічних операцій машино-тракторним агрегатом шляхом розробки системи дистанційного накопичення та обробки даних агрегату

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 9.12.2024 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 роботи машино-тракторних агрегатів.

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). Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. 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 20.09.2024 р.	Виконано
2	Теоретичний	до 25.10.2024р.	Виконано
3	Експериментальний	до 19.11.2024 р.	Виконано
4	Охорона праці	до 25.11.2024 р.	Виконано
5	Економічний	до 4.12.2024 р.	Виконано
6	Демонстраційна частина	до 10.12.2024 р.	Виконано

Студент

(підпис)

Шуруєв Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бойко В.Б.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Шуруєв Б.В., Підвищення ефективності виконання технологічних операцій машино-тракторним агрегатом шляхом розробки системи дистанційного накопичення та обробки даних агрегату / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності виконання технологічних операцій машино-тракторним агрегатом (МТА) шляхом розробки системи дистанційного накопичення та обробки даних агрегату, що виконує технологічну операцію.

Впровадження систем дистанційного накопичення та обробки даних дозволить забезпечити роботу МТА з найбільшою ефективністю завдяки підтриманню оптимальних параметрів роботи агрегату (буксування, швидкість руху, глибина, ширина захвату, частота обертання активних робочих органів та ін.)

Робота виконана з врахуванням напрацювань кафедри ТСГМ в напрямку розробки мехатронних систем в мостовому землеробстві.

За результатами проведеного аналізу розроблено системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень отримано значення параметрів енергоефективності машино-тракторного агрегату.

Проведені економічні розрахунки підтвердили ефективність використання системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.

Ключові слова: телеметрична система, мехатронна система, системи керування ДВЗ, датчик частоти обертання, коефіцієнт буксування.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1 Аналіз використання енергонасичених тракторів	11
1.2 Аналіз впливу рушіїв тракторів на ущільнення ґрунту	13
1.3 Аналіз існуючих систем та методів визначення параметрів роботи МТА	16
1.4 Висновки	23
1.5 Мета і завдання досліджень	25
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	26
2.1 Теоретичне обґрунтування процесу контролю витрати потужності двигуна МТА	26
2.2 Теоретичне дослідження буксування колісних рушіїв трактора	32
2.3 Теоретичне дослідження буксування колісних рушіїв в залежності від зміни зчипної ваги трактора ХТЗ-243К	41
2.4 Висновки	43
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	44
3.1 Програма досліджень	44
3.2 Об'єкт досліджень	44
3.3 Методика та результати експериментальних досліджень процесу моніторингу тягового зусилля за допомогою системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА	46
3.4 Експериментальні дослідження буксування ведучих рушіїв МТА	50
3.5 Висновки	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.1 Організація охорони праці	57

4.2 Особливості охорони праці на території машино-тракторного парку господарства	59
4.3 Аналіз виробничого травматизму	61
4.4 Вимоги з охорони праці під час експлуатації енергонасичених тракторів	63
4.5 Висновки	66
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	67
Висновки:	72
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	79

ВСТУП

Актуальність кваліфікаційної роботи. Технічний рівень та енергетичні можливості сучасних тракторів дозволяють виконати їх агрегування з досить широким на сьогоднішній час асортиментом сільськогосподарських машин різного призначення та різних розробників, при роботі агрегатів в різних умовах експлуатації за різної твердості і вологості ґрунту, різного рельєфу поверхні ґрунтів тощо. Це стало можливим завдяки появи енергонасичених тракторів [1].

Ефективна робота енергонасичених тракторів можлива тільки за умови повної завантаженості дизельного двигуна на виконанні технологічних операцій МТА. Реалізувати повне завантаження ДВЗ можливо шляхом підбору швидкісного режиму МТА та відповідного передавального числа трансмісії трактора. Такий підхід дозволить суттєво підвищити паливну економічності машино-тракторного агрегату [2].

Але підібравши раціональні параметри роботи двигуна та трансмісії необхідно також забезпечити тягово-зчіпні властивості рушіїв трактора.

Одним із факторів а саме недостатньою зчіпною вагою трактора неможливо реалізувати необхідне тягове зусилля трактора, що негативно впливає на економічні показники та продуктивність трактора.

Буксування рушії також негативно впливає на структуру ґрунту. Механічний вплив на ґрунт призводить до перетирання його частинок та вивітрювання їх завдяки вітровій ерозії та втраті родючості останнього.

І навпаки за перевищення зчіпної ваги трактора відбувається неефективне використання потужності ДВЗ трактора, переущільнення ґрунту та зниження паливної економічності і продуктивності МТА. Переущільнення ґрунту також негативно впливає на родючість ґрунту [3].

Для можливості вибору, найбільш відповідного поточним умовам, режиму роботи сільськогосподарського агрегату необхідно, в першу чергу, в

реальному часі, мати інформацію про навантажувальний та швидкісний режим роботи двигуна, ступінь і потенціал використання його потужності, та буксування рушіїв трактора, що без ефективних методів і засобів експлуатаційного контролю неможливо. Однак, не менше значення має якість прийнятих оператором рішень щодо зміни режиму роботи машинно-тракторного агрегату (вибір ступеня трансмісії, налаштування частоти обертання колінчастого валу двигуна, встановлення тиску в шинах, навішування на трактор необхідної кількості баластових вантажів).

Вирішити проблему недовантаженості двигуна енергонасичених тракторів можливо шляхом розробки інформаційної системи, що дозволить трактористу в реальному часі здійснювати контроль за поточними параметрами МТА та відповідно інформує про способи досягнень їх оптимальних значень.

Мета роботи та завдання дослідження

Мета кваліфікаційної роботи розробка системи, що в реальному часі інформує тракториста, та пропонує способи підвищення енергоефективності машинно-тракторних агрегатів.

Для вирішення поставленої мети визначено завдання досліджень:

- провести аналіз систем контролю та регулювання потужності дизельного двигуна трактора в процесі виконанні сільськогосподарських робіт;
- виконати теоретичні дослідження засобів контролю швидкості руху та буксування рушіїв МТА.
- за результатами проведеного аналізу та теоретичних положень розробити систему дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.
- експериментально обґрунтувати параметри системи підвищення енергоефективності МТА;
- дати техніко-економічну оцінку впровадження системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.

Об'єкт досліджень. Машино-тракторний агрегат на різних режимах роботи.

Предмет досліджень. Ефективність використання системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи машино-тракторного агрегату на різних режимах та умовах роботи.

Методологія та методи дослідження.

У ході дослідження застосовувалися загальноприйняті наукові принципи та теорії, які використовуються при вирішенні наукових і виробничих завдань. Під час збору даних та аналізу отриманих результатів було застосовано класичні статистичні методи. Вимірювання здійснювались із використанням сучасних методів та сертифікованих засобів контролю. Розрахунки та обробка результатів експериментів виконувались із застосуванням ПОЕМ та спеціалізованого програмного забезпечення.

Експериментальні дослідження проводились в реальних умовах експлуатації згідно з чинними державними стандартами, що регламентують методи випробувань сільськогосподарської техніки.

Новизна дослідження:

– теоретичне та експериментальне обґрунтування нового підходу до визначення енергетичних характеристик машинно-тракторного агрегату на основі даних про тиск у системі газотурбінного наддуву двигуна, буксування рушіїв трактора;

Апробація. За результатами виконаної кваліфікаційної роботи опубліковано в збірнику тез 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 Аналіз використання енергонасичених тракторів

Сільськогосподарські трактори – складні мобільні енергетичні та транспортні засоби, що використовуються для комплексної механізації та автоматизації сільськогосподарського виробництва в складі машино-тракторних агрегатів, а також для перевезення сільськогосподарських вантажів.

Сільськогосподарські трактори повинні відповідати низці вимог, що базуються на науково обґрунтованих експлуатаційних показниках та властивостях. До цих вимог відносяться насамперед забезпечення високої продуктивності та економічності, виконання всього комплексу сільськогосподарських робіт якісно, у найкращі агротехнічні терміни [4].

Існує безліч факторів, що впливають на ефективність сільськогосподарських машин, у тому числі рельєф, тип та стан ґрунту, ступінь засміченості камінням, висота над рівнем моря та розміри поля. [5, 6]. Польові умови можуть включати розміри ділянки, довжину колії, рельєф, засміченість камінням, порізаність перешкод, складність конфігурації, щільність землі, механічний склад, щільність та вологість ґрунту [7, 8]. Всі ці фактори істотно впливають на вихідні показники машинно-тракторного агрегату. Виробники постійно удосконалюють конструкцію та енергонасиченість сільськогосподарських тракторів, щоб забезпечити максимальну ефективність при виконанні всього комплексу сільськогосподарських робіт.

Аналіз протоколів випробувань 87 моделей сільськогосподарських тракторів тягового класу від 14 кН до 6 кН за ДСТУ ISO 789-9:2019 [9] та потужністю двигуна від 60 до 460 кВт.

Дослідженням енергонасичених тракторів закордоном займалася лабораторія Nebraska Tractor Test Laboratory [10], за результатами яких встановлено, що питома енергонасиченість по різних моделях коливається від

1,5 кВт/кН трактор Challenger MT945 до 2,4 кВт/кН трактор John Deere 9530). За звичай у більшості цей показник коливається в межах 1,85-2,2 кВт/кН (рис. 1.1, 1.2) [4].

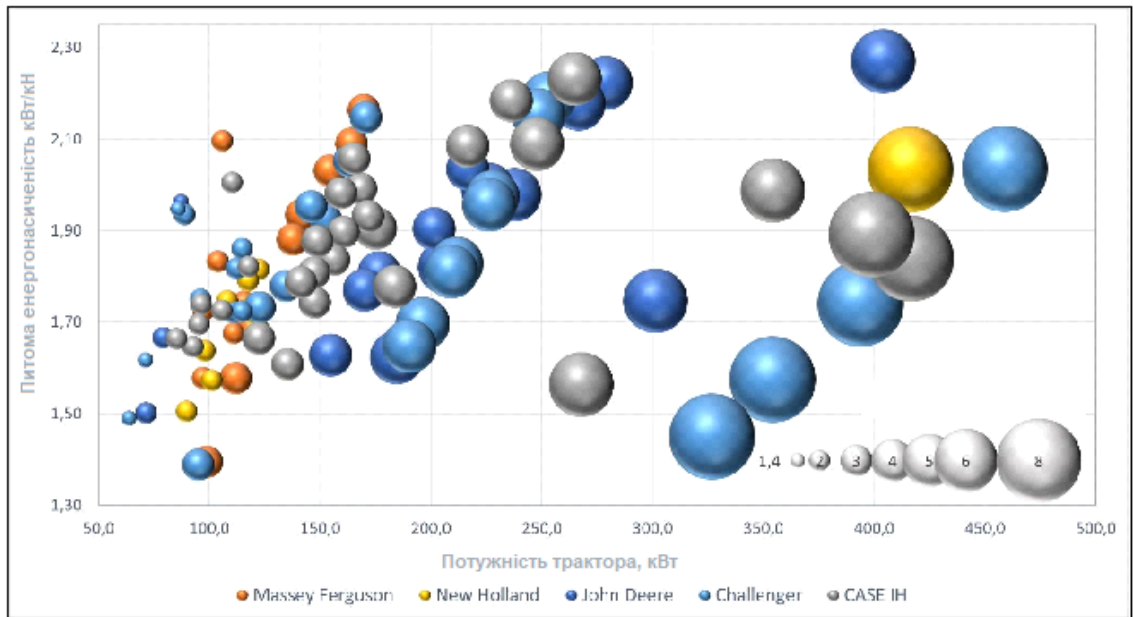


Рисунок 1.1 – Аналіз питомої енергонасиченості тракторів

За результатами аналізу графічної залежності представленої на (рис. 1.1) можна сказати, що досить широко питома енергонасиченість варіюється в межах модельних рядів тракторів одного виробника в рамках одного тягового класу, що пояснюється тим, що в межах однієї серії виробник випускає моделі в декількох варіантах потужності двигуна.

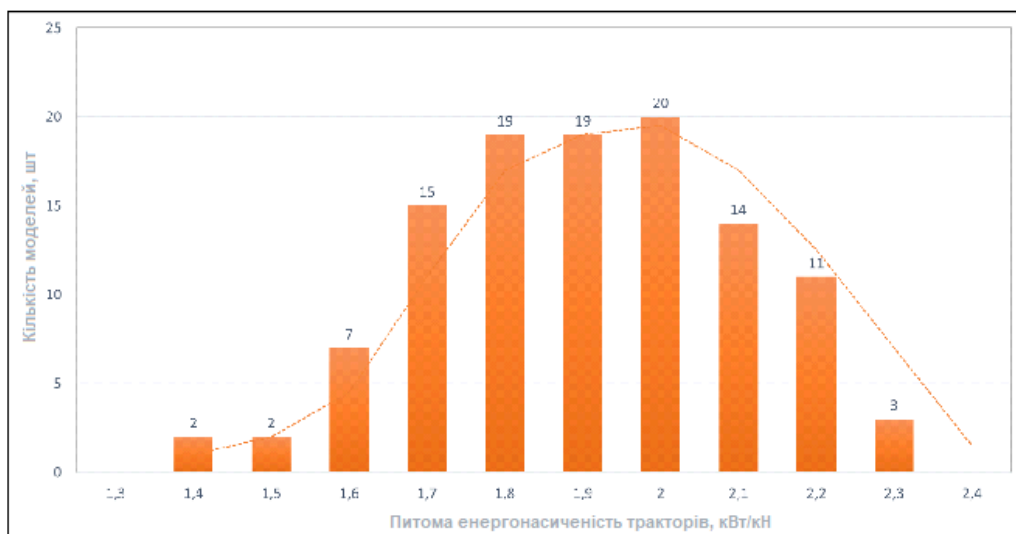


Рисунок 1.2 – Гістограма розподілу тракторів одного модельного ряду

Виробники прагнуть підвищити питому енергонасиченість сільськогосподарських тракторів, щоб забезпечити максимальну продуктивність і універсальність під час виконання різних сільськогосподарських операцій із належною якістю та дотриманням агротехнічних строків, незважаючи на змінні природно-кліматичні та виробничі умови. Однак, як показують дослідження різних учених, надмірно висока енергонасиченість, що перевищує 1,75 кВт/кН, призводить до зниження економічної ефективності виконуваних робіт через недостатню завантаженість тракторного двигуна [11-14].

1.2 Аналіз впливу рушіїв тракторів на ущільнення ґрунту

Тягово-зчіпні якості трактора перш за все залежить від технічного рівня ходової системи трактора, плавності ходу, коефіцієнта зчеплення, надійності, матеріаломісткості, стійкості та керованості [15, 16].

Тягово-зчіпні властивості трактора безпосередньо впливають на продуктивність машинно-тракторного агрегату, паливну економічність які погіршуються вразі несприятливих погодних умов.

Вплив на ґрунт є ключовим показником для трактора, оскільки його ходова частина безпосередньо впливає на ущільнення та родючість ґрунтів і визначає подальші енерговитрати для їх розущільнення. Швидкісний режим та комфортність виконання польових операцій будуть залежати від плавності ходу рушіїв. Також від плавності ходу трактора залежатимуть вібраційні навантаження на елементи машини.

Польовими дослідження ми доведено що щільність ґрунту по колії трактора зростає з 1,15-1,33 г/см³ до 1,41-1,65 г/см³. Ущільнення змінює структуру ґрунтів, внаслідок руйнування, як макро так мікроструктурних частинок ґрунту. Механічний вплив рушіїв підвищує вміст пилу в орному шарі

від 5 до 16 % [17]. А загальна пористість ґрунту знижується від 12 до 22 %, при цьому пористість аерації зменшується на 35-61% [18].

Також ущільнення по коліях, негативно впливає на курсову стійкість МТА викликає постійні його відхилення на, які повинен реагувати тракторист постійно стабілізуючи зміщення машино-тракторного агрегату. Також відбувається нерівномірне закладання насіння на різну глибину, що призводить до нерівномірності сходів та нерівномірне дозрівання культури і відповідно до зниження врожайності.

Перша ознак деградації ґрунту поява у структурі ґрунту блоків великих розмірів та підвищеної щільності, об'єм яких співставний з об'ємом витісненого повітря з ґрунту. Другою ознакою деградації являється «розшарування» ґрунту що перешкоджає проникненню коріння та води до нижніх шарів ґрунту. На рисунку 1.3. [17].

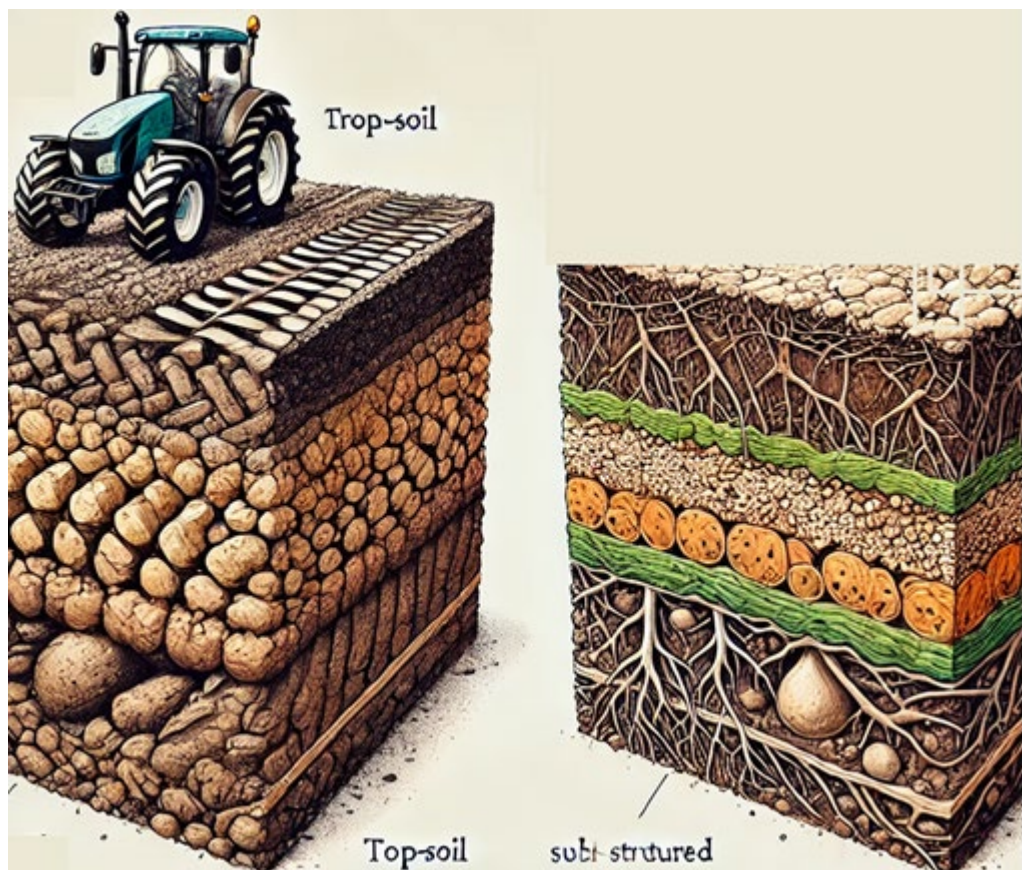


Рисунок 1.3 – Порівняння структур ґрунту в зоні руху техніки та ділянки без механічного впливу рушіїв

Для зменшення ущільнення ґрунту ходовими частинами МТА застосовуються агрономічні, технологічні та конструктивні заходи [15, 16].

Агрономічні заходи – внесення органічних добрив, проведення чизелювання або глибокої оранки.

Технологічні заходи – до технологічних заходів відноситься впровадження колійних технологій де техніка рухається по постійним технологічним коліям з використанням комбінованих та широкозахватних агрегатів, мінімальна обробки ґрунту.

Конструктивні заходи – вдосконалення ходової частини шляхом збільшення опорної плями контакту рушіїв, регулювання тиску в шинах, збільшення зчіпної ваги трактора, покращення роботи ґрунтозачепів, зниження матеріаломісткості елементів ходової частини.

Погіршення зчеплення рушіїв з ґрунтом веде до зниження робочої швидкості та тягових показників трактора, перевитрати пального через підвищене буксування.

Буксування рушіїв δ являється основним із показників, що характеризує тягово-зчіпні властивості трактора, яке можна визначити, як відношення дійсної швидкості трактора до її теоретичного значення.

$$\delta = \left(1 - \frac{v_{\text{факт}}}{v_T}\right) \cdot 100 \quad (1.1)$$

де v_T – теоретична швидкість руху трактора, м/с;

$v_{\text{факт}}$ – фактична швидкість руху, м/с.

За результатами проведених досліджень встановлено граничне значення буксуванням колісних рушіїв знаходиться в межах 10-15%, гусеничних 3-7% за якого робота МТА вважається ще ефективною [19].

Одним із найбільш поширених способів підвищення зчеплення і тягових показників трактора є його баластування тобто збільшення зчіпної ваги за рахунок вантажів розміщених, як варіант на ведучих колесах. Таке рішення дозволяє збільшити силу тяги до 15-20% за рахунок зниження буксування

рушіїв. Даний спосіб являється найпростішим, але в свою чергу необхідно відноситися з пересторогою так, як зайва вага за нормальних умов зчеплення коліс призводить до перевитрати пального.

1.3 Аналіз існуючих систем та методів визначення параметрів роботи МТА

До основних показників роботи МТА можна віднести: потужність машно-тракторного агрегату $N_{мта}$, тяговий опір сільськогосподарських машини R_m , поступальну швидкість руху МТА v , м/с, коефіцієнт буксування рушіїв δ , втрати потужності на буксування N_{δ} , підведена потужність на валу відбору потужності $N_{ВВП}$

Втрати потужності машинно-тракторним агрегатом під час виконання технологічних операцій, визначимо за рівнянням

$$N_{мта} = N_{см} + N_k, \quad (1.2)$$

де $N_{см}$ – втрати потужності на переміщення (приведення в дію) сільськогосподарської машини, кВт;

N_k – втрати потужності на пересування трактора, кВт.

Контроль тягового опору R_m , H , що створюють причіпні сільськогосподарські машин можна здійснювати за допомогою динамометричної ланки. Випадку агрегування начіпних і напівначіпних машин на навісний механізм встановлюємо датчики навантаження (тензодатчики) де за допомогою перетворювача та бортового комп'ютера можливо спостерігати та реєструвати значення опору в реальному часі. Кінематичні схеми таких пристроїв наведено на рисунку 1.4 та 1.5.

Завдяки чотири ланковому ABCD маятниковому ланцюгу (рис. 1.4) система здійснює досить точні вимірювання. До складу вимірювальної системи

входить остов до якого прикріплено кронштейн гідроциліндра 2 з рухомим замком 5 та сережкою аналогового перетворювача зміни сили 6, робоче знаряддя 10 (с.г. машина) кріпиться до трактора за допомогою навіски 9.

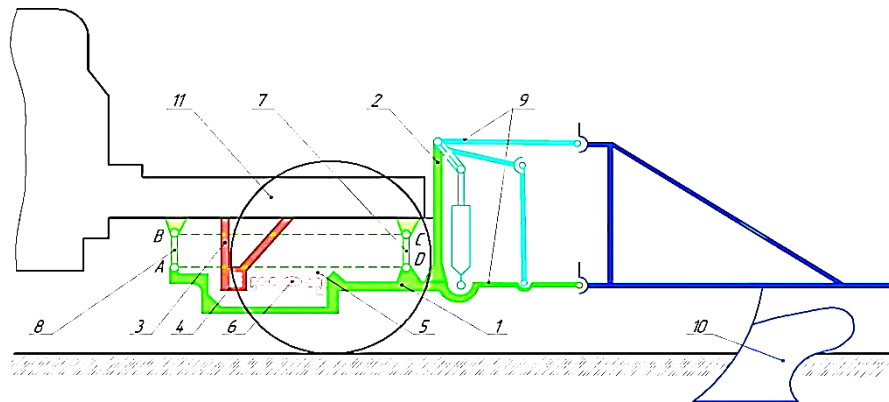


Рисунок 1.4 – Пристрій для вимірювання тягового опору машини (з шарнірно-зчленованою рамою трактора)

1 – остов навіски; 2 – кронштейн гідроциліндра; 3 – механізм зчіпки; 4 – балка;
5 – рухомий замок; 6 – аналоговий перетворювач; 7, 8 – маятниковий вузол;
9 – навіска; 10 – робоче знаряддя (с.г. машина); 11 – шарнірна напів-рама

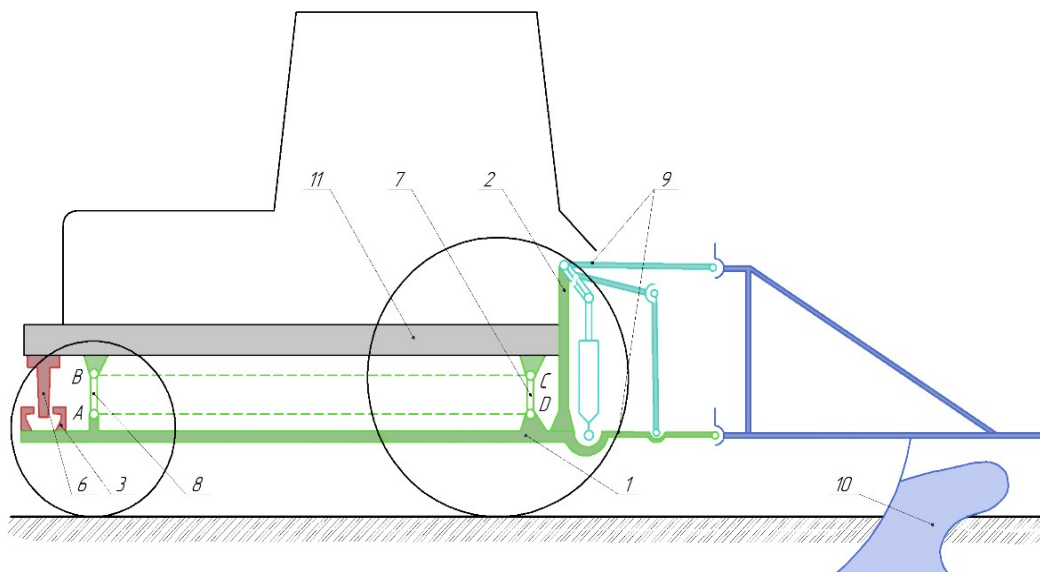


Рисунок 1.5 – Пристрій для вимірювання тягового опору машини (з класичною рамою трактора)

1 – основа; 2 – кронштейн гідроциліндра; 3 – зчіпка;
6 – аналоговий перетворювач; 7, 8 – вузол маятниковий; 9 – навіска;
10 – робоче знаряддя (с.г. машина); 11 – рамний остов

Теоретичне значення швидкості руху машино-тракторного агрегату v , м/с, визначимо за формулою:

$$v = S/t, \text{ м/с} \quad (1.3)$$

де S – довжина гону, м;

t – час досліду, с.

Для проведення досліджень швидкості МТА ділянку розбивають на необхідної довжини гон. Визначивши теоретичну та дійсну швидкість МТА згідно (1.1) знаходимо коефіцієнт буксування рушіїв.

Також коефіцієнт буксування можливо визначити використовуючи датчики кута обертання ведучих коліс (рис. 1.6)



Рисунок 1.6 – Визначення буксування за допомогою датчика кута обертання ведучих коліс трактора

Тоді коефіцієнт буксування δ визначимо за рівнянням:

$$\delta = \frac{1}{n_{B,P}} \sum_{i=1}^{n_{B,P}} \left(1 - K_i \frac{l_s}{l_i}\right) \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

де $n_{в.р}$ – кількість ведучих коліс;

I_s – кількість імпульсів датчика кута обертання колеса, од.;

I_i – кількість імпульсів датчика i -го ведучого колеса, од.;

K_i – коефіцієнт i -го ведучого колеса.

Використовуючи датчик-перетворювач крутного моменту на валу відбору потужності [20] в подальшому ВВП (рис. 1.7) визначимо значення потужності на ВВП за формулою:

$$N_{ВВП} = 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot M_{ВВП} \cdot n_{ВВП} \quad (1.5)$$

де $M_{ВВП}$ – крутний момент на валу відбору потужності, Нм;

$n_{ВВП}$ – частота обертання ВВП, $хв^{-1}$.

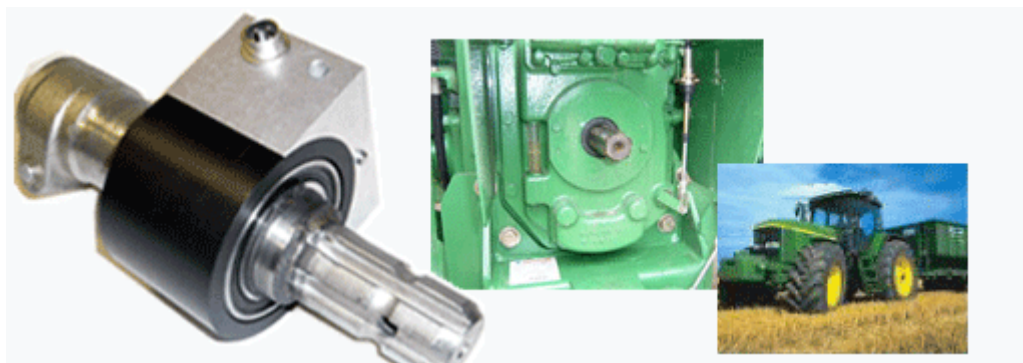


Рисунок 1.7 – Датчик-перетворювач модель РТО- 425

Перевагою розглянутого датчика являється безконтактна передача інформації на бортовий комп'ютер трактора та послідуєчий її аналіз. Така система забезпечує швидкий моніторинг параметрів ВВП та аналіз його роботи.

За допомогою розглянутого датчика можна здійснювати також контроль режиму роботи гідравлічної системи трактора встановивши його на привід насоса гідросистеми.

Ще одним із ключових параметрів, що необхідно контролювати являється годинна G_T та питома g_e витрата палива

Годину витрату палива визначаємо дослідним шляхом використавши дані двох потокового витратоміра розробленого на кафедрі ТСГМ (рис. 1.8) та підставивши їх значення в рівняння:

$$G_T = 3.6 \cdot \frac{(V_1 - V_2) \cdot \rho}{t}, \text{ кг/год} \quad (1.6)$$

де V_1, V_2 – об'єм палива, що пройшов по магістралі подачі та зливу палива за час досліду, см^3 ;

ρ – щільність палива за стандартної температури, г/см^3 ;

t – час виміру, с.



Рисунок 1.8 – Витратомір палива ПП-260

1 – DFM датчик витрати палива; 2 – блок керування та реєстрації даних витратоміра; 3 – нагрівач

Існує два варіанти вимірювання витрати палива використовуючи одно потокові витратоміри та двох потокові витратоміри. В першому випадку одно потоковий витратомір 10 розміщується в магістралі розрідження 8 перед підкачувальним насосом 3 (рис. 1.9) стандартної системи живлення дизеля, але при цьому вимірювання будуть дещо не точними так як частина палива не надійде до двигуна, а повернеться по дренажній лінії 9 до підкачувального насоса 3.

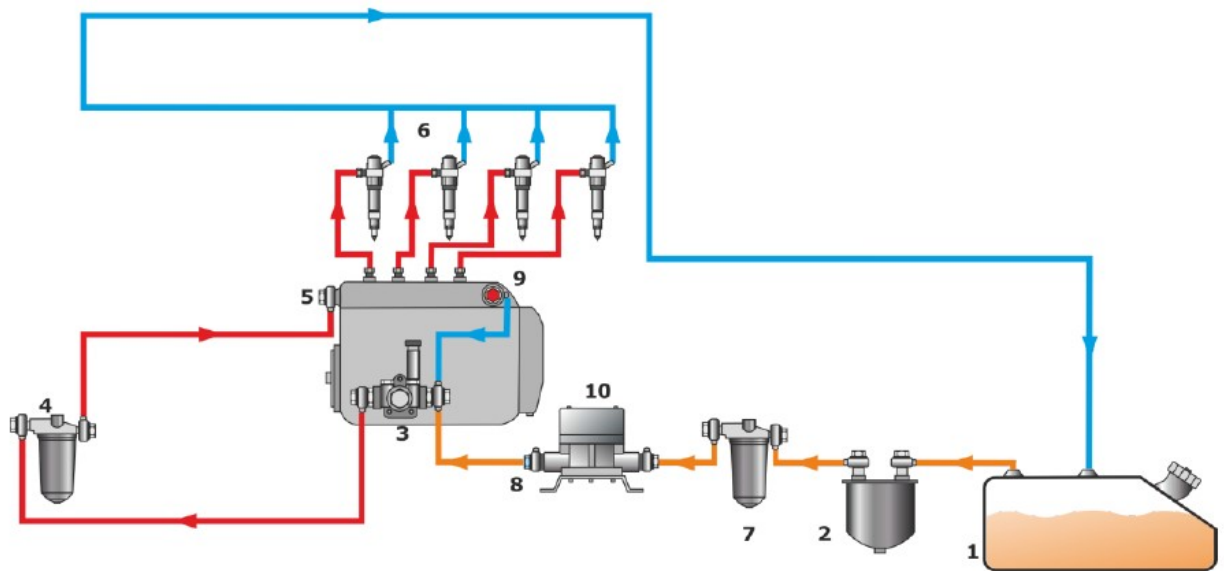


Рисунок 1.9 – Розміщення витратоміра в лінії розрідження системи живлення дизеля

1 – бак для дизеля; 2 – фільтр відстійник; 3 – підкачувальний насос;
 4 – фільтр тонкої очистки дизеля; 5 – ПНВТ паливний насос високого тиску;
 6 – розпилювачі (форсунки); 7 – фільтр грубої очистки; 8 – магістраль низького тиску (розрідження)

Покращити точність вимірювання можливо використовуючи другий варіант вимірювання палива за допомогою диференціального двох потокового витратоміра (рис. 1.10). Вимірювання палива здійснюється, як в магістралі

подачі рідини так і дренажу (зливу) по якій не використане паливо повертається до паливного баку.

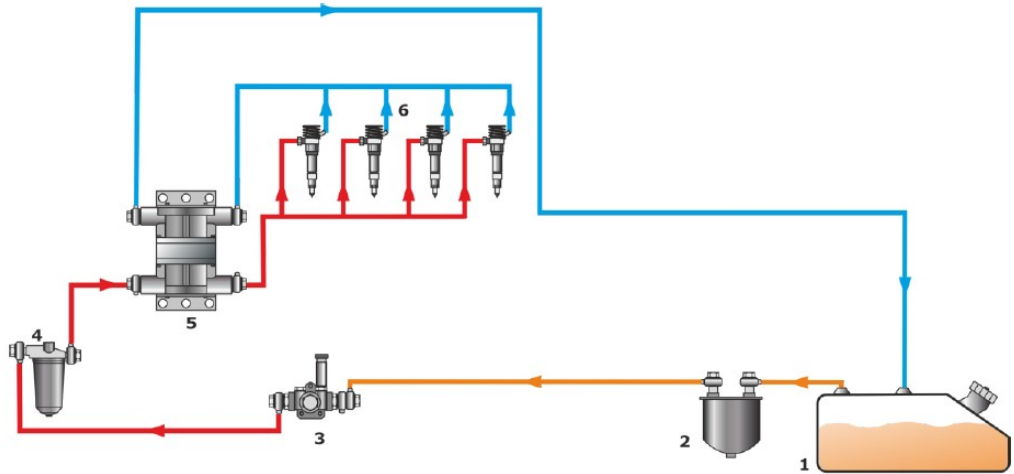


Рисунок 1.10 – Розміщення двох поточного витратоміра в лінії подачі та зливу палива системи живлення дизеля

1 – бак для дизеля; 2 – фільтр відстійник; 3 – підкачувальний насос; 4 – фільтр тонкої очистки дизеля; 5 – витратомір; 6 – дизельні насос-форсунки;

На рисунку 1.11 представлено варіант розміщення двох потокового витратоміра в системі «Common Rail» з використання насоса високого тиску 5.

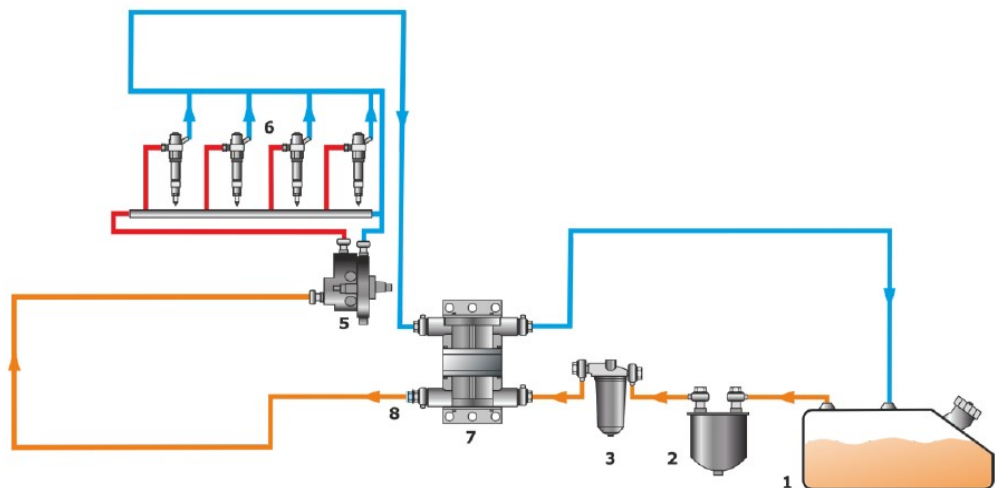


Рисунок 1.11 – Розміщення двох поточного витратоміра в лінії подачі та зливу палива системи живлення типу «Common Rail»

1 –бак; 2 – фільтр відстійник; 3 – елемент тонкої очистки дизеля; 5 – ПНВТ; 6 – розпилювачі (форсунки); 7 – двох потоковий витратомір; 8 – клапан зворотній

За результатами проведеного аналізу можна відокремити три основні метода контролю та визначення основних параметрів роботи машино-тракторного-агрегату.

1) Перший метод тензометричний дозволяє досить оперативно контролювати проводити аналіз та накопичувати дані по зміні показників тягового та силового балансів прямим виміром. Завдяки своїй точності даний метод отримав найбільше поширення в засобах контролю та вимірювання параметрів МТА. Завдяки миттєвим вимірюванням параметрів тракторист може отримати дані в реальному часі.

2) Другий метод називається буксирування. За допомогою даного методу визначається тяговий опір між тягачем та агрегатом (с.г. машиною), що з'єднані через вимірювальну ланку. Завдяки своїй простоті найбільше поширення метод отримав при проведенні польових досліджень, але в зв'язку з низькою точністю в порівнянні з тензометричним методом широкого поширення не отримав.

3) За допомогою третього паливного метода визначаємо показники витрати пального в процесі роботи МТА. За допомогою даного методу визначаємо середнє значення потужності ДВЗ на виконанні технологічної операції МТА врахувавши фактичну витрату палива машино-тракторним агрегатом.

1.4 Висновки

1. Поширення енергонасичених тракторів за останні роки в технологічному процесі механізації вирощування сільськогосподарських культур вимагає ефективного використання тракторів з повним завантаження ДВЗ та реалізацією максимальних тягових зусиль. Вирішити питання

завантаження ДВЗ можливо шляхом регулювання частоти обертання колінчастого валу ДВЗ та підбору відповідних передаточних чисел трансмісії. Підтримання раціональних тягових показників і забезпечується за баластування та регулювання тиску коліс трактора.

2. В конструкції сучасних тракторів передбачено системи контролю та підтримання максимальних тягово-зчіпних показників роботи МТА, шляхом використання високодискретних датчиків силового позиціонування робочих органів агрегату відносно навіски трактора, але на більшості вітчизняної техніки такі системи відсутні, що призводить до перевитрати палива та не дозавантаження МТА

3. В даний час відповідальність за підтримання ефективного режиму роботи МТА покладається на тракториста, що обмежує ефективність використання МТА.

4. Ефективне визначення експлуатаційних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату неможливе без використання сучасних методів і засобів контролю. Використання існуючих методів і засобів, які застосовуються для визначення енергетичних параметрів МТА під час проведення дослідження і випробування с.г. техніки, мають високу точність, але обмежені в роботі за тривалого використання.

5. Для того, щоб обрати найбільш енергоефективну конфігурацію трактора і режим роботи агрегату, оператор повинен володіти високим рівнем знань, а також мати ґрунтовні математичні та аналітичні навички. Відтак, якість отриманих результатів значною мірою залежить від суб'єктивних факторів, таких як компетентність оператора, його обізнаність і досвід.

1.5 Мета і завдання досліджень

Мета кваліфікаційної роботи розробка системи, що в реальному часі інформує тракториста, та пропонує способи підвищення енергоефективності машинно-тракторних агрегатів.

Для вирішення поставленої мети визначено завдання досліджень:

- провести аналіз систем контролю та регулювання потужності дизельного двигуна трактора в процесі виконанні сільськогосподарських робіт;
- виконати теоретичні дослідження засобів контролю швидкості руху та буксування рушіїв МТА.
- за результатами проведеного аналізу та теоретичних положень розробити систему дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.
- експериментально обґрунтувати параметри системи підвищення енергоефективності МТА;
- дати техніко-економічну оцінку впровадження системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Теоретичне обґрунтування процесу контролю витрати потужності двигуна МТА

Розвиток тягової концепції рухається в напрямку збільшення енергетичної складової МТА. Все більше з'являється тракторів з потужністю ДВЗ, яка наближається до відмітки в 1000 кінських сил. Як і раніше до таких потужних енергетичних установок ставляться вимоги з збільшення їхнього ККД, зниження питомих показників з витрати палива, зниженням димності та токсичності відпрацьованих газів, підвищенням показників надійності і довговічності. Для вирішення поставлених вимог до 90 % сучасних енергонасичених дизелів обладнуються газотурбінним компресором для наддуву стиснутого повіт до циліндрів, що покращує процес окислення пального та повноту його згорання рис. 2.1 [21].

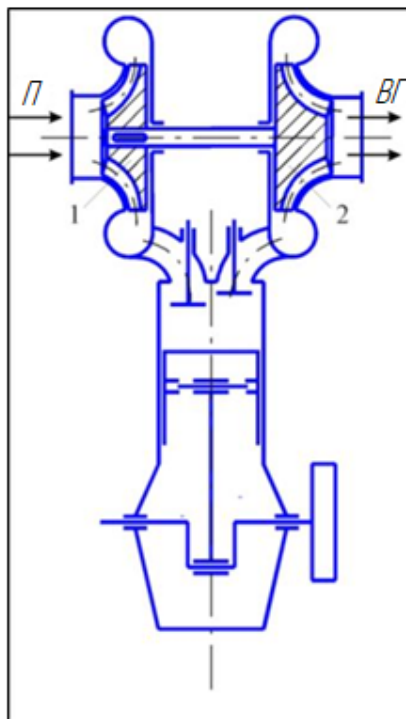


Рисунок 2.1 – Дизель з відцентровим компресором:

П – повітря; ВГ – відпрацьовані гази; 1 – насосне колесо; 2 – турбінне колесо

Залежність між компресором і ДВЗ встановлюється тільки зв'язок через відпрацьований газ завдяки його енергетичній складовій, тому потужність турбіни прирівнюється до потужності на привід компресора. Зв'язок втрати тиску в турбіні і підвищення тиску в відцентровому компресорі можна описати рівнянням [22]

$$P_k^{\frac{k-1}{k}} = 1 + \beta \cdot \tau \left[1 - \left(\frac{1}{P_T} \right)^{\frac{k_T-1}{k_T}} \right], \quad (2.1)$$

де k, k_T – значення теплоємності відповідно свіжого заряду і відпрацьованих газів;

τ – тактність дизеля;

β – значення параметра, який залежить від теплофізичних властивостей k і газової постійної R свіжого заряду і відпрацьованих газів;

Значення тиску наддуву p_k , безпосередньо буде впливати на один із основних показників ефективної роботи дизеля а саме на його середній ефективний тиск p_e , МПа. Значення якого можна визначити як відношення ефективної роботи до робочого об'єма циліндра:

$$p_e = \frac{W_e}{V_h} \quad (2.2)$$

де W_e – значення ефективної роботи за циклу, Дж;

V_h – робочий об'єм циліндра дизеля см³;

Визначивши середній ефективний тиск значення крутного моменту дизеля M_e визначимо за рівнянням:

$$M_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h}{0,314 \cdot \tau_d}, \quad (2.3)$$

де i – кількість циліндрів дизеля.

Значення потужності дизеля визначимо через зв'язок значення середнього ефективного тиску та крутного моменту дизеля за рівнянням:

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h \cdot n_e}{0,3 \cdot \tau_d} = \frac{M_e \cdot n_e}{9550}, \quad (2.4)$$

де n_e – частота обертання колінчастого валу двигуна.

Оскільки, з математичної точки зору, для даного двигуна, середній ефективний тиск можна представити як емпіричну функцію тиску наддуву p_k (з фізичної точки зору, напрямок зв'язку є протилежним), з урахуванням формул (2.1), (2.3) та (2.4) функція залежності основних параметрів дизеля від тиску наддуву компресора отримає вигляд:

$$p_e = f(p_k), \quad (2.5)$$

$$M_e = f(p_e) = f(p_k), \quad (2.6)$$

$$N_e = f(M_e, n_e) = f(p_e, n_e) = f(p_k, n_e), \quad (2.7)$$

Отримані функції доводять наступне, що визначивши значення тиску наддуву ми можемо вийти на поточні значення експлуатаційних показників, крутного моменту, потужності, питомої та годинної витрати палива (рис. 2.2).

Проаналізувавши рівняння (2.2 – 2.4), значення середнього ефективного тиску вказує лише на ступінь його форсованості. Значення середнього тиску для однотипних двигунів з різною потужністю будуть лежати в одному діапазоні. Так значення середнього ефективного тиску поршневих дизелів різної потужності знаходиться в межах:

Дизелі без наддува, МПа	0,65 – 0,85
Дизелі з наддувом, МПа	до 2,0

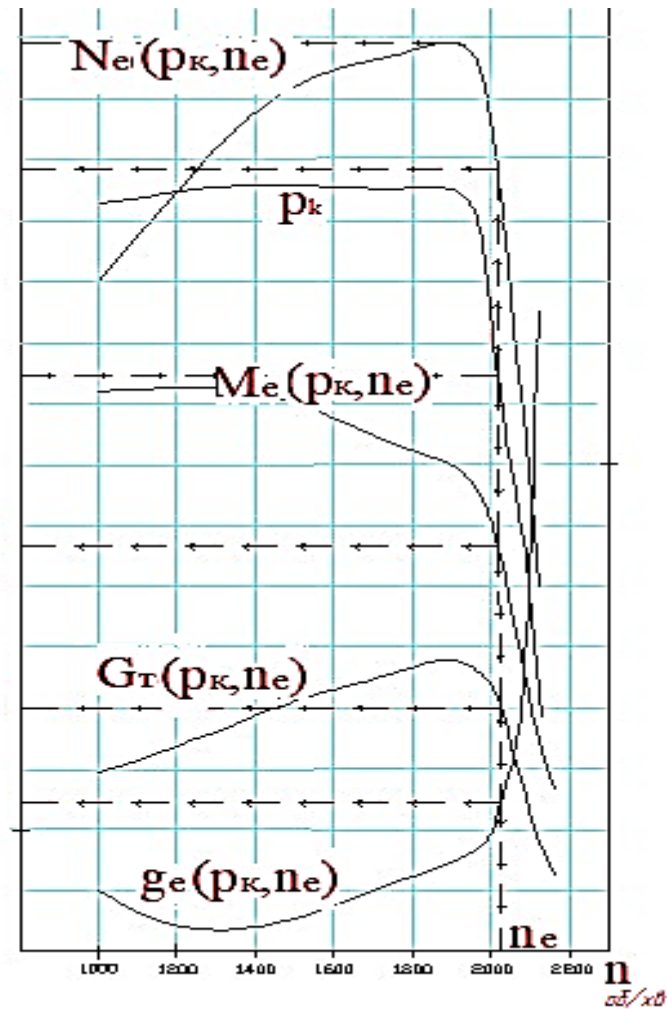


Рисунок 2.2 – Визначення основних експлуатаційних показників дизеля за поточним значенням тиску наддуву

Ще одним показником енергетичного потенціалу роботи двигуна є коефіцієнт використання потужності, за будь-якого положення регулятора обертів двигуна, його можна визначити за рівнянням:

$$p_e = f(p_k), \quad (2.8)$$

де $N_{e(\text{макс})}$ – максимальна ефективна потужність дизеля, кВт;

$N_{e(\text{пот})}$ – поточна ефективна потужність дизеля, кВт;

$n_{e(\text{пот})}$ – поточна частота обертання колінчастого валу дизеля, об/хв;

Значення ступені нерівномірності регулятора частоти обертання Δp , визначимо за рівнянням:

$$M_e = f(p_e) = f(p_k), \quad (2.9)$$

де $n_{x\text{max}}$ – максимальна частота обертання холостого ходу, об/хв;

n_p – частота обертання КВ, ДВЗ на регуляторній ділянці швидкісної характеристики, об/хв.

Тоді значення коефіцієнт використання потужності двигуна за поточними значеннями тиску компресора $p_{k(\text{пот})}$ та частоти обертання колінчастого валу ДВЗ $n_{e(\text{пот})}$, визначимо за формулою:

$$K_N = \frac{p_{k(\text{пот})} - p_{k(\text{мін})} \cdot (n_{e(\text{пот})} \cdot \Delta p)}{p_{k(\text{макс})} \cdot (n_{e(\text{пот})} \cdot \Delta p) - p_{k(\text{мін})} \cdot (n_{e(\text{пот})} \cdot \Delta p)}, \quad (2.10)$$

де $p_{k(\text{макс})}$, $n_{e(\text{пот})}$, Δp – тиск компресора при максимальній потужності, що розвивається двигуном на регуляторній ділянці регуляторної характеристики при поточному положенні органу управління регулятором частоти обертання колінчастого валу двигуна, кПа;

$p_{k(\text{мін})}$, $n_{e(\text{пот})}$, Δp – тиск компресора на холостому режимі роботи двигуна ($N_e = 0$) по регуляторній ділянці регуляторної характеристики при поточному положенні органу управління регулятором частоти обертання колінчастого валу двигуна, кПа;

Порівнявши методику визначення експлуатаційних показників ДВЗ за витратою палива наведену в першому розділі, розроблена методика визначення показників роботи ДВЗ за тиском наддуву компресора має такі переваги:

- швидке визначення поточних показників цільових параметрів ДВЗ;

- запропонована методика не потребує внесення змін в будову ДВЗ, тобто ми не впливаємо на його експлуатаційні показники;

- визначення параметра тиску наддуву можна здійснювати використавши лише один манометр з одним діапазоном вимірювань.

На наступному етапі теоретичних досліджень визначимо точність вимірювань за допомогою запропонованої методики. Для цього скористаємося рівнянням:

$$\Delta K_N = \sqrt{\left(\frac{1}{p_{к(макс)} - p_{к(мін)}} \cdot \Delta p\right)^2 + \left(\frac{p_{к(пот)}}{(p_{к(макс)} - p_{к(мін)})^2} \cdot \Delta p\right)^2 + \left(\left(\frac{p_{к(пот)} - p_{к(мін)}}{(p_{к(макс)} - p_{к(мін)})^2} - \frac{1}{p_{к(макс)} - p_{к(мін)}}\right) \cdot \Delta p\right)^2}, \quad (2.11)$$

де Δp – значення абсолютної похибки засобу вимірювання, кПа;

Для спрощення задачі використаємо контурну діаграму (рис 2.3). Діаграма дозволяє, перевірити відповідність характеристик вимірювання манометра існуючим вимогам, що стосуються точності визначення K_N , та порівняти отримані значення згідно методики з відомими.

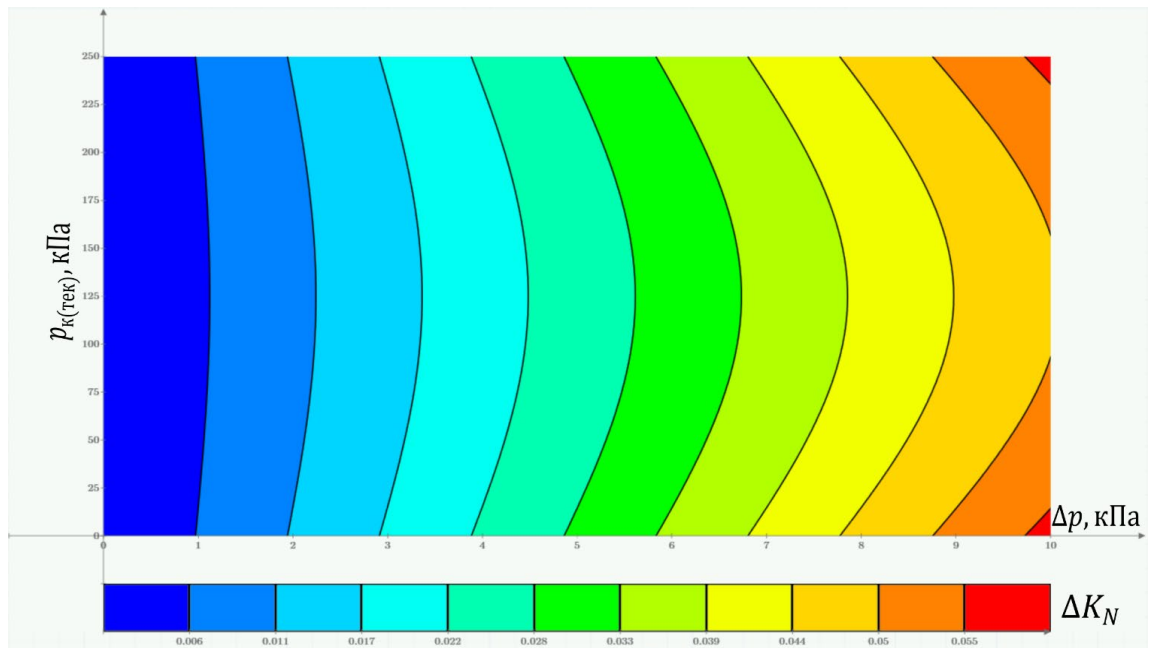


Рисунок 2.3 –Графічна залежність параметрів $p_{к(пот)}$, Δp і ΔK_N

2.2 Теоретичне дослідження буксування колісних рушіїв трактора

Буксування рушіїв являється основним показником, що впливатиме на ефективність роботи МТА в складі колісного трактора та знарядь, а саме на його тягово-зчіпні властивості. Використовуючи давачі кута повороту колісних рушіїв згідно (рис. 1.6) значення буксування можна контролювати в реальному часі [23]. Буксування кожного з ведучих коліс δ_i , де розміщено давачі визначається за рівнянням:

$$\delta_i = \left(1 - \frac{n'_{ki}}{n_{ki}}\right) \cdot 10^2 \quad (2.12)$$

З використанням шляховимірювача:

$$\delta_i = \left(1 - K_i \frac{I_s}{I_i}\right) \cdot 10^2 \quad (2.13)$$

де I_s – кількість імпульсів давача шляховимірювача, од.;

I_i – кількість імпульсів давача i -го колеса, од.;

n_{ki} , n'_{ki} – частота обертання колеса трактора відповідно без навантаження та з навантаженням, хв^{-1} ;

K_i – коефіцієнт i -го колеса, (з нульовим буксуванням).

Значення загального коефіцієнта буксування трактора визначимо за рівнянням:

$$\delta = \frac{1}{n_{в.р.}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{в.р.}} \delta_i = \frac{1}{n_{в.р.}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{в.р.}} \left(1 - K_i \frac{I_s}{I_i}\right) \cdot 10^2, \quad (2.14)$$

де $n_{в.р.}$ – кількість ведучих коліс трактора, од.

Описана методика визначення буксування колісних рушіїв має досить високу точність, але не набула широкого поширення при звичайній експлуатації МТА [23]. Але існує більш простий метод теоретичного визначення буксування через значення частоти обертання колінчастого валу ДВЗ. За даного методу буксування ведучих коліс визначається за формулою:

$$\delta = \left(1 - \frac{v_{\text{факт}}}{k' \cdot n_e} \right) \cdot 10^2, \quad (2.15)$$

де n_e - значення частоти обертання колінчастого валу КВ дизеля, с^{-1} ;

k' – коефіцієнт, який визначаємо за формулою:

$$k' = \frac{v'_{\text{факт}}}{n'_e}, \quad (2.16)$$

Використовуючи непрямий метод оцінки рівня буксування через вимірювання частоти обертання КВ двигуна являється більш доступним, оскільки він не вимагає використання дорогих датчиків кута повороту ведучих коліс.

Для оцінки методів на основі емпіричних даних значення буксування δ_i кожного ведучого колеса трактора ХТЗ-243К з колісною формулою 4К4. Дослідження проводилися на 2 передачі підвищеного режиму роботи силової передачі. Вимірювання проводилися враховуючи показники швидкості руху МТА, навантаження на гаку R_T , кН навісного механізму трактора, частоти КВ ДВЗ. Результати досліджень наведено в таблиці 2.1

Використовуючи формули (2.13) та (2.15) розраховано значення буксування $\delta_{(ф.3)}$ та $\delta_{(ф.5)}$.

Таблиця 2.1 – Результати теоретичних досліджень тягових показників трактора ХТЗ-243К

№ досліду	Гачкове навантаж R_T , кН	Кількість обертів КВ n_e, XB^{-1}	Швидкість $v_{\text{факт}}$, м/с	Буксування коліс:			
				передні		задні	
				праве $\delta_1, \%$	ліве $\delta_2, \%$	праве $\delta_3, \%$	ліве $\delta_4, \%$
1	0,09	2180	2,2	0	0	0	0
2	30,4	2160	2,12	2,12	2,4	2,1	1,65
3	41,7	2152	2,1	3,18	2,14	2,35	1,91
4	55,8	2144	2,08	3,25	3,92	3,35	3,35
5	58,55	2140	2,06	3,48	4,16	3,93	3,49
6	80,2	2116	1,98	7,21	6,87	5,83	7,55
7	81,4	2112	1,97	7,05	9,01	6,14	9,53
8	84,12	2104	1,94	11,39	7,11	10,86	7,92
9	86,8	2092	1,9	13,11	9,25	12,5	9,98
10	92,7	2044	1,81	13,5	13,7	12,43	14,48
11	93,9	2032	1,75	19,99	12,52	16,7	15,9

Використовуючи відомі лінійні та поліноміальні рівняння регресії визначення буксування рушіїв, розроблені для промислових тракторів [24] дозволяють досить точно визначити буксування за максимального тягового ККД, однак в інших точках тягової характеристики має значні відхилення від дійсних значень отриманих в результаті експерименту.

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}\right)^a, \quad (2.17)$$

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}\right)^{0,1\left(1 + \frac{\varphi}{\varphi_{\max}}\right)}, \quad (2.18)$$

де φ і φ_{\max} – значення питомої сили тяги на ведучих колесах;

a – значення емпіричного коефіцієнта.

Відсутність універсальності та достатньої точності рівнянь не задовольняє наші потреби, тому використання їх виявилось непридатним.

Ще один перспективний метод визначення основних тягових показників МТА запропонував В.І. Саяпін [26], який запропонував підбирати емпіричні функції враховуючи діапазон тягового зусилля:

$$\begin{cases} \delta = a\varphi & \text{при } \varphi \leq 0,5 \\ \delta = b\varphi^c + m & \text{при } \varphi \geq 0,5 \end{cases} \quad (2.19)$$

де a, b, c, m – емпіричні коефіцієнти.

Обравши за основу рівняння (2.19) використаємо метод LOESS (locally estimated scatterplot smoothing – метод локальних поліноміальних регресій) [27], для отримання регресійної моделі. Використавши запропонований метод отримано регресійну модель:

$$\delta = f(R_T) := \text{interp}[\text{LOESS}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \text{span}), \mathbf{X}, \mathbf{Y}, R_T], \quad (2.20)$$

де X та Y – масив фактичних значень аргументу та масив відповідних фактичних значень функції;

span – параметр, що визначає відсоткову частку загальної кількості точок у вікні зважувань навколо кожної точки даних, такий що

$$1 < \text{span} \cdot n < 2n, \quad (2.21)$$

де n – кількість ступенів свободи регресійної вибірки.

Результати досліджень буксування з використанням запропонованої регресійної моделі наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Регресійна модель буксування ведучих рушіїв трактора ХТЗ-243

№ експ. точки	$\delta = f(R_T), \%$	$\delta_{(\phi.3)} = \frac{1}{n_{\text{в.д.}}} \cdot \sum_{i=1}^{n_{\text{в.д.}}} \delta_i, \%$	$\delta_{(\phi.5)} = \left(1 - \frac{v_{\text{факт}}}{k' \cdot n_t}\right) \cdot 10^2, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{(\phi.3)_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{(\phi.5)_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{1_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{2_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{3_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$	$\Delta_i = \sqrt{(\delta_{4_i} - f(R_{T_i}))^2}, \%$
1	0,092	0,00	-0,011	0,092	0,11	0,092	0,092	0,092	0,092
2	1,51	2,021	2,333	0,523	0,98	0,51	0,84	0,56	0,14
3	2,33	2,39	3,09	0,06	0,89	0,85	0,21	0,02	0,44
4	3,38	3,46	4,14	0,09	0,83	0,15	0,54	0,05	0,05
5	3,69	3,76	4,54	0,08	0,88	0,23	0,47	0,24	0,22
6	7,65	6,85	7,61	0,81	0,38	0,46	0,8	1,84	0,12
7	8,21	7,92	8,67	0,28	0,03	1,19	0,8	2,10	1,32
8	9,41	9,31	10,22	0,13	0,04	1,96	2,33	1,43	1,52
9	10,86	11,19	11,96	0,34	0,04	2,23	1,66	1,62	0,87
10	14,39	13,51	14,75	0,88	1,35	0,98	0,68	1,99	0,09
11	15,26	16,26	17,87	1,02	0,11	4,74	2,74	1,42	0,62
$\Delta = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{(\delta_i - f(R_{T_i}))^2}, \%$				0,139	0,227	0,352	0,332	0,409	0,223

З таблиці 2.2 і рисунку 2.4 випливає, що розрахунок буксування за вимірними значеннями фактичної швидкості та частоти обертання колінчастого валу двигуна відповідно до формули (2.15), призводить до більшої середньої помилки в абсолютному вираженні порівняно з загальноприйнятим методом визначення. В той же час чітко видно, що при скороченні кількості вимірюваних параметрів при базовому методі (установка датчиків на один або навіть два провідні рушії), очікувана середня помилка істотно перевищить помилку запропонованого альтернативного методу. А відносна невизначеність 1,51 % у цільовому діапазоні абсолютних значень буксування 8-16 % у поєднанні з технічною доступністю дозволяють віднести запропонований підхід до пріоритетних напрямків у розвитку методів, що дозволяють забезпечувати контроль буксування при тривалій експлуатації тракторів у реальних умовах.

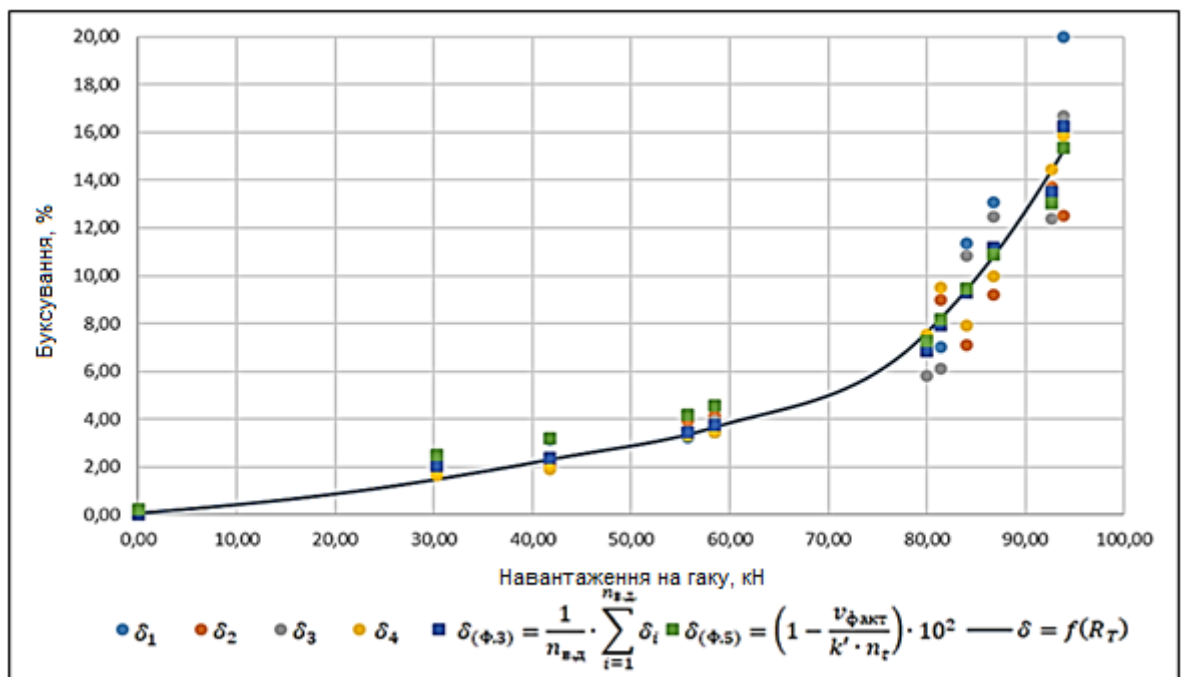


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація регресійної моделі буксування ведучих коліс трактора ХТЗ-243К

Використання запропонованого методу дозволяє спростити визначення буксування колісних та інших рушіїв в процесі експлуатації МТА, але не

повністю вирішує питання спрощення визначення фактичної швидкості рушії по коліям $v_{\text{факт}}$ і $v_{\text{факт}'}$ з додатковим використанням шляховимірника.

Тому на наступному етапі досліджень необхідно вирішити питання спрощення процесу визначення дійсної швидкості рушіїв. Для цього скористаємося можливістю комплексної електронно-технічної системи GNSS (global navigation satellite system), як приклад GPS-навігація, яка використовує супутникову навігацію та контрольні точки на базі господарства для точного позиціонування техніки, напрямків її переміщення та швидкісного режиму. Використання GNSS системи дозволяє визначати швидкість за двома методами, диференціальним і точковим.

Диференціальний метод завдяки опорним станціям забезпечує максимальну точність вимірювань, але в зв'язку з високою вартістю обладнання метод не отримав поширення.

Точковий метод завдяки використанню не дорогих одночастотних приймачів отримали більше поширення, проте точність такого метода дещо менша ніж у попереднього.

При визначенні буксування за формулою (2.12), вимірюється лише кількість обертів ведучих колісних рушіїв $n_{k'}$ і n_k значення точності вимірювань визначимо за рівнянням:

$$\Delta\delta_{\text{ISO}} = \sqrt{\left(\frac{10^2}{\bar{n}_k} \cdot \Delta n_{k'}\right)^2 + \left(\frac{\bar{n}_{k'} \cdot 10^2}{\bar{n}_k^2} \cdot \Delta n_k\right)^2}, \quad (2.22)$$

де $\bar{n}_{k'}$ і $\Delta n_{k'}$ – значення відповідно математичного очікування та абсолютної похибки вимірювання обертів колісних рушіїв без навантаження трактора, од.;

\bar{n}_k і Δn_k – значення відповідно математичного очікування і абсолютної похибки вимірювання оборотів колісного рушія з навантаженням на гаку трактора, од.

Значення точності вимірювання з використанням метода точкового позиціонування GNSS рівняння (2.15) отримає вигляд:

$$\delta_{PP} = \left(1 - \frac{S_{PP}}{n_{e(S)} \cdot k'_S} \right) \cdot 10^2, \quad (2.23)$$

де S_{PP} – значення фактичного шляху, що пройшов трактор, м;

$n_{e(S)}$ – значення кількості обертів КВ за період проходження шляху S_{PP} ,

од.;

k'_S – значення коефіцієнту пройденого шляху, без навантаження (з нульовим буксуванням).

Значення нормального прогину шини колісного рушія f визначимо за рівнянням:

$$f = \frac{C_2 \cdot G_K}{2 \cdot (p_W + p_0)} + \sqrt{\left[\frac{C_2 \cdot G_K}{2 \cdot (p_W + p_0)} \right]^2 + C_1 \cdot G_K}, \quad (2.24)$$

де G_K – значення навантаження на шину, кН;

p_W – значення внутрішнього тиску у шині, кПа.;

C_1, C_2, p_0 – значення постійних коефіцієнтів колеса, кПа.

Значення постійних коефіцієнтів розрахуємо за рівняннями [27]:

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}, \quad (2.25)$$

$$C_2 = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^N x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^N x_i \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}, \quad (2.26)$$

де $i = 1, 2, \dots, N$ – значення ступеня навантаження на колесо ;

$$y_i = \frac{[f]^2}{G_k}, \quad (2.27)$$

$$p_0 = 16,7 \cdot n \cdot \left(\sqrt{\frac{D}{B}} - 1,4 \right) - 28 \geq 0, \quad (2.28/)$$

де n – норма шару;

D – діаметр шини, (м),

B – ширина профілю, (м)

$[f]$ – значення допустимого статичного прогину шини:

$$[f] = \frac{D}{2} - r_0, \quad (2.29)$$

де r_0 – статичний радіус, м;

Значення похибки за даного методу визначимо за рівнянням:

$$\Delta\delta_{PP} = \sqrt{\left(\frac{10^2}{k'_S \cdot \bar{n}_{e(S)}} \cdot \Delta S_{PP} \right)^2 + \left(\frac{\bar{S}_{PP} \cdot 10^2}{k'_S \cdot \bar{n}_{e(S)}^2} \cdot \Delta n_{e(S)} \right)^2}, \quad (2.30)$$

де S_{PP} та ΔS_{PP} – значення математичного очікування та відповідно абсолютної похибки вимірювання пройденого шляху, м;

$\bar{n}_e(S)$ і $\Delta n_e(S)$ – значення математичного очікування і відповідно абсолютної похибки вимірювань кількості обертів КВ, за період проходження шляху S_{PP} , од.

Отже використовуючи метод точкового позиціонування, точність вимірювань буксування буде залежати від точності вимірювання пройденого шляху ΔS (рис.2.5). Збільшуючи інтервал вимірювання S підвищується точність вимірювання буксування, що пов'язано з ефектом Доплера на якому заснований метод.

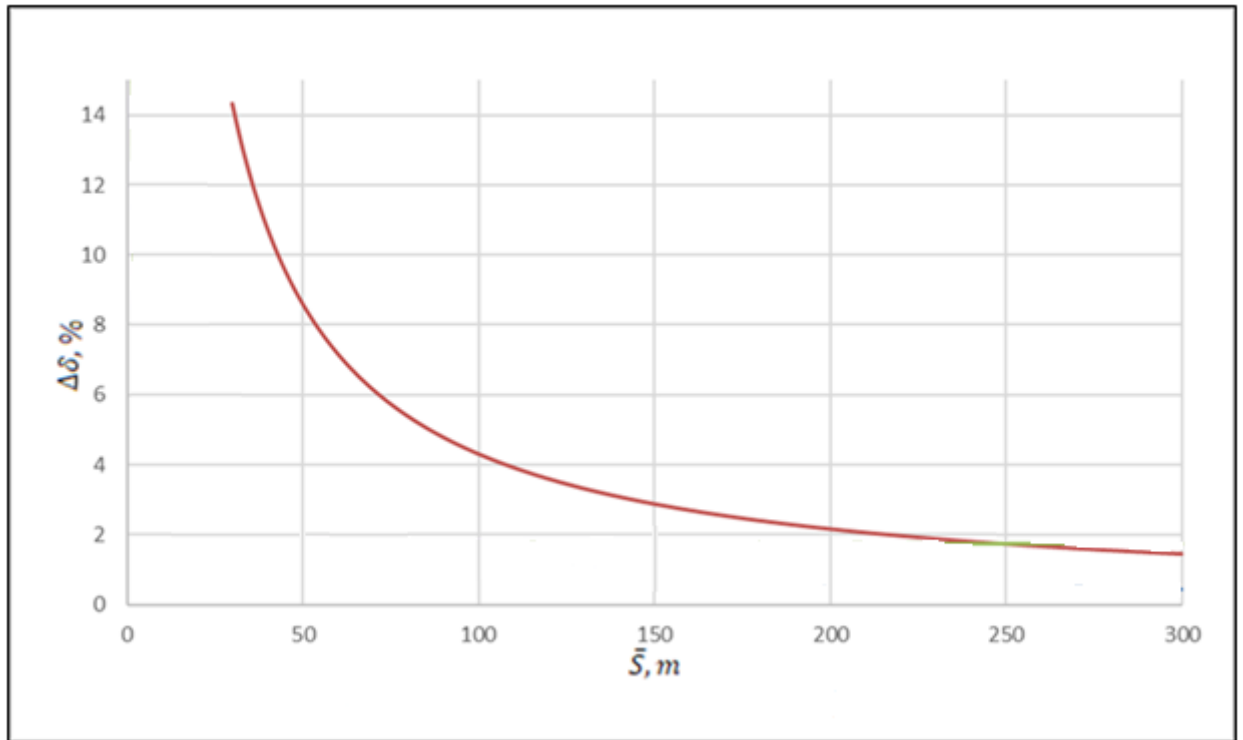


Рисунок 2.5 – Графік функції $\Delta\delta_{PP}(S)$

2.3 Теоретичне дослідження буксування колісних рушіїв в залежності від зміни зчпної ваги трактора ХТЗ-243К

Підбір частотного режиму роботи ДВЗ та передаточних чисел силової передачі переслідує наступні цілі:

1. Реалізація максимальної продуктивності МТА.
2. Досягнення оптимального значення витрати палива за умови дотримання максимально можливої енергетичної ефективності.

Вирішення даного завдання полягає у досягненні найліпших показників по запасу потужності та реалізації найбільшої енергоефективності, такому значенню відповідає точка «1» на рисунку 2.6.

Для підтримання необхідної швидкості за змінних обертів КВ за допомогою силової передачі підбираються необхідні передаточні числа (тобто переходимо на іншу ступінь коробки передач). Враховуючи технічну документацію по експлуатації трактора для підтримання необхідної

теоретичної швидкості підбираються відповідні передачі. Skorиставшись наведеними даними визначимо значення f (2.24) k' (2.16), та буксування δ , вирішуючи рівняння (2.15) відносно $v_{\text{факт}}$, ми можемо визначити швидкість руху МТА за будь-якого значення частоти обертання КВ.

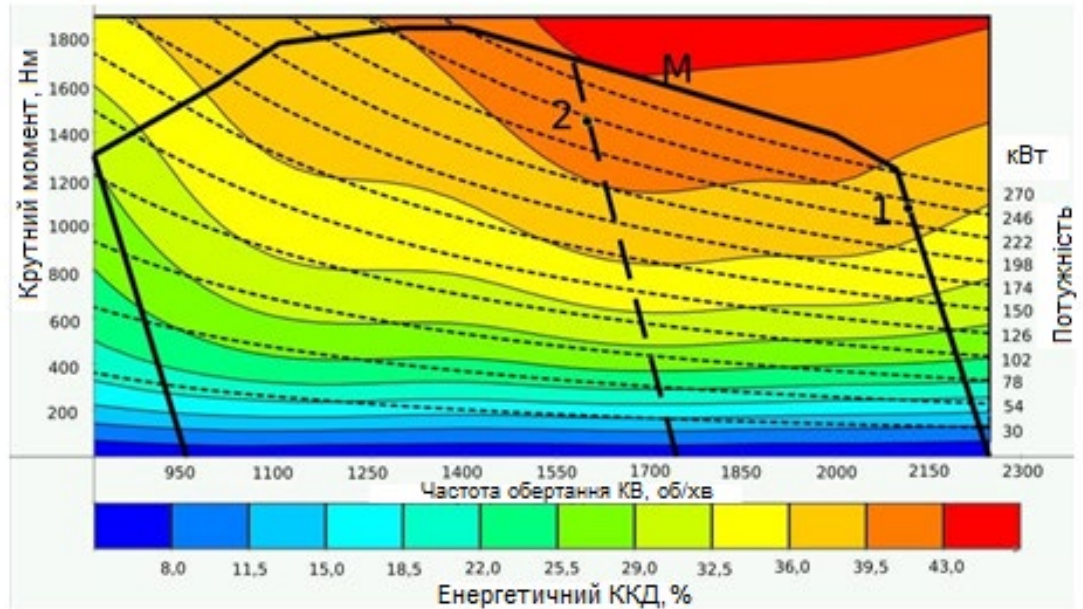


Рисунок 2.6 – Комбінована характеристика двигуна ЯМЗ – 536

Використовуючи графічний метод (рис. 2.6) визначимо значення точки Б на приведеній характеристиці ДВЗ. Аналітичним шляхом досить складно вирішити дану задачу тому як і в попередньому розділі скористаємося методом LOESS.

Враховавши отримані теоретичні залежності буксування трактора одним із основних чинників який на нього впливає є зчіпна вага трактора. На величину зчіпної ваги можна впливати різними способами. Найбільш поширеним способом є баластуванням також поширення отримав спосіб перерозподілу ваги знаряддя на ведучі колеса трактора за допомогою гідравлічного чи електричного позиційно-силового регулятора. Залежність буксування, від зміни величини зчіпної ваги трактора визначимо за рівнянням:

$$\Delta G_T(\delta, \Delta\delta) = \frac{c \cdot \Delta\delta}{a \cdot (1 + \delta)^b} \cdot 100 \quad (2.31)$$

де $a = 0,03$, $b = 1,77$ та $c = 0,28$ – коефіцієнти.

За отриманим рівнянням побудовано графічні залежності (рис. 2.7).

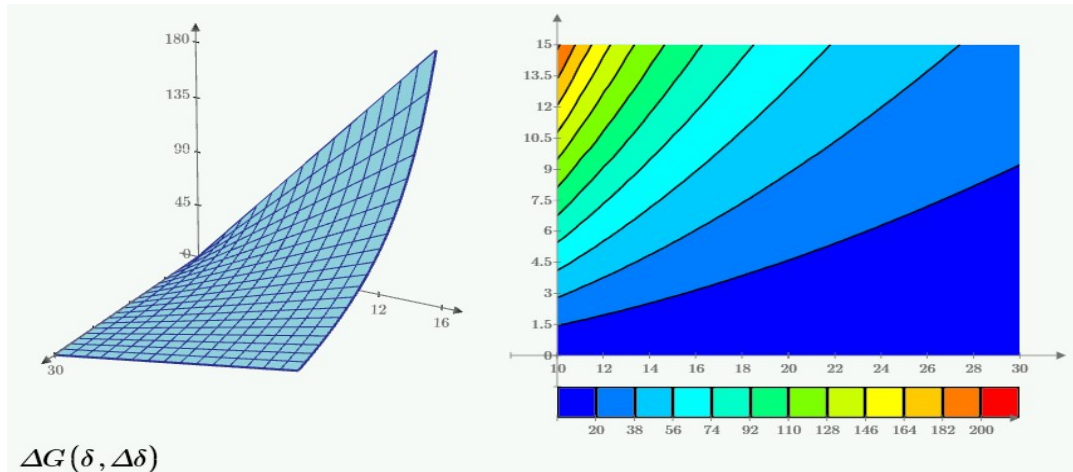


Рисунок 2.7 – Графічна залежність буксування від зчіпної ваги трактора

Отримавши графічні залежності оператор підбирає відповідне довантаження зчіпних коліс, щоб мінімізувати буксування рушіїв та підвищити тягові показники трактора.

2.4 Висновки

1. Запропонований метод визначення основних показників роботи ДВЗ за тиском турбонадува, має високу точність та інформативність. Встановлення додаткових елементів системи контролю тиску не вимагає серйозного втручання в конструкцію ДВЗ.

2. Використання GPS систем дозволяє досить точно визначати фактичну швидкість переміщення МТА та буксування рушіїв без використання давачів обертання ведучих коліс або шляховимірників, що спрощує вимірювання.

3. Використовуючи метод локальних поліноміальних регресій LOESS отримано математичну модель буксування колісних рушіїв. Встановлено залежність буксування рушіїв від величини зчіпної ваги трактора значення якої можна регулювати за допомогою позиційно-силового регулятора.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Програма досліджень

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень наведених в попередньому розділі необхідно провести серію експлуатаційних випробувань машино-тракторних агрегатів для чого розроблено програму та методики досліджень.

Програма досліджень:

- розробити методику та отримати результати досліджень процесу моніторингу тягового зусилля МТА за допомогою розробленої системи
- розробити методику та отримати результати досліджень залежності буксування від навантаження на гаку трактора.

Дослідження виконуємо за загальноприйнятими методиками з використання розроблених вимірюючо-реєстраційних комплексів [24, 25].

3.2 Об'єкт досліджень

В якості об'єкта дослідження розглянемо машино-тракторний агрегат, який складається з трактора ХТЗ-243К та борони дискової БДВП-4,2 (рис. 3.1). Для контролю за роботою МТА розроблено систему дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА (рис. 3.2) на базі компонентів від компанії «Ag Leader» [26] (додаток А). Система дозволяє в реальному часі інформувати водія про зміну тягових параметрів агрегату за зміною показників тиску наддуву ДВЗ, буксування рушіїв, зміну тиску в шинах рушіїв збирати дані та виконувати їх аналіз. Завдяки використанню GPS навігації досить точно вести трактор використовуючи підрулювач. Це дозволяє підвищити ефективність використання обладнання, зменшити витрати та покращити управління агротехнічними процесами.

Вся інформація про зміну технологічних параметрів надходить до блока керування 4 системи за допомогою датчиків тиску, буксування, навантаження.



Рисунок 3.1 – Об’єкт досліджень трактор ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2



Рисунок 3.2 – Система дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА

1 – підрулювач; 2 – сенсорний монітор InCommand 1200 ; 3 – GPS – приймач Ag Leader GPS 6000; 4 – блок керування AG Command Z3; 5 – датчика буксування коліс ДБ-1; 6 – датчик навантаження на навісці; 7 – датчик тиску в системі наддуву; 8 – датчики тиску в шинах трактора

Використовуючи GPS-приймач Ag Leader GPS 6000 здійснюється досить точене визначення координат положення МТА. Інформування водія про зміну параметрів система виконується за допомогою сенсорного дисплея InCommand 1200, який додатково виконує функцію навігатора.

Запропонована система забезпечує збір даних, швидкість руху, витрату палива, тягове навантаження, геопозицію (GPS).

Зібрані дані передаються на сервер або іншій пристрій для їх обробки використовуючи мобільні мережі або по супутниковим каналам. Завдяки отриманій інформації тракторист оперативно в реальному часі може коригувати параметри роботи МТА.

3.3 Методика та результати експериментальних досліджень процесу моніторингу тягового зусилля за допомогою системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА

Перед встановленням системи контролю тягового зусилля розроблено методику [27] для перевірки її працездатності в польових умовах. Визначення тягового зусилля виконуємо не безпосередньо його вимірюючи а використовуючи показання тиску наддуву, який безпосередньо залежить від зміни навантаження на гаку тобто від тягового зусилля. Для перевірки цієї гіпотези і проведемо дослідження щоб встановити взаємозв'язок між показниками тиску наддуву та тяговим зусиллям. Для виконання досліджень використаємо складові системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА, а саме датчик тиску наддуву, тензометричний датчик навантаження на гаку, аналогово-цифровий перетворювач, що входить до блоку керування системою та додатково використаємо самописець на базі ПК.

Розміщення датчика тиску наддуву детально показано на малюнку 3.3. За допомогою сконструйованого перехідника датчик встановлюється в штатний

роз'єм системи нагнітання повітря дизеля ЯМЗ-536. Основні параметри датчика та перехідника наведено в додатку Б.

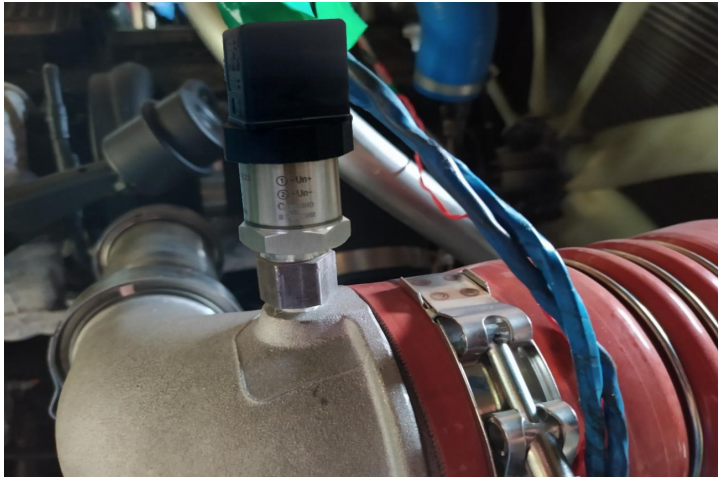


Рисунок 3.3 – Розміщення датчика тиску наддуву в системі нагнітання повітря дизеля ЯМЗ-536

Для порівняння залежності тиску наддуву від навантаження на гаку трактора розроблено пристрій тензодатчик (додаток В), якого розміщується на штатному з'єднанні навіски з агрегатом (рис. 3.4). Інформація з тензодатчика надходить на АЦП а далі на пристрій реєстрації на базі ПК (3.5).

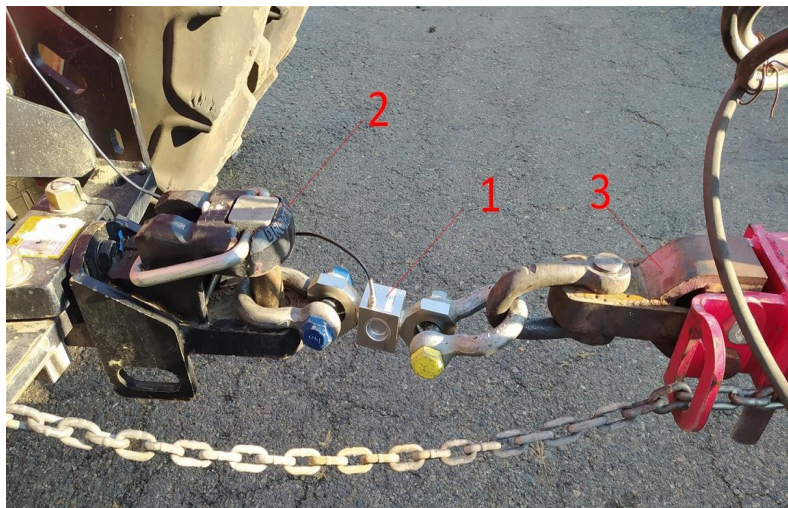


Рисунок 3.4 – Розміщення тензорезисторного датчика навантаження
1 – датчик навантаження Utilcell-620; 2 – буксирний пристрій;
3 – сниця дискової борони БДВП-4,2

Використавши утиліту для діагностики енергетичних засобів написану в середовищі Visual Studio 2010, дослідження виконуємо проведення простих вимірювань сигналів з датчиків тиску та навантаження під час виконання технологічної операції боронування. Для цього обирається загінка довжиною 800 м з підготовчою ділянкою в 50 м на, якій МТА виходить на робочий режим.

Дані досліджень виводяться на екран ПК рис. 3.5. За допомогою програми можна задавати параметри та межі вимірювання, зберігати отримані результати на носії та будувати графічні залежності. Дані можна зберігаються у форматі MS SQLServer та експортувати в середовище MS Excel чи MS Word.



Рисунок 3.5 – Візуалізація показників вимірювання

Дослідження виконуємо з трикратною повтореністю на лущення стерні. Перед початком досліджень виконано тарування датчиків та встановлення в контрольні місця. Двигун вигріваємо до робочої температури. Після проходження підготовчої ділянки вмикаємо реєстраційний комплекс, проходимо залікову ділянку після чого вимикаємо реєстрацію показників МТА. Заміри показників тиску наддуву, тягового опору та їх реєстрація відбувалися синхронно із частотою 25 Гц.

За отриманими результатами досліджень побудовано діаграму зміни тиску наддуву та тягового опору від часу дослідження (рис. 3.6).

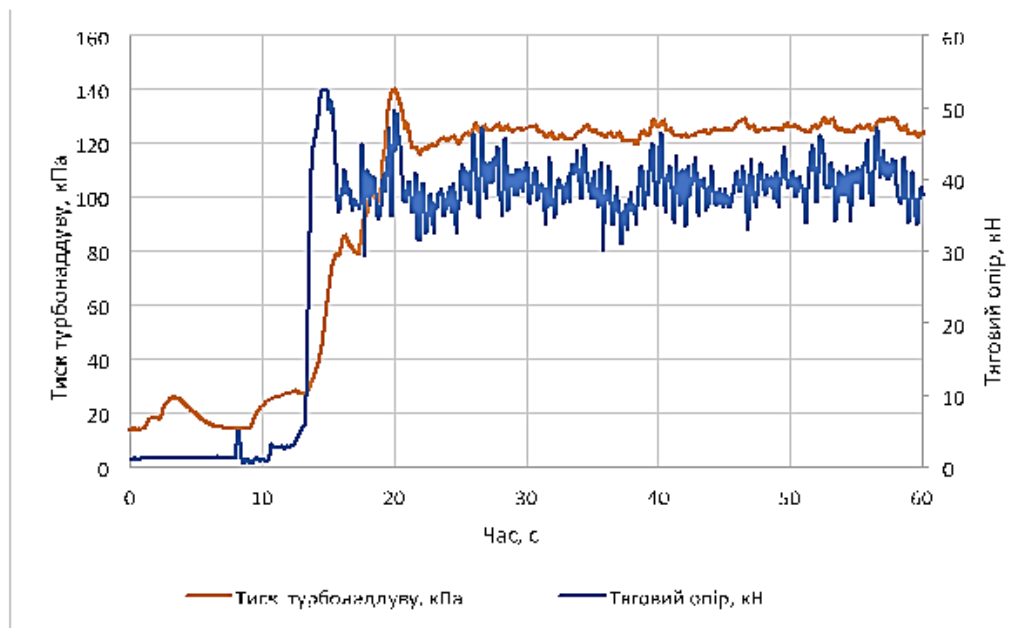


Рисунок 3.6 – Результати досліджень тягового опору та тиску наддуву на боронуванні машино-тракторним агрегатом ХТЗ-243К +БДВП-4,2

На рисункові 3.7 наведено спектральну щільність зміни значення тиску та навантаження на гаку трактора

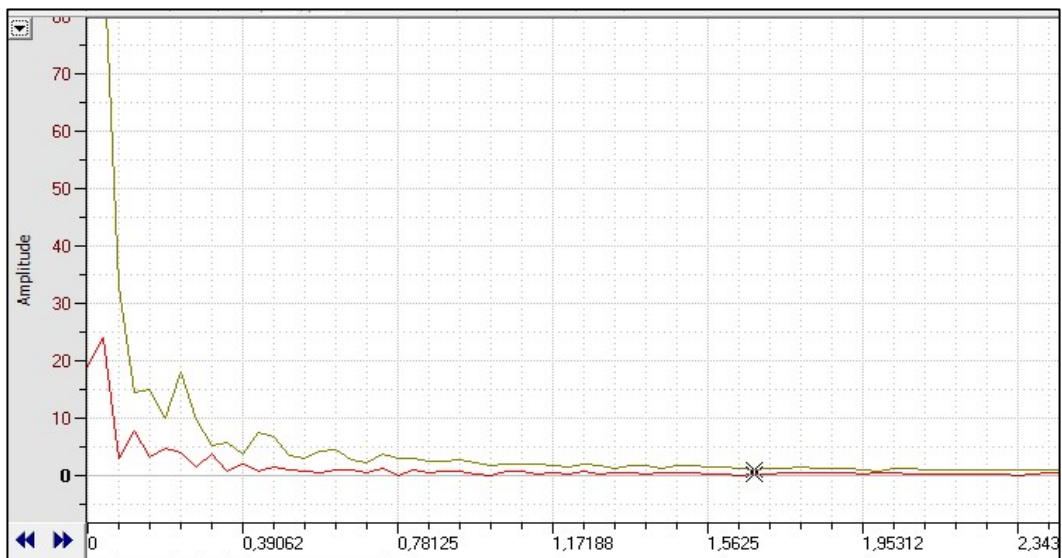


Рисунок 3.7 – Результати дослідження спектральної щільності зміни тиску в системі наддуву від зміни навантаження на гаку трактора

Аналіз отриманих даних показав, що зміни тиску наддуву тісно корелюють із коливаннями тягового опору, який створює борона. Проте на етапі заглиблення робочих органів збільшення тиску наддуву відбувається з певним запізненням у порівнянні зі зростанням тягового опору. У робочому режимі значення тягового опору агрегату та тиску наддуву двигуна підпорядковуються нормальному розподілу.

Спектральний аналіз амплітудно-частотних характеристик показав, що основні впливи мають частоту, що не перевищує 2 Гц. Обробка експериментальних даних продемонструвала, що коефіцієнт кореляції між тиском у впускному колекторі та тяговим опором на етапі динамічного зростання навантаження (під час заглиблення дисків борони) становить 0,896.

Ці результати підтверджують високий рівень залежності між тиском наддуву та тяговим опором агрегату, а також навантаженням на двигун трактора.

Порівняльна оцінка нового методу визначення енергетичних показників роботи МТА щодо тиску наддуву проводилася з метою встановлення збіжності значень тягового опору, отриманого розрахунковим методом за формулами (2.7) та виміряного за допомогою датчика Utilcell-620.

На основі порівняльної оцінки нового методу визначення енергетичних показників роботи МТА за тиском наддуву встановлено високу відповідність результатів, отриманих цим методом, зі значеннями, визначеними стандартними підходами. Відхилення між тяговим опором, розрахованим за виміряними значеннями тиску наддуву, і тяговим опором, визначеним за допомогою прямих вимірювань, становить лише 1,86%.

3.4 Експериментальні дослідження буксування ведучих рушіїв МТА

Для перевірки працездатності розробленого методу визначення швидкості та буксування рушіїв трактора за допомогою одночастотного GPS-приймач

антени Ag Leader GPS 6000 проведемо наступні дослідження швидкості руху та буксування ведучих рушіїв МТА.

Для визначення теоретичної швидкості руху трактора за новим методом розробка будь-яких датчиків не потрібна. Кількість оборотів колінчастого валу двигуна можна реєструвати за імпульсами з штатного індукційного датчика частоти обертання колінчастого валу. Для точності експерименту додатково частоту обертання КВ визначали за імпульсами п'єзоелектричного датчика розміщеного на паливопроводі високого тиску, що прямує до форсунки системи живлення дизеля (рис. 3.8).

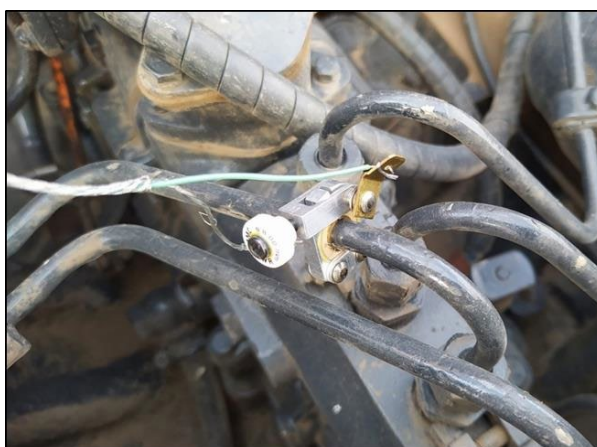


Рисунок 3.8 – Розміщення п'єзоелектричного датчика двигуна ЯМЗ-536 трактора ХТЗ-243К

Дослідження частоти обертання ведучих коліс трактора виконуємо за стандартом ДСТУ ISO 789-9-1-2019 з використанням бездротових датчиків буксування ІП-291 (рис. 3.9).

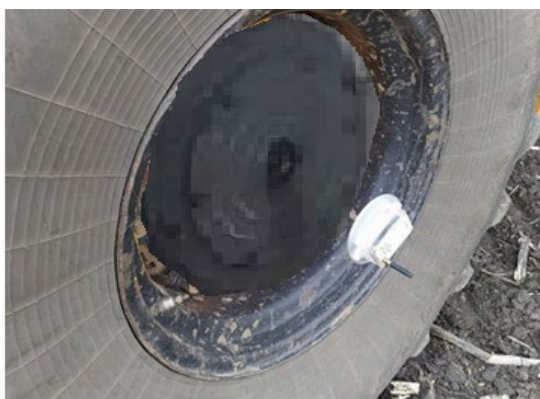


Рисунок 3.9 – Розміщення датчика буксування ІП-291 на ведучому колесі

Як і в попередніх дослідженнях використовуємо блок керування системи. Інформація на блок керування від бездротових датчиків буксування надходить через приймач Sigma-210. Обробку даних виконуємо за допомогою ПК. Для цього розроблено програму «Дослідник» в середовищі Visual Studio 2010 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Загальний вигляд вікна програми «Дослідник»

Дослідження проводимо на луценні з використання трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2. Трактор обладнано шинами 23.1R26 контроль тиску здійснюємо з використанням бездротових датчиків TPMS. Як і в попередньому досліді довжина залікової ділянки становитиме 800 м (рис. 3.11). Роботу виконуємо на 3-тій передачі.

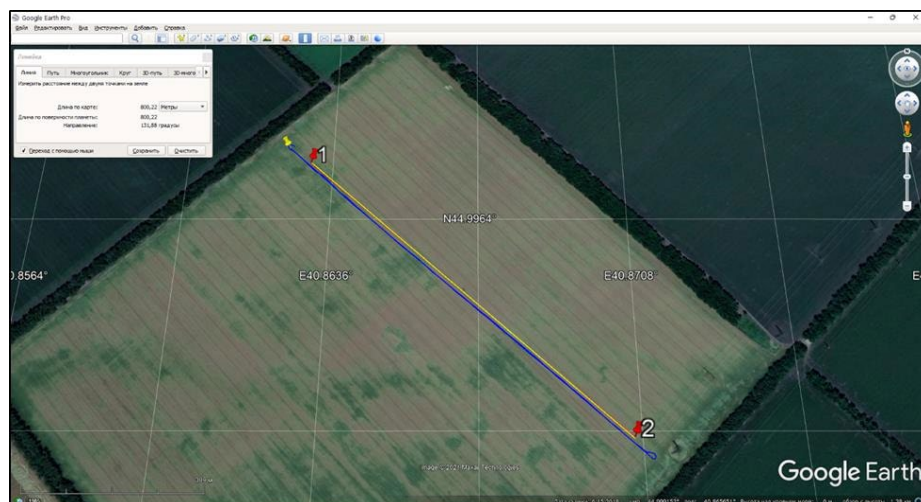


Рисунок 3.11 – Загальний вигляд залікової ділянки

Значення n'_{ki} при виконанні заїзду реєстрували з інтервалом 100 м. Буксування за отриманими даними розраховували за формулою (2.12).

На основі отриманих значень швидкості та буксування рушіїв побудовано графічні залежності (рис. 3.12–3.14). На рисунку 3.12 представлено діаграму фактичної та теоретичної швидкостей, визначених за новим методом розрахунку буксування на заліковій ділянці прямолінійного руху завдовжки 800 м.

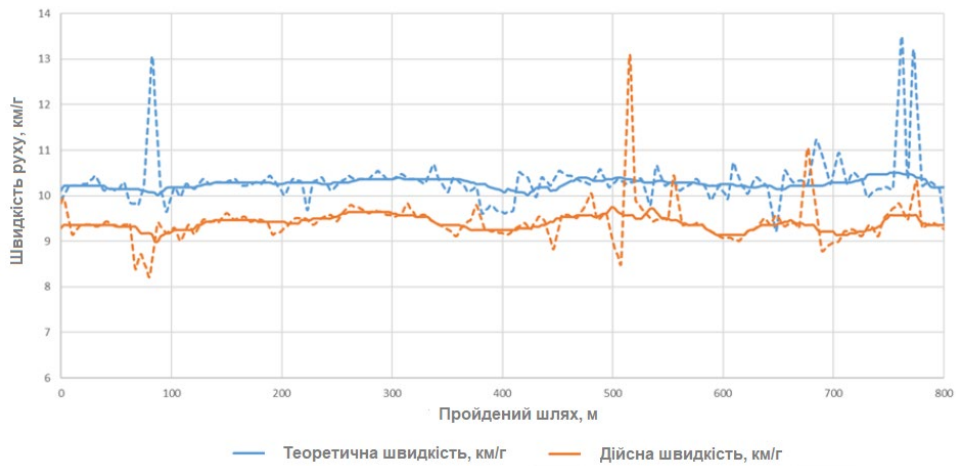


Рисунок 3.12 – Результати експериментальних досліджень швидкості руху МТА

На діаграмі спостерігається значний розкид первинних даних та наявність випадкових викидів (рис. 3.13, 3.14). З метою подальшої обробки, первинні дані були оброблені за допомогою медіанної фільтрації з плаваючим вікном розміром 10 значень. Відфільтровані результати також представлені на рисунку 3.12.

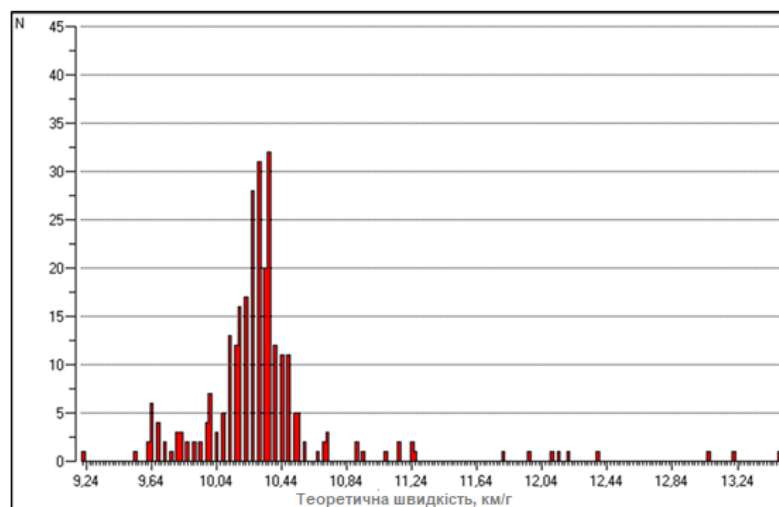


Рисунок 3.13 – Гістограма розподілу теоретичної швидкості

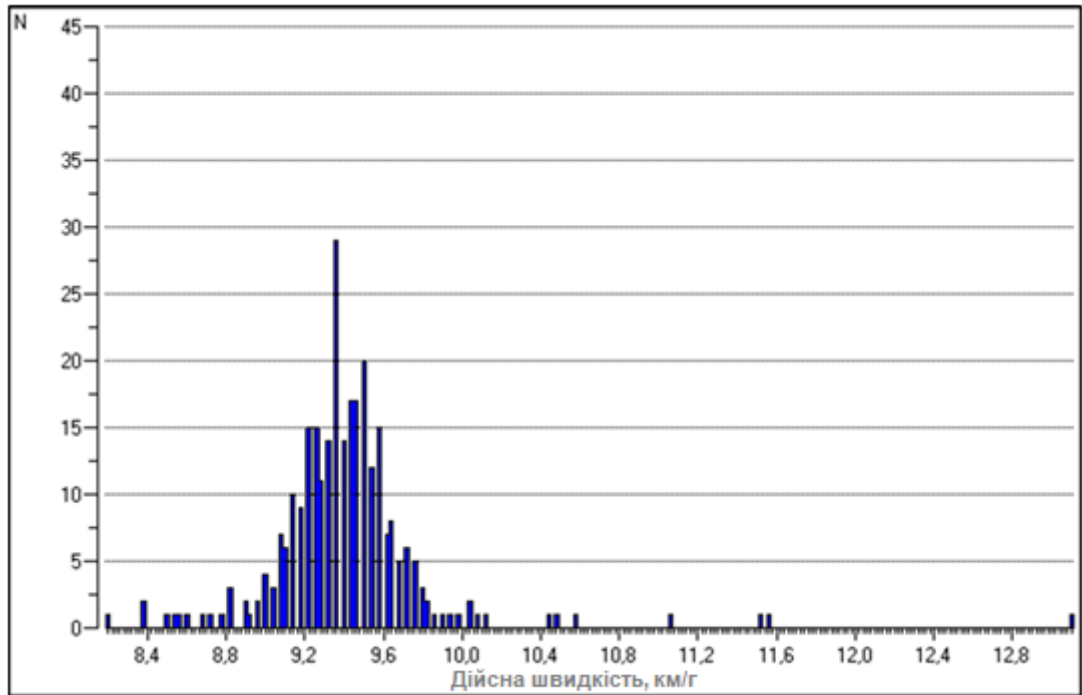


Рисунок 3.14 – Гістограма розподілу фактичної швидкості

На рисунку 3.15 представлено графічні результати визначення буксування рушіїв трактора за новим розробленим методом та згідно ДСТУ ISO 789-9-1-2019.

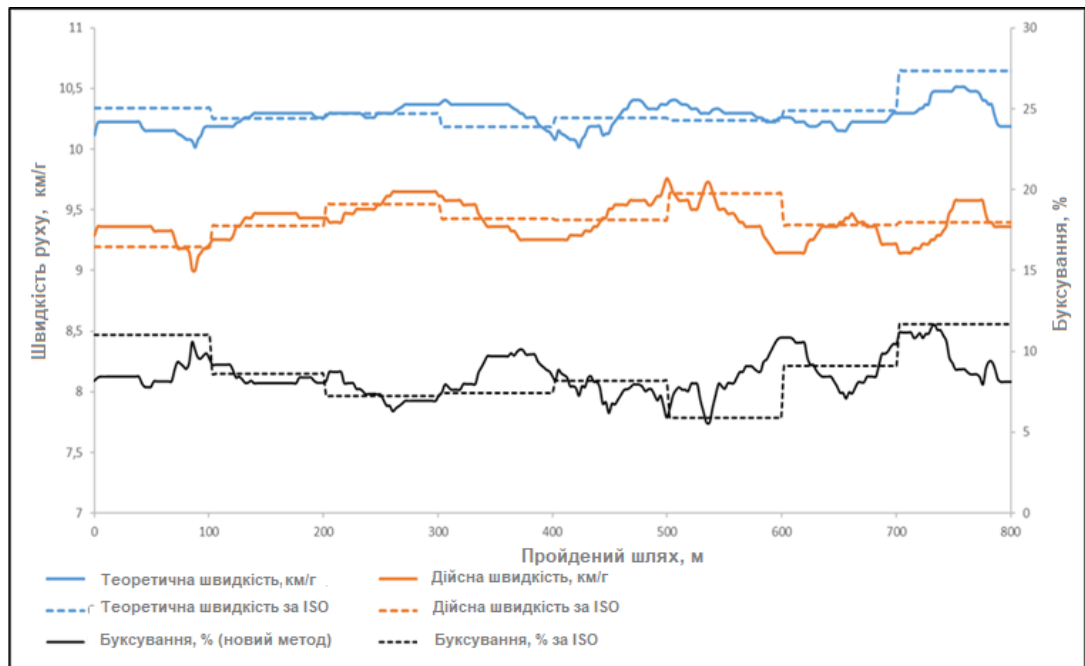


Рисунок 3.15 – Результати дослідження буксування за стандартною методикою ДСТУ ISO 789-9-1-2019 та розробленою.

Таблиця 3.1 – Результати буксування ведучих рушіїв трактора

Номер ділянки	Довжина гону, м	Середнє значення буксування ведучих рушіїв трактора (%) на ділянці гону (м) з використанням різних методик							
		100		200		400		800	
		GPS	ISO	GPS	ISO	GPS	ISO	GPS	ISO
1	100	8,68	10,1	8,53	9,84	8,36	8,43	8,53	8,66
2	200	8,4	8,63						
3	300	7,44	7,3	8,18	7,35				
4	400	8,96	7,45						
5	500	7,64	8,19	7,94	7,05	8,7	8,73		
6	600	8,22	6,9						
7	700	9,14	9,15	9,45	10,40				
8	800	9,78	11,81						
$D[X]$		0,62	2,3	0,46	2,92	0,08	0,05	-	-

Аналіз даних, наведених у таблиці, свідчить, що найбільша відповідність результатів, отриманих різними методами, спостерігається на інтервалі довжиною 400 метрів. Максимальне відхилення при вимірюванні буксування не перевищило 1,53%. Водночас значення, отримані за розробленим методом, демонструють меншу залежність від довжини інтервалу усереднення порівняно з результатами, отриманими за методикою ISO. Це підтверджує результати теоретичних розрахунків і моделювання точності вимірювань.

На основі проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок про ефективність і працездатність нового методу визначення буксування рушіїв тракторів із використанням GPS-приймачів. Метод забезпечує достатню точність для його застосування в реальних умовах експлуатації.

На відміну від традиційних підходів, новий метод дозволяє користувачам отримувати інформацію про поточне буксування трактора безпосередньо під час виконання сільськогосподарських робіт.

3.5 Висновки

1. Результати експериментальних досліджень довели точність теоретичних досліджень та підтвердили гіпотезу залежності зміни навантаження двигуна від тягового зусилля і відповідно тиска наддуву. Тому запропонований спосіб контролю основних тягових параметрів при роботі МТА є досить точним і більш доступним та інформативним.

2. Експериментально підтверджено високу точність визначення дійсної швидкості та буксування ведучих рушіїв трактора використанням безконтактних датчиків частоти обертання та GPS-приймача та перевагу розробленого методу над традиційним за ДСТУ ISO 789-9-1-2019.

3. Використання запропонованої системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА забезпечує найбільш ефективне його використання за рахунок вчасно інформування оператора про зміну основних показників МТА та підбору необхідних режимів роботи силового агрегату.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація охорони праці

Охорона праці в аграрному секторі є ключовим аспектом забезпечення безпечних умов роботи для персоналу на основних виробничих ділянках, пов'язаних із рослинництвом і тваринництвом. Вона включає заходи, спрямовані на створення комфортного середовища, зниження ризику травматизму та профілактику професійних захворювань.

Основні принципи організації охорони праці:

виконання вимог чинного законодавства та нормативних документів з охорони праці;

гарантування безпеки праці для всіх співробітників;

проведення навчання, інструктажів і перевірки знань щодо правил безпеки;

систематичний контроль стану робочих місць і обладнання.

Для мінімізації ризику травматизму та запобігання нещасним випадкам у господарстві запроваджено систему охорони праці. Вона передбачає заходи для захисту здоров'я працівників. Відповідальність за організацію охорони праці покладено на керівників підрозділів: головного агронома (у сфері рослинництва) і головного інженера (на машинному дворі). Контроль за дотриманням правил здійснює інженер з охорони праці, який також відповідає за розробку інструкцій.

Інструктажі з охорони праці:

Первинний інструктаж — проводиться безпосередньо на робочому місці перед початком роботи.

Вступний інструктаж — організовується для нових працівників з ознайомленням із загальними правилами безпеки.

Позаплановий інструктаж — проводиться у випадку змін технологій, впровадження нового обладнання чи аварійних ситуацій.

Повторний інструктаж — виконується не рідше одного разу на пів року.

Завдяки системі інструктажів працівники ознайомлені з правилами безпеки під час роботи з технікою, у приміщеннях, а також із основами надання першої допомоги у надзвичайних ситуаціях.

Умови праці: На виробничих ділянках розташовано інформаційні стенди з охорони праці, обладнано санітарні кімнати (душові, туалети, умивальники, кімнати для переодягання) з холодною та гарячою водою. Такі приміщення забезпечені засобами гігієни, включаючи мило, шампунь, рушники або сушарки для рук. Кожна ділянка має аптечки та засоби пожежогасіння (вогнегасники, лопати, відра тощо) облаштовані інформаційними стендами (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Інформаційний стенд з пожежної безпеки

На території господарства функціонує медичний пункт, де працівники можуть отримати первинну допомогу та пройти медичний огляд. Щорічні огляди дозволяють своєчасно виявляти професійні захворювання. Також проводиться інформаційна робота щодо вакцинації співробітників.

Комплексний підхід до організації охорони праці сприяє збереженню здоров'я працівників, підвищенню продуктивності праці та дотриманню вимог законодавства. Це також підвищує ефективність роботи господарства та зменшує фінансові ризики.

4.2 Особливості охорони праці на території машино-тракторного парку господарства

Охорона праці на території машино-тракторного парку (МТП) є важливим елементом загальної системи безпеки в господарстві. Роботи на МТП характеризуються підвищеними ризиками через експлуатацію великогабаритної техніки, використання паливно-мастильних матеріалів та виконання ремонтно-технічних операцій. Для забезпечення безпеки персоналу і запобігання нещасним випадкам необхідно дотримуватися комплексу заходів і правил, передбачених чинним законодавством і внутрішніми нормативними актами господарства.

Основні вимоги до організації охорони праці на території МТП:

- 1. Безпека технічного стану обладнання та машин:**
 - Усі трактори, комбайни, автомобілі та інше обладнання повинні проходити регулярні технічні огляди.
 - Забороняється експлуатація машин з несправними системами гальмування, кермування, освітлення чи сигналізації.
 - Перед виїздом на роботу машини перевіряються на відповідність технічним нормам.
- 2. Організація робочих місць:**

- Робочі місця механізаторів, слюсарів і водіїв обладнуються відповідно до правил ергономіки, з урахуванням доступу до засобів індивідуального захисту (рукавичок, окулярів, захисного одягу).

- Територія МТП має бути чітко зонована: місця для зберігання техніки, проведення ремонтних робіт, складування паливно-мастильних матеріалів.

3. Забезпечення пожежної безпеки:

- У кожній зоні встановлюються засоби пожежогасіння (вогнегасники, пісок, відра).

- Для зберігання пального створюються спеціальні ємності з системою захисту від загорянь.

- На території МТП заборонено палити та використовувати відкритий вогонь.

4. Навчання персоналу:

- Усі працівники проходять первинний, повторний та позаплановий інструктажі щодо безпечної роботи з технікою.

- Проводяться регулярні навчання щодо правил пожежної безпеки та надання першої медичної допомоги.

5. Організація руху на території МТП:

- Встановлюються чіткі маршрути руху для транспортних засобів, позначені дорожніми знаками.

- Швидкість руху техніки на території МТП обмежується, що зменшує ризик аварійних ситуацій.

6. Контроль технічного стану приміщень і території:

- Ремонтні цехи, склади та майстерні повинні бути забезпечені вентиляційними системами, природним і штучним освітленням.

- Підлога в майстернях і гаражах має бути рівною, без слизьких ділянок, щоб запобігти травмам персоналу.

- Регулярно проводиться прибирання території, зокрема видалення залишків мастил і пального, що можуть спричинити пожежі чи травми.

7. Забезпечення санітарно-гігієнічних умов:

- На МТП обладнані санітарні приміщення з доступом до води, засобів гігієни та місць для переодягання.

- Організовується місце для відпочинку працівників з урахуванням санітарних норм.

Профілактика травматизму: На території МТП впроваджуються заходи для мінімізації ризиків травмування працівників. Зокрема, це:

- проведення регулярних перевірок техніки на відповідність нормам безпеки;
- своєчасне виявлення та усунення несправностей;
- забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту.

Роль інженера з охорони праці: Інженер з охорони праці виконує ключову функцію у забезпеченні безпечної роботи на території МТП. Він контролює виконання нормативних вимог, проводить інструктажі та складає плани заходів для підвищення рівня безпеки.

4.3 Аналіз виробничого травматизму

Аналіз виробничого травматизму є важливою складовою системи управління охороною праці в будь-якому господарстві. Його мета – виявлення причин і умов, які призводять до травмування працівників, з метою розробки ефективних заходів профілактики. Для оцінки рівня виробничого травматизму в господарстві визначимо основні його показники а саме коефіцієнт частоти травматизму, коефіцієнт тяжкості травматизму і індексу виробничого травматизму.

Значення коефіцієнта частоти травматизму працівників господарства визначимо за формулою:

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

де: n_p – кількість працівників господарства, осіб.;

T – втрата працездатності працівниками, осіб.

Непрацездатність працівників визначимо за коефіцієнтом:

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

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

Ступінь тяжкості травматизму:

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

де: n_2 – кількість осіб що потерпіли та втратили працездатність, чол.

Таблиця 4.1 – Результати аналізу травматизму

Показники травматизму	Роки		
	2021	2022	2023
Кількість працівників господарства, осіб	32	35	37
Кількість потерпілих та осіб, що втратили працездатність	4	5	4
Кількість непрацездатних днів, дн.	61	78	62
Коефіцієнти:			
- частоти травматизму	125	143	108
- тяжкості травматизму	15,25	15,60	15,50
- непрацездатності	1906,3	2228,6	1675,7

Основним завданням на наступні роки є підтримання тенденції до зниження травматизму шляхом систематичного навчання працівників, контролю технічного стану обладнання та покращення умов праці.

Таблиця 4.2 – Загальні витрати коштів та інвестиції

Показники	2021 р.	2022 р.	2023 р.
Витрати в зв'язку з пошкодженням техніки, грн/рік.	12562	18253	17891
Витрати коштів в зв'язку з накладеними штрафними санкціями за порушення охорони праці, грн/рік.	5213	6251	4253
Виплати коштів на оздоровлення та лікування працівників, грн/рік.	12452	14253	16724
Інвестиції в систему охорони праці, грн/рік.	25666	34246	40245

Згідно даних таблиці 4.1 господарство демонструє позитивну динаміку у сфері охорони праці, що підтверджується зменшенням штрафів та збільшенням інвестицій. Водночас зростання витрат на відновлення техніки та виплати на лікування вказує на необхідність посилення профілактичних заходів, зокрема контролю за технічним станом обладнання та навчання персоналу. Стратегічно важливо зберігати високий рівень інвестицій, щоб мінімізувати ризики та покращити ефективність господарської діяльності.

4.4 Вимоги з охорони праці під час експлуатації енергонасичених тракторів

Експлуатація енергонасичених тракторів пов'язана з підвищеними ризиками, що виникають через велику потужність техніки, високий рівень механізації та автоматизації процесів. Забезпечення безпеки праці при роботі з такою технікою є обов'язковою умовою для збереження здоров'я працівників і ефективності виробничих процесів.

Основні ризики

Механічні ризики:

Можливість травм через рухомі елементи трактора (вали, шестерні, гідравлічні механізми).

Падіння з трактора під час його руху або виконання ремонтних робіт.

Технічні ризики:

Виникнення аварій через несправність гальмівної системи, рульового управління чи електрообладнання.

Фізіологічні та гігієнічні ризики:

Вплив вібрації, шуму та випарів паливно-мастильних матеріалів на організм оператора.

Пожежна небезпека:

Загроза займання через перегрів двигуна, витоки пального або короткі замикання в електричній системі.

Вимоги до охорони праці:

Технічний стан трактора:

Перед початком роботи необхідно перевірити справність основних систем трактора: гальмівної, рульового управління, сигналізації та освітлення.

Забороняється експлуатація трактора за наявності видимих дефектів або несправностей.

Підготовка оператора:

Оператор повинен пройти навчання та інструктаж з правил безпечної експлуатації техніки.

Працівник повинен мати відповідні документи, які підтверджують його кваліфікацію для роботи на енергонасичених тракторах.

Організація робочого місця:

Робоче місце оператора повинно бути обладнане засобами зниження вібрації та шуму (пружинними сидіннями, шумоізоляцією кабіни).

Кабіна трактора має бути оснащена системою вентиляції або кондиціонування для забезпечення комфортних умов праці.

Засоби індивідуального захисту:

Оператор зобов'язаний використовувати спецодяг, рукавички, захисні окуляри та, за необхідності, навушники або протишумові вкладиші.

У разі роботи з хімічними речовинами необхідно використовувати респіратори.

Правила експлуатації:

Забороняється перевищувати допустимі швидкості руху, особливо на нерівних ділянках.

Необхідно дотримуватись правил буксирування причепів і навісного обладнання.

Під час роботи на схилах слід уникати різких поворотів і маневрів, що можуть призвести до перевертання техніки.

Обслуговування та ремонт:

Усі ремонтні роботи повинні виконуватися тільки після повної зупинки двигуна.

Перед обслуговуванням гідравлічних систем необхідно знизити тиск у системі.

Для заміни або налаштування деталей використовуються тільки спеціальні інструменти.

Пожежна безпека:

Трактор повинен бути оснащений справними вогнегасниками.

Паливно-мастильні матеріали зберігаються в спеціально відведених місцях, що відповідають вимогам пожежної безпеки.

Заборонено проводити заправку трактора за його працюючого двигуна.

Навчання та контроль. Для мінімізації травматизму серед працівників проводиться систематичне навчання та перевірка знань з охорони праці. Інженери з охорони праці здійснюють регулярний контроль за дотриманням правил експлуатації техніки.

4.5 Висновки

1. Позитивна тенденція до зменшення травматизму та пов'язаних з ним втрат у 2023 році свідчить про ефективність заходів безпеки, впроваджених у господарстві.

Збільшення кількості працівників не призвело до значного підвищення рівня травматизму, що може свідчити про належний контроль за умовами праці.

2. Дотримання правил охорони праці на території машино-тракторного парку є невід'ємною частиною ефективного функціонування господарства. Забезпечення безпечних умов праці сприяє збереженню здоров'я працівників, зменшенню кількості аварійних ситуацій та підвищенню продуктивності всього виробничого процесу.

3. Дотримання правил охорони праці при експлуатації енергонасичених тракторів є важливим аспектом забезпечення безпеки виробничих процесів. Регулярний технічний огляд техніки, навчання персоналу та організація безпечних умов праці сприяють зниженню ризиків нещасних випадків і забезпечують ефективну роботу господарства.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ

Оцінку економічного ефекту від використання системи дистанційного накопичення та обробки даних в подальшому СДНОД-1 виконаємо на прикладі її використання при роботі машино-тракторного агрегату, а саме трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2. Розрахунок проведемо для двох варіантів базового без використання СДНОД-1 та експериментального з розробленою системою обробки та накопичення даних. Розрахунки виконуємо за загально прийнятою методикою [31] врахувавши вихідні дані наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Дані для розрахунку економічної ефективності роботи

Показники	Базовий	Експер.
1	2	3
Склад агрегату	ХТЗ-243К + БДВП-4,2	ХТЗ-243К +БДВП-4,2 +СДНОД-1
Технологічний процес	Боронування	Боронування
Балансова вартість агрегату, грн	2150000	2175000
Швидкість руху агрегату, км/год	8,5	10,2
Ширина захвату дискової борони, м	4,2	4,2
Витрата палива на боронуванні, кг/га	6,1	5,3
Вартість пального, грн/кг	51	51
Річне завантаження агрегату, га	340	380
Тривалість зміни, год	10	10
Кількість працівників що обслуговують машину, люд	1	1
Ставка погодинної оплати, грн/год	130	130

На початку розрахунку визначимо продуктивність агрегату ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2 скориставшись рівнянням [30]:

$$W_{\tau} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (5.1)$$

де B_p – ширина дискової борони, м.

V_p – швидкість руху агрегату, км/год.

τ – коефіцієнт ефективності використання робочого часу 0,85.

Річне завантаження агрегату на виконанні боронування, год:

$$t_p = \frac{W_p}{W_{\tau}}, \text{ год}, \quad (5.2)$$

де W_p – завантаження агрегату ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, га/рік.

Використавши загальноприйняту методика визначимо значення експлуатаційних витрат на виконання технологічного процесу для встановлення економічного ефекту за рахунок їх скорочення [30].

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \text{ грн/га} \quad (5.3)$$

де: $B_{\text{екс}}$ - витрати на експлуатацію ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, грн/га

$B_{\text{оп}}$ – витрати на оплату праці працівникам що обслуговують агрегат
грн/га;

A - амортизаційні відрахування на ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2,
грн/га;

$B_{\text{рес}}$ – витрати на паливе для виконання технологічного процесу, грн/га;

T – витрати на ремонти та обслуговування ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, грн/га.

IB – значення інших витрат на боронуванні грн/га;

Розрахуємо значення витрат на оплату праці працівникам за рівнянням:

$$B_{on} = Z + H_z, \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

де: Z – фонд заробітної оплати праці задіяних робітників, грн/га.;

H_z – відрахування в фонд оплати праці задіяних робітників, грн/га.

Значення відрахувань для фонду оплати праці працівників, що обслуговують агрегат 22%:

$$H_z = 0,22 \cdot Z. \quad (5.5)$$

Фонд оплати праці працівників, що обслуговують агрегат визначимо за рівнянням:

$$Z = \frac{H_{mp} \cdot C_{mp}}{W_\tau}, \text{ грн/га} \quad (5.6)$$

де H_{mp} - кількість працівників задіяних на керуванні агрегатом ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, осіб.;

C_{mp} - ставка погодинної оплати працівника задіяного на керуванні трактором ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, грн/год.

Амортизаційні відрахування на трактор ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2:

$$A = \frac{B_c \cdot a_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_{pc}}, \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

де: t_{pc} – річне завантаження трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, год/рік ;

B_c – вартість трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2, грн.;

W_τ – продуктивність агрегату, га/год.

a_c – базові значення амортизаційних відрахувань на агрегат, 12 %.

Розрахуємо значення витрат пов'язаних з поточними ремонтами та обслуговуванням трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2 за формулою:

$$T = \frac{B_c \cdot b_c}{100 \cdot W_\tau \cdot t_p}, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де: b_c – базові значення відрахувань на ТО і ПР становлять, 10 %.

Розрахуємо значення витрат на енергоресурси а саме на пальне при експлуатації трактора ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2 за формулою:

$$B_{pec} = B_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де $B_{пмм}$ – вартість пального, грн/кг;

Тоді значення загальних витрат на енергоресурси визначимо за рівнянням:

$$B_{пмм} = Z_{пмм} \cdot Ц_{пмм}, \text{ грн/га} \quad (5.10)$$

де $Z_{пмм}$ - витрати дизеля на боронування, кг/га;

$Ц_{пмм}$ – вартість дизеля станом на 2024 рік становить 51 грн/кг.

Інші витрати визначимо за рівнянням:

$$IB = \frac{B_{on} + A + T + B_{pec}}{100} \cdot 5, \quad (5.11)$$

Порівнявши експлуатаційні витрати встановимо економічний ефект за рахунок зниження експлуатаційних витрат на виконання технологічної операції боронування трактором ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2 з базовою комплектацією та трактором ХТЗ-243К з бороною БДВП-4,2 та запропонованою системою дистанційного накопичення та обробки даних машино-тракторного агрегату.

$$E_{EP} = B^B_{екс} - B^E_{екс}, \text{ грн,} \quad (5.12)$$

Термін окупності з урахуванням вкладення інвестицій в розробку системи дистанційного накопичення та обробки даних:

$$T_o = \frac{Bi}{E_{EP}} = \frac{56000}{112397,04} = 0,5 \text{ року} \quad (5.14)$$

де Bi - інвестиції в розробку системи дистанційного накопичення та обробки даних, грн

Результати розрахунків згідно приведеної методики наведемо в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Економічні показники роботи

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн(+/-) до базового
	Базовий	Експерим.	
1	2	3	4
Склад агрегату	ХТЗ-243К + БДВП-4,2	ХТЗ-243К +БДВП-4,2 +СДНОД-1	-

Технологічна операція	Боронування	Боронування	-
Річне завантаження агрегату, га	360	380	-
Балансова вартість агрегату, грн	2150000	2175000	25000

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
Швидкість руху агрегату, км/год	8,5	10,2	1,7
Продуктивність, га/год	3,03	3,64	0,61
Витрата палива, кг/га	6,1	5,3	-0,8
Експлуатаційні витрати , грн/га	1761,11	1651,7	-109,4
У тому числі:			
на оплату праці, грн/га	52,27	43,55	-8,72
на амортизацію, грн/га	716,6	686,8	-29,8
на поточний ремонт і обслуговування, грн/га	597,2	572,3	-24,9
на енергоресурси, грн/га	311,1	270,3	-40,8
на інші витрати, грн/га	83,8	78,6	-5,2
Економічний ефект, грн/га	109,39		
Економічний ефект з урахування річного завантаження агрегату, грн/га	41571,53		
Термін окупності проекту, року	0,6		

Висновки:

1. У проектному варіанті за рахунок застосування вдосконаленого складу агрегату (додавання СДНОД-1) досягнуто збільшення річного завантаження на 20 га (з 360 до 380 га) та підвищення швидкості руху агрегату на 1,7 км/год. Це призвело до збільшення продуктивності з 3,03 га/год до 3,64 га/год (+0,61 га/год).

2. Завдяки оптимізації роботи агрегату вдалося знизити витрату палива з 6,1 кг/га до 5,3 кг/га, що відповідає економії 0,8 кг/га. Це сприяє зменшенню витрат на енергоресурси.

3. У проектному варіанті експлуатаційні витрати зменшилися на 109,4 грн/га (з 1761,11 грн/га до 1651,7 грн/га). Основними факторами зниження є:

- Зменшення витрат на оплату праці на 8,72 грн/га.
- Зниження витрат на амортизацію на 29,8 грн/га.
- Скорочення витрат на поточний ремонт і обслуговування на 24,9 грн/га.
- Економія на енергоресурсах у розмірі 40,8 грн/га.

4. Удосконалення агрегату забезпечило економічний ефект у розмірі 109,39 грн/га. При річному завантаженні агрегату цей ефект складає 41 571,53 грн, що значно підвищує економічну доцільність проекту.

5. Завдяки суттєвій економії витрат і збільшенню ефективності роботи, термін окупності проекту становить лише 0,6 року, що вказує на його високу рентабельність.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Поширення енергонасичених тракторів за останні роки в технологічному процесі механізації вирощування сільськогосподарських культур вимагає ефективного використання тракторів з повним завантаженням ДВЗ та реалізацією максимальних тягових зусиль. Вирішити питання завантаження ДВЗ можливо шляхом регулювання частоти обертання колінчастого валу ДВЗ та підбору відповідних передаточних чисел трансмісії. Підтримання раціональних тягових показників також може забезпечуватися шляхом баластування та регулювання тиску коліс трактора.

В конструкції сучасних тракторів передбачено системи контролю та підтримання максимальних тягово-зчіпних показників роботи МТА, шляхом використання високодискретних датчиків силового позиціонування робочих органів агрегату відносно навіски трактора, але на більшості вітчизняної техніки такі системи відсутні, що призводить до перевитрати палива та не дозавантаження МТА. Для вирішення даної проблеми в роботі запропоновано систему дистанційного накопичення та обробки даних для вітчизняних енергонасичених тракторів наприклад ХТЗ-243К за результатами, яких тракторист враховує не тільки суб'єктивні фактори, а реальні показники роботи агрегату та відповідно обирає бажаний режим роботи машино-тракторного агрегату.

2. За результатами теоретичних досліджень доведено що:

- запропонований метод визначення основних показників роботи ДВЗ за тиском турбонаддува, має високу точність та інформативність. Встановлення додаткових елементів системи контролю тиску не вимагає серйозного втручання в конструкцію ДВЗ.

- використання GPS систем дозволяє досить точно визначати фактичну швидкість переміщення МТА та буксування рушіїв без використання давачів обертання ведучих коліс або шляховимірників, що спрощує вимірювання.

- використовуючи метод локальних поліноміальних регресій LOESS отримано математичну модель буксування колісних рушіїв. Встановлено залежність буксування рушіїв від величини зчіпної ваги трактора значення якої можна регулювати за допомогою позиційно-силового регулятора.

3. За результатами експериментальних досліджень:

- доведено точність теоретичних досліджень та підтверджено гіпотезу залежності зміни навантаження двигуна від тягового зусилля і відповідно тиска наддуву. Тому запропонований спосіб контролю основних тягових параметрів при роботі МТА є досить точним і більш доступним та інформативним.

- доведено ефективність системи дистанційного накопичення та обробки даних основних експлуатаційно-технологічних показників роботи МТА за рахунок вчасно інформування оператора про зміну основних показників МТА та підбору необхідних режимів роботи силового агрегату. Так при роботі МТА на боронуванні в складі трактора ХТЗ-243К і дискової борони БДВП-4,2 підбір бажаних режимів за даними СДНОД-1 дозволив підвищити продуктивність агрегату на 12,5 % та знизити витрату пального 13,7 %.

4. За результатами проведеного аналізу стан охорони праці знаходиться на задовільному рівні, що підтверджено розрахунками основних показників травматизму в господарстві. Розроблені заходи при експлуатації енергонасичених тракторів забезпечать безпечні умови праці та сприятимуть зниженню ризиків нещасних випадків.

5. Впровадження запропонованої системи дистанційного накопичення і обробки даних основних параметрів машино-тракторного агрегату ХТЗ-243К з навісними та причіпними знаряддями є економічно вигідним заходом. Він дозволяє підвищити продуктивність, скоротити витрати на експлуатацію та зменшити витрату палива, що сприяє зниженню собівартості виконання технологічних операцій. Швидка окупність проекту на боронуванні вона склала 0,6 року підтверджує доцільність його впровадження в господарстві .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарик І.В. Потужність - основний показник для трактора тягово-енергетичної концепції / І.В. Кухарик, І.М. Перерва // Техніка та технології АПК. – 2017. – № 5. – С. 18–21.
2. Зороб'ян, С.Р. Динаміка тракторних моторно-трансмісійних установок із двигунами постійної потужності / С.Р. Зороб'ян // Трактори та сільгоспмашини. - 2015. - № 8. - С. 11-14.
3. Пелих О.Б. Інструментальний контроль витрати палива як підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку на підприємствах АПК / О.Б. Пелих // Техніка та обладнання для села. - 2019. - № 5 (263). - С. 22-25.
4. Пелих О.Б. Енергонасиченість сучасних сільськогосподарських тракторів / О. Б. Пелих // Науково-інформаційне забезпечення інноваційного розвитку АПК: Матеріали XII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Харків 08-10 червня, 2020. - С. 469-473.
5. Крінко, М.С. Системний аналіз ефективності швидкісних тракторів у складних польових умовах/М.С. Крінко. - К.: Наука і техніка, 1980. - 208 с
6. Результати наукових досліджень агроінженерних наукових організацій щодо розвитку цифрових систем у сільському господарстві / Ю.Ф. Коваль, В.І. Бойко, В.П. Лобач, Ю.Х. Шог // Фермер. - 2022. - № 4 (298). - С. 2-6.
7. O. Mozhaiev, H. Kuchuk, D. Shvets, V. Tretiak, ... & M. Tretiak (2019). Minimization of power losses by traction-transportation vehicles at motion over a bearing surface that undergoes deformation. Eastern-European Journal of enterprise technologies, 1/1 (97), 69–74. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156721>
8. Tretyak, V. M., Boldovsky, V. N., Potapov, N N., & Davydenko, E. Yu. (2007). The method of determining the influence of the running systems of traction vehicles on the soil. Herald of KhPI, 12, 24–30.
9. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0322774-19>

10. Institute of Agriculture and Natural Resources NEBRASKA TRACTOR TEST LABORATORY [Електроний ресурс]. – URL: <https://tractortestlab.unl.edu/>

11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Проектування та інженерне забезпечення сільськогосподарського виробництва» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання / Налобіна О. О., Шимко А. В. – Рівне :НУВГП, 2023. – 127 с

12. Інноваційні трансформації аграрного сектора економіки: монографія / О. В. Шубравська, Л. В. Молдован, Б. Й. Пасхавер та ін. ; за ред. д-ра екон. наук О. В. Шубравської ; НАН України, Ін-т екон. та прогнозув. К., 2012. 496 с

13. Крачок Л. І. Новітні технології в сільському господарстві: проблеми і перспективи впровадження [Електронний ресурс]. Сталий розвиток економіки. Міжнародний наукововиробничий журнал. 2013. № 3.

14. Головчук А. Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки : підручник: Кн.1. Трактори. К. : Грамота, 2003. 336 с.

15. Система показників комплексної оцінки мобільних машин/Д.М. Чорний. – К.: Колос, 1988. - 420 с.

16. Федоренко В.Ф. Технічні та технологічні вимоги до перспективної сільськогосподарської техніки / В.Ф. Федоренко, Д.С. Баклан. - В.: ВНАУ , 2011. - 248 с.

17. Ревенко, В.Ю. Уточнена методика визначення площі опорної поверхні шин сучасної сільськогосподарської техніки/ В.Ю. Ревенко, С.С. Ткаченка// Техніка в АПК. - 2021. - № 7 (289). - С. 10-15.

18. Ревенко В.Ю. Підвищення ефективності машинно-тракторних агрегатів з колісними тракторами класів 1,4, 2 та 3 на основі оптимізації параметрів рушіїв: спеціальність 05.20.01 "Технології та засоби механізації сільського господарства" : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Ревенко Валерій Юрійович. - Тернопіль, 2004. - 182 с.

19. Wong, J.Y. Optimization of the tractive performance of four-wheel-drive tractors: Theoretical analysis and experimental substantiation / J.Y. Wong, N.B.
20. Datum Electronics. PTO monitoring system. [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.datum-electronics.com/pto-power-monitoring-system.aspx.htm>.
21. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. К.: Арістей, 2004. 476 с.
22. Захарчук В.І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: Навч. посібн. для студентів ЗВО. Видавництво «Каравела», 2022, 232 с.
23. Тарківський, В.Є. Дослідження методів отримання та цифрової обробки сигналу датчика повороту колеса сільськогосподарського трактора / В.Є. Тарківський // Вісник КНТУ. - 2015. - № 5 (87). – С. 11–20.
24. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС. 2019. 268 с.
25. Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Грановський Ю.В. Планування експерименту під час пошуку оптимальних умов. М: Наука. 1976. 280 с.
26. <https://www.eridon-tech.com.ua/precision-farming/>
27. Ящеріцин П.І., Махарінський Є.І. Планування експерименту у машинобудуванні. Мінськ: Вища школа. 1985. 286 с.
28. В.І. Голінько. Основи охорони праці: В.І. Голінько; Національний гірничий універ-т. –2-ге видання. – Д.: НГУ, 2014. 272 с.
29. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки" № 2245-III зі змінами від 09.04.2014 - № 1193-VII набирає чинності з 26.04.2014 р.
30. «Закон України «Про охорону праці». №2695-XII закон діє у редакції від 21 листопада 2002 р. із наступними змінами.
31. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. Київ., 2005.

ДОДАТКИ

Додаток А
Складові системи дистанційного накопичення та обробки даних роботи МТА
GPS-ПРИЙМАЧ AG LEADER 6000



Ag Leader GPS 6000 – компактне і доступне рішення для систем навігації, яке представляє собою одночастотний приймач. Призначений як для ручного управління (Курсовказівник), так і разом з Steady Steer - прийом тільки безкоштовного сигналу!

Переваги та характеристики:

- підвищення точності позиціонування до 15-20 см. Забезпечується завдяки прийому супутникових сигналів **GPS і ГЛОНАСС** з використання технології згладжування **GLIDE**;
- можливість визначення координат з частотою – **10 Гц**;
- можливість легкого монтажу і демонтажу за рахунок вбудованих магнітів і металевої пластини для кріплення;
- вологозахисний, компактний і ударостійкий корпус – **IP67**.

Блок керування AG Command Z3



AG Command Z3– це сучасний потужний контролер, який дозволяє накопичувати та обробляти дані з аналізом основних параметрів роботи МТА також поєднує в собі функції курсовказівника та здійснює керування підрулюючим механізмом. Завдяки своїй універсальності отримав поширення на будь-яких трактор, самохідних комбайнах обприскувачах.

Особливості:

має дев'ятиосову компенсацію рельєфу місцевості ;
автоматичне визначення орієнтації в просторі;
має можливість обробки сигналів від 10 ти датчиків;
оперативний аналіз даних з виводом основних показників роботи МТА на дисплей InCommand.

Сенсорний монітор InCommand 1200

Універсальний інтерактивний пристрій для виконання широкого спектру агрооперацій. Управляється як планшетний комп'ютер з діагоналлю екрана 30,7 см, завдяки чому механізатор одержує одночасний доступ до даних про роботу МТА з можливістю контролю основних параметрів агрегату.



Переваги та особливості:

Можливість одночасного управління та контролю 10-ма параметрами.

Підтримка функції поліекрана для одночасного здійснення паралельного водіння МТА.

Вбудований світлодіодний ряд. Дозволяє швидко визначити факт відхилення від курсу в будь-який час доби.

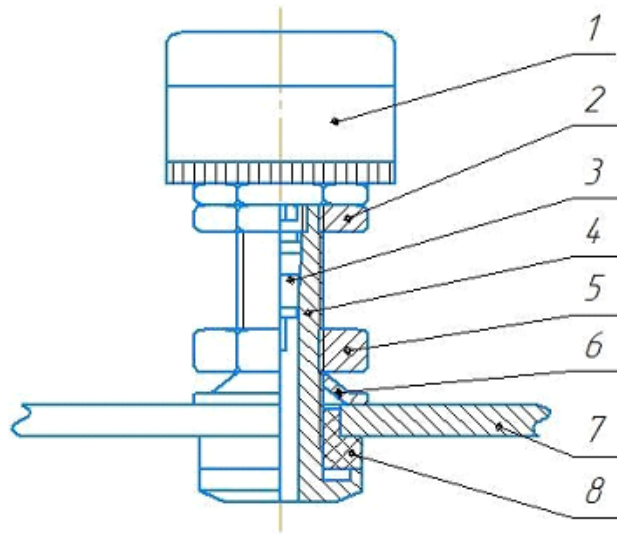
Можливість картування врожайності і обміру полів. Програмне забезпечення InCommand 1200 дозволяє збирати дані про роботу МТА аналізувати та інформувати про корегування режиму роботи агрегату за допомогою функції Direct Command.

Підтримка універсального терміналу ISOBUS і зовнішніх камер, що дозволяє значно розширити функціональні можливості InCommand 1200.

Можливість відстеження сортів при збиранні врожаю і подальшої вивантаження карт сортів в програмне забезпечення.

Можливість бездротової передачі даних (Wi-Fi) на iPad та Android за допомогою програми AgFiniti Mobile.

Додаток Б
Датчик тиску МУ5J



Монтаж датчика МУ5J на магістраль турбонаддуву двигуна ЯМЗ-536.

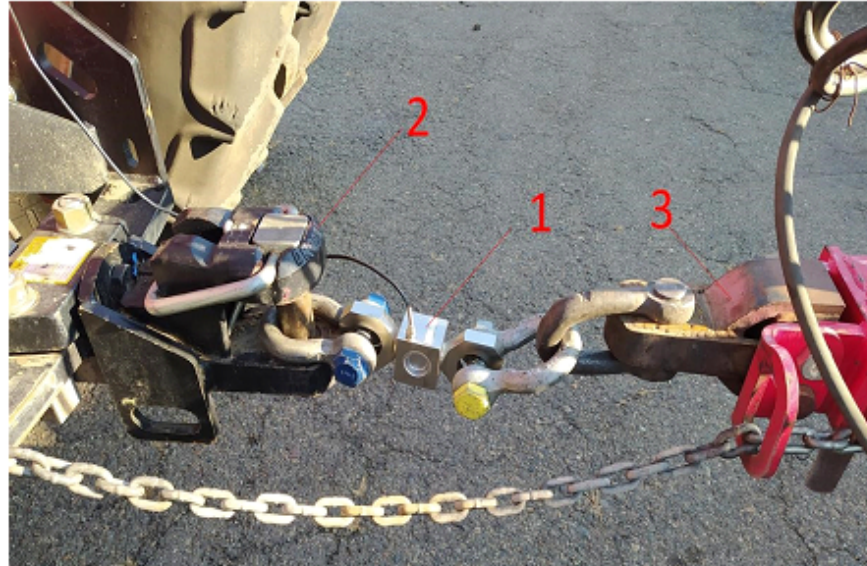
1 – датчик; 2 5 – гайка; 3 – запірний штифтовий клапан 4 – корпусу; 6 – шайба;
7 – патрубок 8 – кільце ущільнювача

Інформація з датчика надходить через радіомодуль Wi-Fi частотою 433 МГц на блок керування АГ системи.

Технічна характеристика датчика МУ5J

Параметри	Значення
Модель	МУ5J
Діапазон вимірювань, кПа	0...800
Помилка вимірювань, кПа	± 3
Робоча температура, °С	-40...+95
Напруга живлення, В	5
Джерело живлення	акумулятор
Матеріал датчика	Нейлон скловолокно, мідь
Різьбове з'єднання, мм	M12
Ступінь захисту	IPX7
Габаритні розміри, мм:	
- висота	17
- діаметр	21
Маса, г	9

Додаток В
Тензодатчик Utilcell-620



1 – буксир трактора; 2 – датчик; 3 – сниця агрегату

Основна характеристика тензодатчика Utilcell-620	
Виробник	Utilcell
Країна виробник	Іспанія
Одиниця виміру навантаження	Кілограм
Захист обладнання від води і пилу IP	IP67
Клас точності	C
Максимальна робоча температура	70 °C
Максимальне значення навантаження	6000
Мінімальна робоча температура	-30 °C
Мінімальне значення навантаження	50
Тип навантаження	Розтягнення