

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри  
Тракторів і автомобілів**  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ Калінін Є.І.  
(підпис) (ПІБ)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА**

**на тему «Підвищення ефективності використання мобільного .  
енергозасобу з трикутним рушієм»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Сівак І.М. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівник дипломного проєкту бакалавра**

\_\_\_\_\_ К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Соломка О.В. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Дергалюк Артем Вікторович \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ)

**КИЇВ – 2025**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
тракторів і автомобілів

д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Калінін Є.І.  
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту  
**Дергалюк Артем Вікторович**

Спеціальність \_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)  
208 «Агроінженерія» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Підвищення ефективності використання мобільного . енергозасобу з трикутним рушієм» \_\_\_\_\_

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024р. №2098 «С» \_\_\_\_\_

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: \_\_\_\_\_ 20.05.2025  
(рік, місяць, число)

**Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра:** встановлення трикутного гвинта замість пневматичного колеса підвищує ефективність використання мобільного джерела енергії в сільськогосподарських операціях

**Перелік питань які потрібно розробити** \_\_\_\_\_

Вступ \_\_\_\_\_

1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ \_\_\_\_\_

2 ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ \_\_\_\_\_

3 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ \_\_\_\_\_

4 РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ \_\_\_\_\_

Висновки \_\_\_\_\_

**Перелік графічного матеріалу:** \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання «01» грудня 2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра \_\_\_\_\_  
( підпис )

Соломка О.В  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
( підпис )

Дергалюк А. В  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, 3 таблиць , 15 посилань, 3 додатків та 26 малюнків.

У роботі розглянуто сучасні підходи до підвищення ефективності використання мобільних енергетичних машин у сільському господарстві шляхом зменшення тиску на ґрунт та покращення тягово-зчіпних властивостей. Проаналізовано досвід використання здвоєних шин, шин великого діаметра, аروحних безкамерних шин, а також напівгусеничних шасі.

Встановлено, що кожне з рішень має як переваги (зниження ущільнення ґрунту, підвищення прохідності, зменшення пробуксовування), так і обмеження (висока вартість, складність конструкції, зменшення ресурсу).

На основі аналітичного огляду зроблено висновок про доцільність застосування альтернативних рушіїв, зокрема трикутного гусеничного приводу, для мобільних енергетичних машин (трактори, комбайни), що дозволяє знизити антропогенний вплив на ґрунт, зберегти його структуру, підвищити продуктивність техніки та ефективність польових робіт в умовах підвищеної вологості.

Цей дипломний проект містить 45 сторінок пояснень, 3 таблиць, 27 рисунків, 10 посилань на літературу.

## ЗМІСТ

Вступ	6
1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Природні та кліматичні особливості	8
1.2. Технологія поліпшення зчіпних характеристик колісних енергетичних транспортних засобів	12
1.3. Класифікація гусеничних рушіїв	17
2. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ	19
2.1. Закономірності деформації ґрунту	19
2.2. Опір руху мобільних транспортних засобів через деформацію ґрунту	22
2.3. Опір руху трикутного гусеничного рушія	27
3. ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ	29
3.1. . Загальна методологія проведення експериментальних досліджень	29
3.2. Об'єкти досліджень, умови проведення досліджень	30
3.3. Вимірювання тягового зусилля	32
3.4. Вимірювання пройденого шляху, буксування трактора	34
3.5. Оцінка точності вимірювань	36
4. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ	37
4.1. Результати досліджень трикутних металевих гусеничних рушіїв у тракторів класу 1.4 кН	37
4.2. Дані щодо використання трикутного металогусеничного рушія в аграрній техніці для збирання зернових	39
4.3. Баланс потужності зернозбирального комбайна	41
Висновки	43
Список використаної літератури	

## ВСТУП

Київська область є основним виробником сільськогосподарської продукції. Площа цього регіону становить 28121 км<sup>2</sup>. На цей регіон припадає 38% загальної площі сільськогосподарських угідь та 58% орних земель. Загалом у цьому регіоні використовується 0,5 мільйона гектарів сільськогосподарських угідь.

На Київщині оранка та збирання зернових культур зазвичай відбуваються в періоди надзвичайної вологості ґрунту. У роки з високою вологістю повітря найбільша кількість опадів випадає в липні та серпні, до 150-160 мм. До 95% усієї площі орних земель затоплено – це пов'язано, перш за все, з кліматичними особливостями регіону. Через погану несучу здатність ґрунту під час сільськогосподарських робіт парк машин і тракторів використовується неефективно.

Навіть зернозбиральні комбайни не завжди можуть виконати поставлене завдання через низькі тягові властивості. Зернозбиральні комбайни, транспортні засоби та інша сільськогосподарська техніка часто проїжджають полями. Водночас, механічний вплив ходової системи мобільних енергетичних транспортних засобів викликає ущільнення ґрунту, що негативно впливає на його фізико-механічні властивості.

Ущільнення ґрунту зрештою призводить до зниження його родючості та, як наслідок, до зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Найбільш перспективним напрямком підвищення ефективності використання мобільних енергетичних транспортних засобів є зменшення нормального тиску на ґрунт та підвищення тягових властивостей шляхом встановлення гвинта трикутної форми замість пневматичних ведучих коліс мобільних енергетичних транспортних засобів.

Встановлення трикутного гвинта замість пневматичного колеса підвищує ефективність використання мобільного джерела енергії в сільськогосподарських операціях. Предмет дослідження. Процес взаємодії між колісним трикутним гусеничним рухомим пристроєм та верхнім шаром зануреного ґрунту, покритим твердим шаром.

Методи дослідження Теоретичне дослідження процесу взаємодії між гвинтом та ґрунтом було проведено з використанням математичного інструментарію, такого як диференціальні та інтегральні розрахунки, тригонометричні ряди Фур'є та теоретична механіка. Використав основні положення, дослідження проводилися в польових умовах, дані були оброблені з використанням сучасних методів теорії ймовірностей. Встановлення

трикутних гусеничних приводів замість пневматичних коліс може підвищити ефективність мобільних енергетичних транспортних засобів. Це покращує зчеплення та зменшує антропогенний вплив мобільного енергетичного обладнання на ґрунт. Були отримані аналітичні залежності для визначення опору руху трикутного орбітального апарату та опору коченню пневматичних коліс керованих лап. Досягнуто балансу потужності мобільного енергетичного транспортного засобу з трикутним орбітальним приводним агрегатом. Під час розрахунку тангенціального зчеплення гусеничного приводу математичний апарат використовує тригонометричні ряди Фур'є для врахування нерівномірного розподілу вертикальних дуг по довжині опорної поверхні.

Використання звичайних трикутних гусеничних приводів замість провідних пневматичних коліс у мобільних електростанціях підвищує продуктивність, покращує зчеплення з дорогою та зменшує вплив людини на ґрунт.

# 1. АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Природні та кліматичні особливості

Одним з основних факторів, що впливають на ефективність використання парку техніки та тракторів, є природно-кліматичні умови. Отже, рівень механізації сільського господарства в регіоні визначається такими показниками: кліматичними умовами (температурою, кількістю та розподілом опадів, вологістю повітря тощо);

Тип ґрунту, фізико-механічні властивості (механічна структура, питомий опір, вологість, твердість тощо), особливості агротехніки вирощування сільськогосподарських культур, характеристика полів (довжина прогонів, кут схилу, кам'янистість ділянок, перезволоження тощо).

Регіон характеризується різкими коливаннями річних і добових температур, гірським рельєфом, сейсмічністю, великою кількістю водно-болотних угідь, високою кількістю опадів та другої половини літа (мусон), річковими повеннями тощо. Клімат Київської області формується під впливом температур поверхні влітку та взимку. З квітня по жовтень холодне повітря зі рухається до моря, що зумовлює прохолодну погоду, низьку вологість та легку й розріджену хмарність. Київська область входить до помірного кліматичного поясу.[1]

Клімат різко континентальний, характеризується нерівномірним розподілом опадів протягом року, а також більшою кількістю теплових ресурсів, ніж інші регіони тієї ж широти (рис. 1.1).

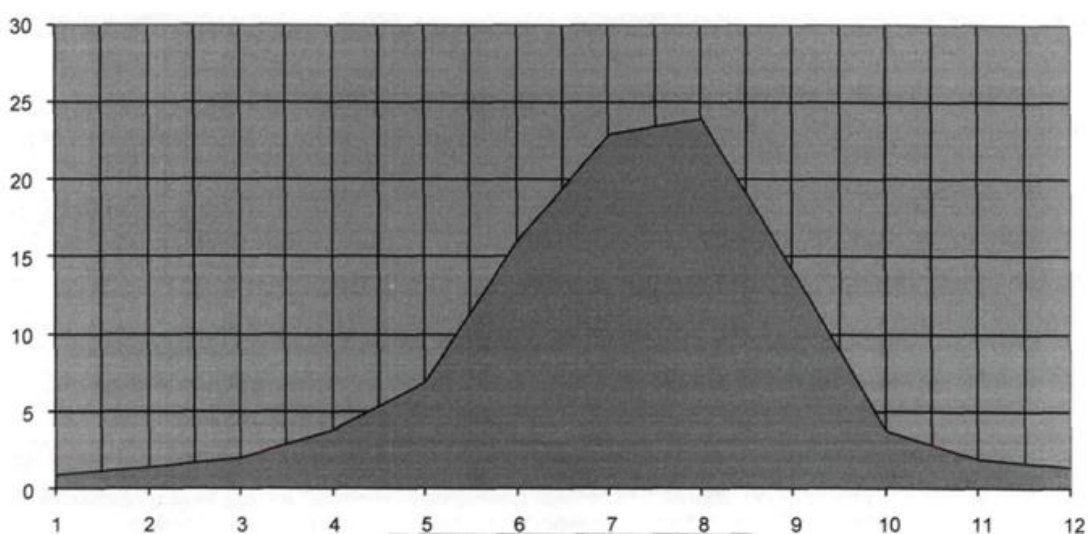


Рис. 1.1. - Розподіл опадів, що випали, по місяцях року в %

В основних сільськогосподарських районах зима тривала та сувора, з низькою температурою повітря та невеликим сніговим покривом. У період із листопада по лютий випадає трохи більше 7% опадів від середнього річного обсягу. Січень - найхолодніший місяць року, температура коливається до  $-25^{\circ}$ , тривалість зимового періоду становить 120 - 160 днів. Грунт на півдні області промерзає до 2,5 м-коду, а в центральних районах - до 3,5 м-коду. Північні сільськогосподарські райони області розташовані у зоні мерзлоти.[2]

Перехід від зими до літа поступовий. Відтавання ґрунту протікає повільно через те, що весняні температури відстають від своєї широтної норми. Танення снігового покриву відбувається поступово, сніг сходить рано, на початку квітня, коли ґрунт ще мерзлий. Невелика кількість опадів та низька вологість повітря (у травні до 9 днів із вологістю до 30%) супроводжуються сильними вітрами.. На весну припадає близько 7 - 14% річних опадів. У травні та першій декаді червня спостерігаються значні коливання температури повітря протягом доби: вдень вона підвищується до  $20 - 25^{\circ}\text{C}$ , а вночі може опускатися до  $+1^{\circ}\text{C}$ . Середня тривалість періоду з температурою вище  $10^{\circ}$  становить 111 - 127 днів, а без морозу 105 - 130 днів. Літо зазвичай тепле, з помірно сухою погодою у першій половині та вологою – у другій.

За літній період випадає понад 60% річної кількості опадів, досягаючи максимуму у липні-вересні. У цей час нерідкі тривалі зливи. За добу іноді випадає понад 30 мм опадів, що спричиняє періодичне перезволоження ґрунту. Осінь суха, тепла. Заморозки настають у другій декаді вересня. В економіці Київської області сільське господарство відіграє значну роль - 58% всієї ріллі.

Київська область має певний спектр ґрунтових горизонтальних, бурих лісових, лугових, алювіальних та болотних ґрунтів. Так, зона тундрових ґрунтів представлена гірничотундровими ґрунтами, а зона буротаїжних ґрунтів представлена: у гірському ряду - гірськими буротаїжними та мерзлотними, у горизонтальному ряду - буротаїжними ґрунтами. Зону бурих лісових ґрунтів можна охарактеризувати наступним чином: у гірському ряду представлена бурими гірничо-лісовими ґрунтами, а в горизонтальному ряду – бурими лісовими опідзоленими та бурими лісовими поверхнево-глієвими.[3]

Зона лугових лісових ґрунтів представлена в горизонтальному ряду лучними чорноземоподібними, а при підвищеному дренажі бурими лісовими ґрунтами. Болотяні ґрунти представлені різновидами: торф'яно-глієвими, торф'янисто-перегнійно-глієвими, торф'яно-глієвими, муловато-глієвими, торф'яно-іловато-глієвими та торфовищами. Ці ґрунти багаті вмістом загального азоту, мають кислу реакцію, а також обмежені форми рухомого фосфору.

Ґрунти переважно важкі за механічним складом, складаються з перезвожених дернових та сіро-підзолистих ґрунтів або торф'яних ґрунтів.

Ці ґрунти мають низьку проникність, низьку водоємність та значну глибину промерзання до 2,5 м, що призводить до застою води та перезволоження.

Більшість оброблюваних земель розташована в південній частині рівнини. Рівнина заповнена різноманітними ґрунтами. Основні оброблювані землі на рівнині складаються з чорноземів, схожих на луки середньої товщини, з товщиною гумусового шару 0,20–0,40 м. Бурі лісові, бурі трав'янисті, лучні та заплавні ґрунти зустрічаються рідше. Різкого переходу від одного типу ґрунту до іншого не відбувається.

Ґрунти за механічним складом класифікуються на середньосуглинкові та важкі суглинкові. Важкі механічні споруди призводять до багатьох несприятливих гідрофізичних властивостей ґрунту, включаючи схильність до надмірного зволоження. Рельєф сільськогосподарських угідь являє собою злегка хвилясту рівнину. Ухил оброблюваної землі не перевищує 3 градусів. Ділянки з ухилами більше 4 градусів практично відсутні в області.

Основні оброблювані райони це степові ґрунти. Такі ґрунти у значній мірі зустрічаються в районах, цей тип ґрунту становить близько 60 відсотків усіх оброблюваних земель у регіоні. Бурі лісові ґрунти є найпоширенішими та використовуються під орні землі в районах.

Сільськогосподарські угіддя становлять менше 7,5 відсотка від загальної площі земель регіону, а кількість сільськогосподарських угідь на душу населення лише в 1,5 раза перевищує середній показник по країні. Більшість орних земель в області розташована в південній частині рівнини.

Ферми площею від 40 до 45 гектарів займають 52 відсотки орних земель. Крім того, багато районів регіону мають земельні площі понад 250 гектарів. На рисунку 1.2 чітко показано структуру оброблюваних земель в області за довжиною траси. область є основним сільськогосподарським підприємством.

Структура посівних площ на графічно представлена на рисунку 1.2.

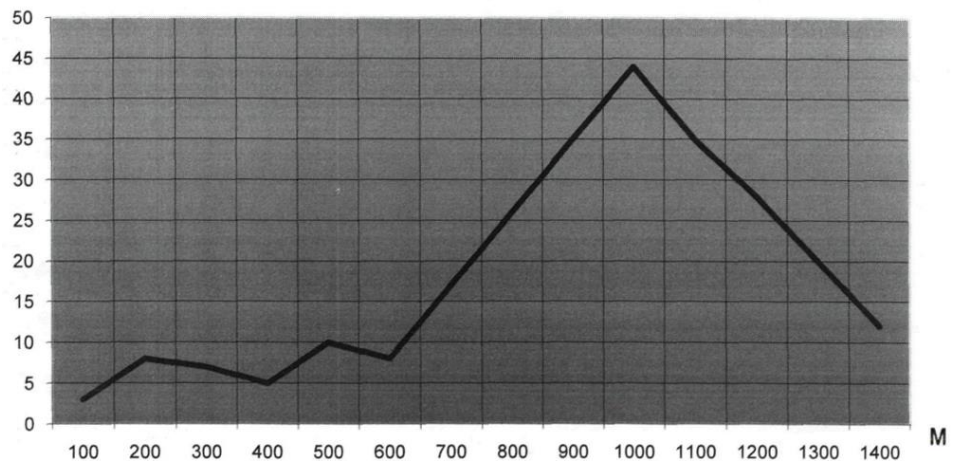


Рис. 1.2. - Структура сільськогосподарських угідь

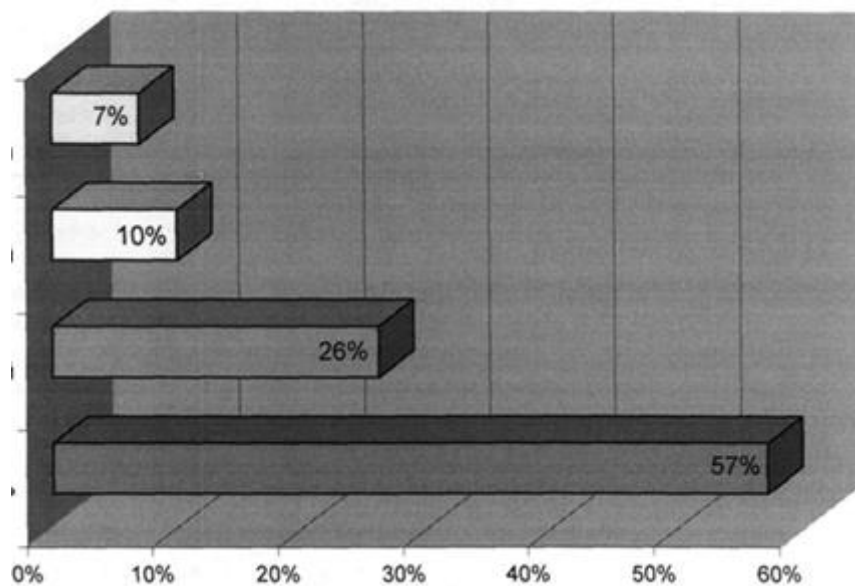


Рис. 1.3. - Структура посівних площ

Основні зернові культури: пшениця, жито, ячмінь. Овочеві культури: картопля, буряк, морква, помідори, огірки. Трав'янисті культури: кукурудза, багаторічні та однорічні трави.

Ці боби називаються «соєю». Це найважливіша продовольча, промислова та кормова культура в регіоні. Соєві боби містять 35-55% білка, понад 30% вуглеводів та 15-28% жиру. В останні роки продукти переробки сої широко використовуються у виробництві харчових продуктів. Продукти, виготовлені з насіння сої, включають соєву олію та маргарин, соєве молоко та сир, крупи та борошно, а також соєве какао та шоколад. Вони виробляють технічну продукцію, таку як мило, оліфа, лак, гліцерин, друкарська фарба, клеї, лінолеум, пластмаси, штучна вовна тощо. Зелене м'ясо, макуха та соєва солома є високоякісним кормом для тварин. Регіон виробляє понад 70% сої, що виробляється в Україні. Найкращим попередником зернових культур є соя.

Агротехніка вирощування сої включає збирання врожаю наприкінці вересня або жовтні, коли очікуються заморозки. Під час збору врожаю пізньої квасолі обробіток слід проводити переважно навесні, оскільки погода занадто холодна для підготовки ґрунту до осінньої посадки.

Оскільки період посіву зернових культур обмежений, підготовку ґрунту до посадки необхідно завершити протягом короткого періоду часу. Середня якість ґрунту знаходиться в діапазоні 12,0 - 19,6 балів з біокліматичним потенціалом 0,9...2,5 (що відповідає низькій та середній кліматичній продуктивності). Аналіз природно-кліматичних характеристик місцевості показав, що опади випадають переважно в період польових робіт. До 95 відсотків орних земель було під водою.

Ці фактори ще більше посилюються тим фактом, що ґрунти сильно оброблені машинами. У таких випадках техніко-економічні показники збиральних робіт та потенціал врожайності часто залежать від національних можливостей техніки. Характерні кліматичні особливості регіону, визначають специфіку формування регіональної механічної системи.

Висока прохідність автомобіля вимагає використання гусеничної трансмісії. Багато збиральних машин зернозбиральні комбайни, кормозбиральні комбайни та інші сільськогосподарські машини встановлені на гусеничних шасі.

## **1.2 Технологія поліпшення зчіпних характеристик колісних енергетичних транспортних засобів**

Тягові властивості тракторів значною мірою визначаються досконалістю конструкції його гребних гвинтів. У сільському господарстві трактори працюють переважно на пухких, погано ущільнених ґрунтах. Це призводить до значних витрат потужності двигуна на подолання опору мобільного транспортного засобу.

Отже, створення гребних гвинтів з високими тяговими властивостями є одним з найважливіших завдань підвищення ефективності використання мобільних джерел енергії в сільському господарстві. У структурі машинно-тракторного парку найбільший відсоток складають трактори. На зв'язних ґрунтах, які не ущільнюються, а також під час руху по перезволожених ґрунтах колісні трактори часто втрачають свою прохідність.[4]

Під час роботи на перезволожених ґрунтах з важкими механічними конструкціями у колісних тракторів різко збільшується величина пробуксовки ведучих коліс, що супроводжується утворенням вибоїн.. Колісні транспортні

засоби вступають в експлуатацію пізніше, ніж гусеничні. Ці періоди досягають 10-12 днів. В Київській області весняний обробіток ґрунту є важливим якомога раніше, щоб підтримувати вологість ґрунту протягом посушливої першої половини літа.

Одним з основних способів покращення тягових властивостей колісних тракторів є вибір оптимальних параметрів приводних агрегатів для експлуатації в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах – діаметра колеса та ширини профілю шини, тиску повітря в шинах та малюнка протектора, від яких залежать форма та розмір опорної поверхні шини. Для покращення прохідності та зчеплення колісних тракторів у складних ґрунтово-кліматичних умовах застосовують додаткові пристрої для зменшення пробуксовки пневматичних шин (уширювачі, додаткові ґрунтозачеми, напівгусениці тощо), а також трактори з кількома ведучими мостами.

Аналіз літературних джерел дозволив визначити основні напрямки дослідження з розглянутого питання. Багато авторів у своїх роботах вказують способи підвищення тягових властивостей колісних тракторів, які можна розділити на три групи: зменшення нормального тиску на ґрунт, збільшення коефіцієнта зчеплення та збільшення його ваги.

Загальне зниження тиску в ґрунті здійснюється такими методами: використання напівгусеничного шасі, використання розширювачів коліс, встановлення здвоєних коліс, встановлення великих коліс, встановлення арочних шин. Ефективним способом підвищення тягових властивостей мобільного транспортного засобу є збільшення площі контакту шляхом встановлення здвоєних коліс, що призводить до зменшення ущільнення ґрунту рухомими системами. Проведені дослідження показують, що коли колісні трактори їздять на здвоєних колесах, ущільнення ґрунту еквівалентне ущільненню, яке досягається при коткуванні катком, наповненим водою. Наприклад, використання трактора ХТЗ-240 серії зі здвоєними колесами в стерні збільшує коефіцієнт зчеплення трактора на 15% порівняно із серійним.

Досліджуючи ефективність методів зниження нормального тиску колісних тракторів на ґрунт, зазначив, що встановлення додаткових коліс на трактор класу 1.4 підвищує тягові властивості трактора на ґрунтах з низькою несучою здатністю.

При вивченні взаємодії гвинтів сільськогосподарських тракторів з ґрунтом в умовах періодичного занурення дійшов висновку, що встановлення подвійних стандартних шин на трактори класу 1.4 покращує прохідність та тягові властивості на ґрунтах з низькою несучою здатністю та забезпечує їх використання, аналогічне використанню гусеничних тракторів.

Автори доводять, що продуктивність та ефективність двоколісного трактора 1.4 кН вищі, ніж у гусеничного трактора ХТЗ – 180 серії за показниками посіву, обробітку ґрунту та вологоутримання на 100 га.

На думку авторів, покращення прохідності колісних тракторів шляхом оснащення їх здвоєними колесами значно зменшить потребу в гусеничних тракторах, дозволить проводити посів навесні, у найбільш придатний для агротехніки час, а також зменшить кількість ущільненого ґрунту та нормальний тиск, що сприятиме збільшенню врожайності сільськогосподарських культур. Обґрунтування встановлення подвійних шин на трактори є предметом дослідження.

Автори заявили, що раціональне встановлення здвоєних шин на трактори покращило продуктивність, підвищило динамічну стійкість, зменшило тиск на ґрунт та захистило структуру ґрунту. Використання здвоєних коліс на потужних тракторах збільшує тиск на ґрунт, коли він досягає глибини понад 1 м, що є суттєвим недоліком. Однак, в умовах підґрунтя у вигляді вічної мерзлоти усуває основний недолік збільшення ґрунтового напруження на глибині понад 1 м при проході трактора по ґрунту.

Також надійність конструкції, низька металоємність та можливість швидкого переобладнання показують, що найпростішим способом зменшення загального тиску на ґрунт колісних енергоємних тракторів в умовах Київської області є встановлення подвійних коліс. Це зменшує загальний тиск на ґрунт, зменшує деформацію, покращує зчеплення з дорогою та подовжує запас ходу та термін служби вашого колісного трактора. Американські дослідники проаналізували результати порівняльних випробувань гусеничних (вага 14,863 тонни, середній тиск 64 кПа) та колісних (7,627 тонни, 238 кПа) тракторів і виявили, що хоча середній тиск колісного трактора був у 3,7 раза вищим, стиск ґрунту, що прикладався до гусениць двох тракторів, був подібним, і що, крім тиску, на стиск ґрунту впливали такі змінні, як розмір механізму приводу трактора, розмір опорної поверхні та розподіл навантаження, що прикладався до опорних елементів.[5]

Трактор ХТЗ-243 (60 кПа) має менший стискальний вплив на ґрунт, ніж трактор ХТЗ-180 (48 кПа). Щільність ґрунту в слідах ХТЗ-243 трактора збільшилася на 0,04 г/см<sup>3</sup> порівняно з контрольною групою (1,06 г/см<sup>3</sup>), а в слідах трактора ХТЗ-18 - це збільшення було значно більшим і становило 0,16 г/см<sup>3</sup>. Під час оцінки ефекту ущільнення трактора рекомендується використовувати показники (максимальний тиск гусениці та колісної передачі), а не показники (середній тиск).

Науковці зазначили, що мінімальне ущільнення ґрунту та максимальна ефективність системи ходової частини досягаються шляхом оснащення трактора ХТЗ великими шинами 16.0-20 (передні) та 18.4R38 (задні).

Використання цього комплекту шин замість 8.3-20 та 15.5R38, що використовуються в експлуатації, зменшить глибину колії на 1,45 см та збільшить щільність ґрунту на 0,034 г/см<sup>3</sup>. Поточні високомодульні шини - 11.2R20 Mod. Створено. І 430 має в 1,3 рази менший тиск на ґрунт, ніж серійний F-165. До недоліків можна віднести складність та високу вартість виробництва, короткий термін служби та необхідність додаткових комплектів для використання в транспортних операціях. Площу контакту шини з ґрунтом можна збільшити, використовуючи більші шини, ширші шини або радіально-шарові шини.[6]

Безкамерні абочні шини призначені для використання в ґрунтах з великою кількістю стоячої води. Абочні шини набагато ширші за звичайні. Міцні ґрунтозачеми забезпечують гарне зчеплення з брудом, а малюнок протектора має чудові самоочисні властивості. Широка опора шин зменшує тиск трактора на ґрунт, зменшує глибину колії та покращує прохідність по пересіченій місцевості.

До недоліків можна віднести їх складність і високу вартість у виробництві, короткий термін служби та необхідність додаткового обладнання для транспортування. Абочні шини мають широкий профіль і призначені для використання на вантажних автомобілях загального призначення. Вони встановлені на задній осі замість здвоєних коліс. Низький тиск у шинах (0,05-0,15 МПа) та достатньо високі ґрунтозачеми абочних шин забезпечують повнопривідному автомобілю чудову прохідність по м'якій ґрунтовій поверхні, піску та мокрій місцевості. Водночас, абочні шини не підходять для тривалого використання на дорогах з твердим покриттям. Оскільки рідкісні та високі ґрунтозачеми можуть спричинити серйозну деформацію та пошкодження рами. Сильно орні ґрунти по збільшенню ширини профілю при постійному діаметрі шини дещо ефективніше зменшує опір коченню (при постійній ширині профілю), оскільки збільшує допустиму радіальну деформацію шини. Тобто, потенціал зниження тиску в шинах використовується максимально повно. В результаті, зміна загальної площі контакту більше залежить від ширини, ніж від зовнішнього діаметра шини.

Методи підвищення коефіцієнта зчеплення з ґрунтом ведучих коліс мобільних енергетичних машин розглядалися. Використання колісних тракторів з різною шириною колії для передніх і задніх коліс є особливо цікавим з наукової та практичної точки зору. Наразі не всі автори одноставні

щодо розташування послідовно приводних коліс трактора. Більшість авторів вважають, що передні та задні колеса трактора або всюдихода повинні бути в стані «пробуксування», що зменшить опір руху. Водночас багато авторів вважають, що за певних умов траєкторія руху задніх коліс відносно передніх не завжди є найвигіднішою для зменшення опору коченню.

Поліпшення тягово-зчіпних властивостей може бути здійснено рахунок використання довантажувачів коліс. Довантажувачі коліс можуть бути механічними та гідравлічними. Механічні довантажувачі переважно застосовуються на тракторах марок: ХТЗ різних серій. На колісних тракторах сучасних марок встановлюють гідравлічні довантажувачі, які, на відміну від механічних, дозволяють плавно на ходу збільшувати навантаження на провідні колеса. Критерієм оцінки використання ваги трактора вважається коефіцієнт використання тягового зусилля:

$$\varphi_y = \frac{P_{kp}}{G} \quad (1.1)$$

де  $P_{kp}$  - тягове зусилля, кг;

$G$  - конструктивна вага трактора, кг.

Напівгусеничні шасі використовуються для покращення ходових якостей мобільних силових транспортних засобів. Трактори, обладнані таким чином, дуже ефективно працюють не тільки на замерзлому ґрунті, але й взимку, коли використання колісної техніки обмежене або неможливе. Використання напівгусеничного шасі в мобільних енергетичних транспортних засобах зменшує втрати опору коченню на 5–6% порівняно зі стандартним колісним приводом. Використання напівгусеничного транспорту за нормальної вологості ґрунту зменшує ковзання приблизно на 10%, а зі збільшенням вологості ефект зменшення ковзання стає ще більшим.

При 40% вологості ґрунту пробуксовка тракторів, оснащених напівгусеничними шасі, зменшується на 20% порівняно з колісними варіантами. У роботі зазначалося, що використання напівгусеничного шасі може значно збільшити тягову силу трактора під час роботи у складних ґрунтових умовах. Ця технологія забезпечує підвищене зчеплення з дорогою, швидкість та зменшене пробуксовування порівняно з колісними мобільними енергетичними транспортними засобами. Отже, в результаті аналітичного огляду досліджень шляхів покращення тягового зчеплення мобільних енергетичних машин з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, вдалося прийняти наукову гіпотезу про використання трикутного гусеничного приводу

в конструкції мобільних енергетичних машин (колісні трактори класу 1,4 кН, колісні зернозбиральні комбайни) замість провідних пневматичних коліс.

### 1.3 Класифікація гусеничних рушіїв

Схема класифікації гусеничних рушіїв суттєво залежить від загальної мети, що ставиться під час виконання конкретного виду роботи.

Наведена класифікація. Науковці думають над специфічними рисами, які відрізняють і об'єднують усі відомі та можливі конструкції тракторів та автомобілів. Для мобільних сільськогосподарських енергетичних машин, у яких гусеничний привід не виконує основних функцій, багато класифікацій можна опустити. Водночас, у цій класифікації не знайшли відображення індивідуальні конструктивні та схематичні особливості гусеничних приводів, які суттєво впливають на динаміку їхньої взаємодії з ґрунтом.

Також науковці у своїх книгах класифікацію гусеничних гвинтів самохідних сільськогосподарських машин. Ключем до цієї класифікації є не конструкція, а динамічні характеристики машини в цілому. Класифікація базується на таких факторах: одноланковий гвинт з провідною ланкою "класичної форми", одноланковий ручний гвинт "класичної форми", одноланковий гвинт трикутної форми з провідною зірочкою зверху, одноланковий ручний гвинт трикутної форми. З цих чотирьох елементів побудовано різні системи класифікації (рис. 1.4).

У класифікації назви одинарних, дволанкових та n-ланкових рушіїв вказують на те, скільки механізмів локомоції має даний рушій, тому в цьому випадку один механізм локомоції має два колійні рушії, один правий і один лівий.

У більшості випадків ходова частина гусеничного трактора складається з підвіски, амортизаторів та натяжних пристроїв, гусениць, опорних та підтримуючих катків, а також ведучих та напрямних коліс.

Науковці з України зазначають, що до системи приводу орного гусеничного трактора повинні бути пред'явлені такі вимоги: а саме: необхідно забезпечити конструктивний зв'язок зі зібраною сільськогосподарською технікою та можливість її використання для виконання транспортних операцій. Для буксирування 5-го класу дорожній провіт повинен бути не менше 0,36 метра.

Найменший радіус повороту для класу буксирування 3-0,3 метра повинен становити 2,1 метра для класу буксирування 5-6.

Таблиця 1.1. Класифікація гусеничних ходових пристроїв

Ознака, за якою виробляється підрозділ	Особливості конструкції
За призначенням	Металозв'язані: з шарнірним з'єднанням, з гнучким (пружним) з'єднанням ланок. Стрічкові: нескінченні, секційні. Пневматичні: кільцеві, подушкові, каткові, сегментні.
За типом приводу гусениць	Зачепленням: цівковим, цівково-гребневим, гребневим (зубовим).
За розподілом приводу самохода	Передній привід, задній привід, привід опорних коліс, безпосередній привід стрічки.
За конструктивною схемою машин	Двогусенична, багатогусенична (односекційна), зчленована.
За характером напрямних опорної гільки	Суцільні напрямні (санчата): із сухим тертям, із повітряним змащенням, з роликками на гусениці. Опорні котки: жорсткі, еластичні, пневматичні.
За розташуванням опорних котків	Однорядне, дворядне, шахове.
За характером підвіски	Індивідуальна: жорстка, еластична. Балансирна: жорстка, еластична. Комбінована. Керована.
За пружним елементом підвіски	Гвинтова пружина, металева листовая ресора, торсіон, полімерний пружинний елемент, пневматичний пружинний елемент, пневматичний пружинний елемент, комбінований.
За механізмом повороту	З диференціалом; з бортовими фрикціями; з планетарними механізмами повороту: одноступінчастими, багатоступеневими, диференціальними; з поворотом гусеничних візків; із вигином гусениць у плані.

Високий рівень інтеграції конструкції дозволяє створювати модифікації, включаючи промислові модифікації, призначені для роботи з передньою вагою бульдозера, навантажувача або пнедробарки, що призводить до вищої надійності, меншої матеріаломісткості та менш трудомісткого обслуговування під час експлуатації.

Для буксирования 3 класу пробуксовка трактора не повинна перевищувати 6% при номінальному тяговому зусиллі до 2,5 метрів.

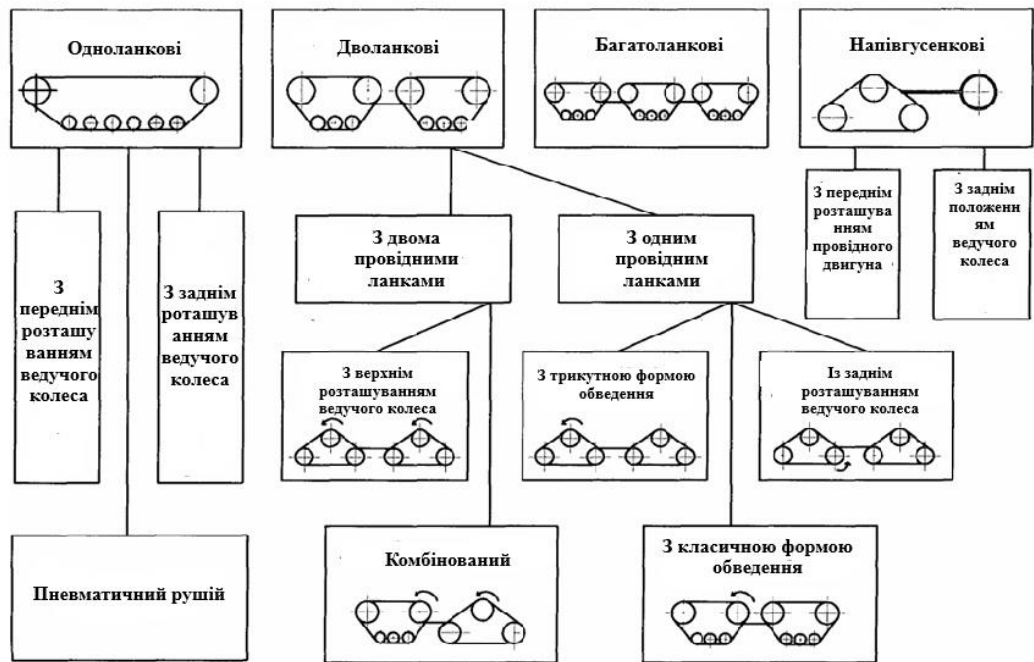


Рис. 1.4. Класифікація рушій

## 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 2.1 Закономірності деформації ґрунту

Вплив гвинта мобільного енергетичного транспортного засобу створює нормальні та тангенціальні поля напружень у ґрунті. Величина напружень у ґрунті залежить від конструкції рушійної системи мобільного енергетичного транспортного засобу, фізико-механічних властивостей та стану ґрунту. Якщо виникає напруга, яка перевищує те, що ґрунт може витримати, ґрунт деформується. Основними видами деформації є стиск і зсув.[8]

Коли ґрунт стискається у вертикальній площині, він створює опір руху джерел кінетичної енергії. Деформація ґрунту в горизонтальній площині визначає зчеплення мобільних енергетичних транспортних засобів.

Деформація ґрунту відбувається через відносне зміщення між частинками ґрунту та зміни середньої відстані між частинками. Якщо

частинки ґрунту повертаються у вихідне положення після зняття зовнішнього впливу, деформацію вважають пружною. Залишкова деформація виникає, коли положення частинок ґрунту змінюється порівняно з їхнім початковим положенням після зняття навантаження.

Пластична деформація виникає, коли залишкова деформація дорівнює загальній деформації, але насправді ґрунт проявляє як пружні, так і пластичні властивості за різних умов деформації. Величина та характер деформацій стиску та зсуву безпосередньо залежать від фізичних властивостей ґрунту. Фізичні властивості включають механічну структуру, густину, видиму густину, вологість та проникність.[7]

Величина та характер деформації ґрунту залежать від фізичних та механічних властивостей, таких як пластичність, адгезія, когезія та внутрішнє тертя. Коли рухома система взаємодіє з ґрунтом, ґрунт схильний до деформації. Основним типом деформації є вертикальне стиснення. Характеристики руху частинок ґрунту під впливом системи руху мобільного енергетичного транспортного засобу показано на рисунку 1.5.

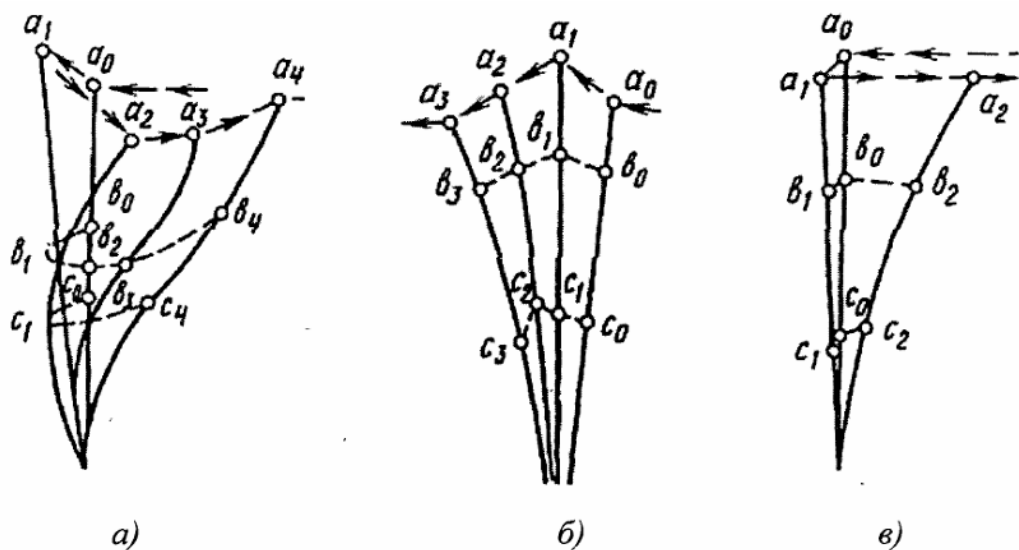


Рис. 1.5. - Проекція руху частинок ґрунту під час коткування:  
а - ведуче колесо, б - ведуче колесо, в - гусеничний рушій

Під час обертання ведучого колеса спрямуйте точку  $a_0$  на землю та перемістіть її вперед до першого положення  $a_2 - a_3 - a_4$ , а потім рухайтесь в протилежному напрямку  $a_0$  вздовж кривої.

Основні закономірності деформації ґрунту на вертикальній площині:

1. Лінійна
2. Ступенева

3. Показова

4. Гіперболічна

Згідно із загальноприйнятими припущеннями, кожна залежність виявляється по-різному в різних працях. Кожна з вищезгаданих залежностей має свої переваги та недоліки, які були виявлені в результаті кількох досліджень.

Для опису рисунка деформації ґрунту у вертикальній площині використовується наступна залежність:

$$p_{cp} = kh^{\mu};$$

$$p_{cp} = p_{нес} (1 - e^{-h/k}); \quad (1.2)$$

$$p_{cp} = p_{нес} th(kh / p_{нес}),$$

де  $k$  та  $\mu$  – емпіричні коефіцієнти, що залежать від розміру, форми штампа твердості та швидкості вдавлювання та відображають властивості ґрунту.

$p_{cp}$  - несуча здатність штампу, значення середнього тиску, у якому ґрунт деформується без подальшого збільшення зовнішнього навантаження.

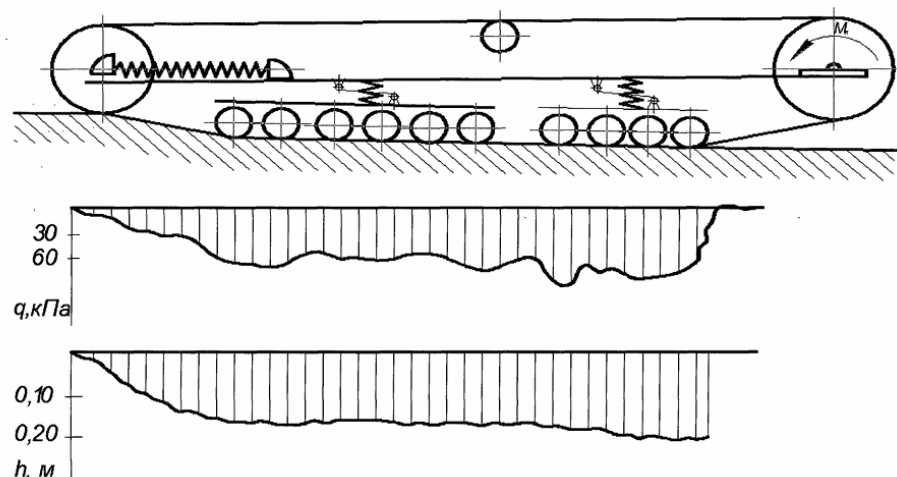


Рис. 2.1. - Діаграма розподілу нормального тиску та формування форми вздовж довжини поверхні підшипника

В дослідженнях вчених зазначалося, що залежність  $q=f(h)$  переважно отримується шляхом вдавлювання штампа в ґрунт, тоді як навантаження має постійний характер. Отримана таким чином залежність  $q=f(h)$  не повністю

відповідає дійсності при визначенні навантаження на ґрунт на гусеничних траках. Оскільки навантаження прикладається динамічно, коли ґрунт деформується через колію. Деформація ґрунту рушієм здійснюється не по лінії, перпендикулярній до ланцюга гусениць, а по вектору абсолютної швидкості.

Навантаження на ґрунт збільшується від нуля до тиску нижче опорної поверхні гвинта. Отже, для точнішого розрахунку опорно-тягового обладнання необхідно отримати залежність  $q=f(h)$  від фактичного стану деформації ґрунту, спричиненої гусеничним приводом. Для визначення бажаного типу залежності автори використовували експериментальні діаграми нормального тиску та формування проєкцій вздовж довжини опорної поверхні досліджуваного гвинта (рис. 2.1). З цих діаграм видно, що зі збільшенням тиску на ґрунт глибина колії також пропорційно збільшується. Видаляючи відповідні координати з діаграми дуги нормалі та формування проєкції, можна визначити тип залежності  $q=f(h)$ .

## **2.2. Опір руху мобільних транспортних засобів через деформацію ґрунту**

Рух мобільного енергетичного транспортного засобу досягається завдяки взаємодії гвинта та опори (ґрунту). Крутний момент від ведучої зірочки (колеса) викликає тангенціальну реакцію між гвинтом і ґрунтом. Тангенціальна реакція, що діє на гвинт, штовхає автомобіль вперед. Результатом тангенціальної реакції ґрунту є сила відштовхування. Через взаємодію між гвинтом та ґрунтом, ґрунт деформується в різних напрямках. Після проходження машини полем вона залишає за собою слід, глибина якого залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту та типу і конструкції гвинта. Зрештою, фізична картина взаємодії гвинта з ґрунтом визначає зчеплення самохідного транспортного засобу.[9]

Ефективним способом покращення зчеплення силового транспортного засобу є встановлення змінних трикутних металевих гусеничних приводів замість ведучих коліс. Розглянемо принципову схему шасі з трикутним металевим гусеничним приводом для трактора класу 1.4 та зернозбирального комбайна (рис. 2.2, рис. 2.3). Визначимо опір руху внаслідок деформації ґрунту для трактора класу 1.4 та зернозбирального комбайна, оснащеного знімною трикутною металевою гусеницею. Опір коченню, спричинений деформацією ґрунту, визначається двома факторами: опором коченню керованих коліс та опором коченню гусеничного приводу.

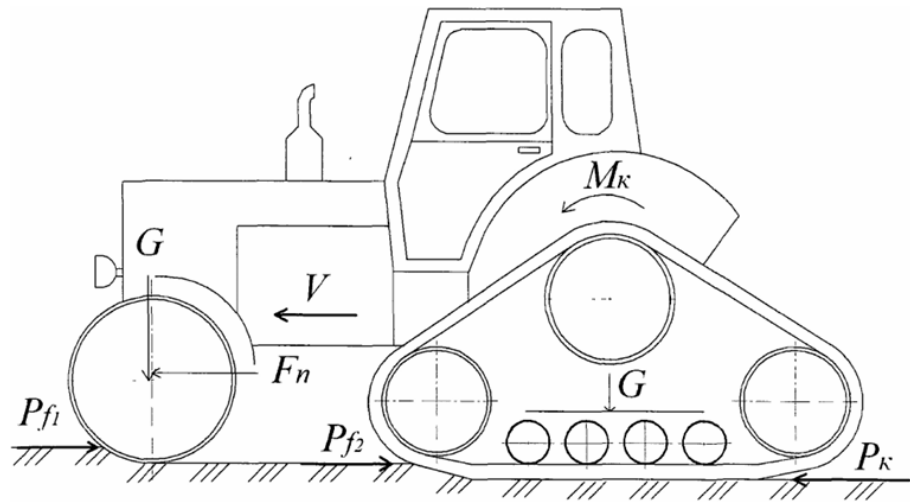


Рис. 2.2. - Схема шасі трактора класу 1.4 провідного трикутного металевого гусеничного рушія

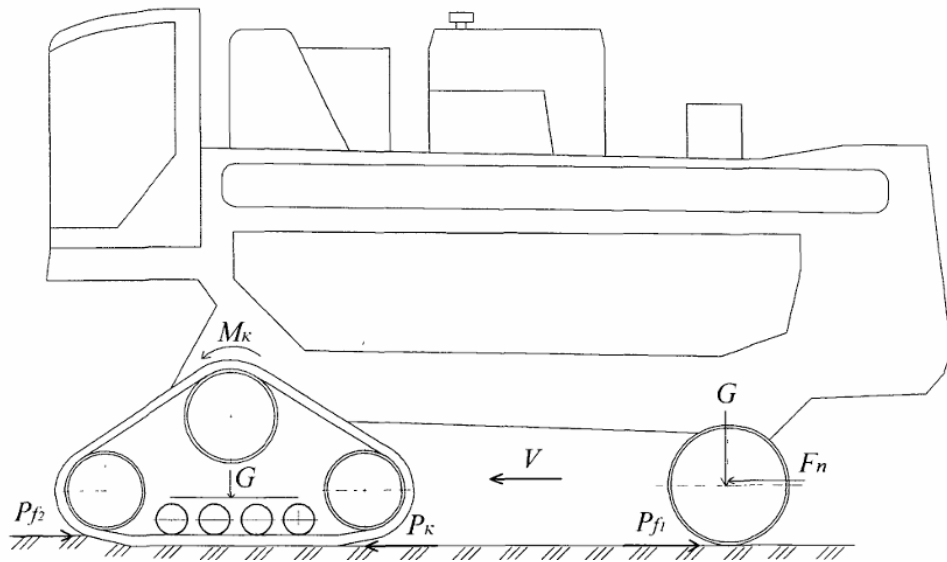


Рис. 2.3 - Принципова схема шасі зернозбирального комбайна з провідним трикутним металевим гусеничним рушієм

Науковці зазначають, що коли колесо котиться, ґрунт завжди стискається перпендикулярно до елементів кола. Обертання колеса не впливає на ущільнення ґрунту. Тому ущільнення ґрунту відбувається вздовж ліній, перпендикулярних до кола, центри яких знаходяться на одній прямій (рис. 2.4). Давайте виберемо базову платформу  $dF$  з обода колеса. Протягом базового часу  $dt$  точка на ободі колеса рухається за траєкторією точки на колу, яка котиться без ковзання по прямій лінії.

$$\begin{aligned} x &= r\varphi - r\sin\varphi, \\ y &= r - r\cos\varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

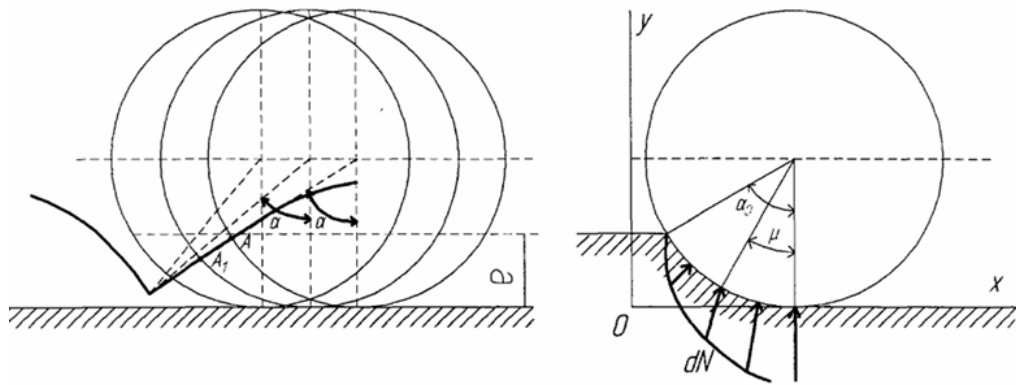


Рис. 2.4. – Кочення відомого колеса

Коли колесо обертається на основний кут  $\alpha$ , точка на ободі колеса переміщується з положення  $A$  в положення  $A_1$  (рис. 2.5).

Коли колесо повертається на кут  $\Delta\varphi$ , частинки ґрунту переміщуються з місця  $A$  до місця  $A_1$ . За словами науковців, якщо траєкторія руху частинок ґрунту перпендикулярна до обода кола, то в трикутнику (рис. 2.5) виконується наступне:

$$dS = \frac{dh}{\cos \alpha} \quad (2.1)$$

де -  $dS$  довжина елементарної дуги  $AA_1$  ( $dh=dy$ ).

Диференціюючи друге рівняння системи (2), отримуємо:

$$dy = r \sin \varphi d\varphi \quad (2.2)$$

$$ds = \frac{r \sin \varphi}{\cos \varphi} d\varphi = r \operatorname{tg} \varphi d\varphi \quad (2.3)$$

де  $r$  - динамічний радіус кола.

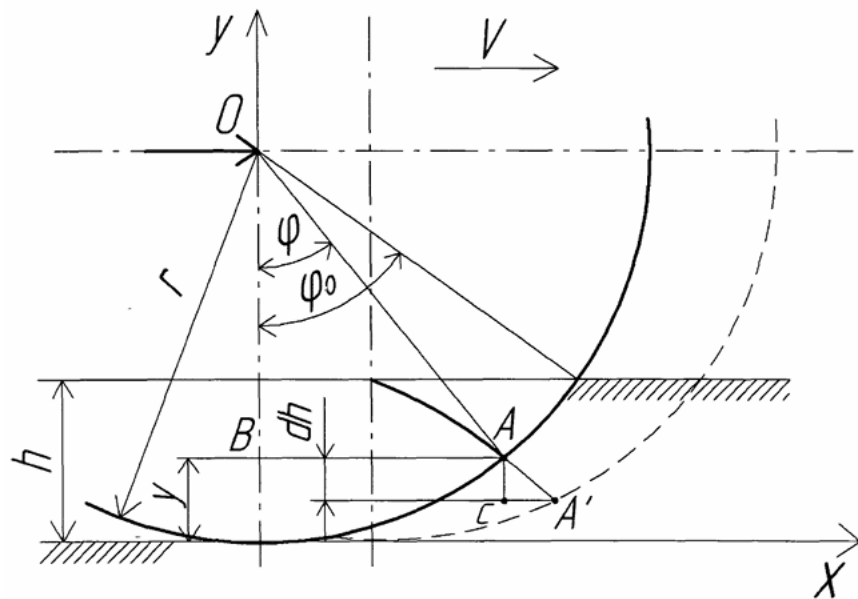


Рис. 2.5. - Схема визначення траєкторії переміщення частинок ґрунту ободом колеса.

Опір руху мобільного тягового засобу внаслідок деформації ґрунту визначається двома складовими: опором коченню коліс кермового моста та опором коченню гусеничного приводу. Схема взаємодії між веденим колесом та ґрунтом показана на рис. 2.6.

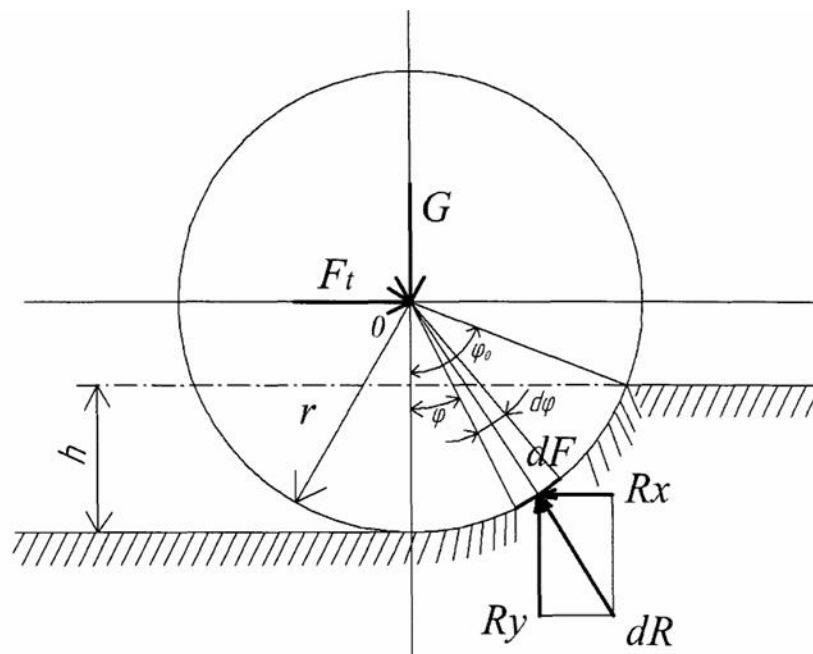


Рис. 2.6. Схема взаємодії ведучих коліс з ґрунтом

Базова реакція ґрунту визначається впливом на базове поле  $dF$  ( $dR$ ):

$$dR = qdF, \quad (2.6)$$

де  $q$  - нормальний тиск.

Для занурених ґрунтів зв'язок між нормальним тиском і вертикальною деформацією ґрунту  $q = f(h)$  визначається лінійною залежністю за наявності жорсткого непроникного шару.

$$q = c_0 h, \quad (2.7)$$

де  $c_0$  – об'ємний коефіцієнт стиснення ґрунту.

Тоді елементарна реакція визначається:

$$dR = c_0 h dF = c_0 h b r d\varphi; \quad (2.8)$$

Розкладемо основну реакцію ґрунту  $dR$  на горизонтальну  $dR_x$ , та вертикальна складова  $dR_y$

$$dR^2 = dR_x^2 + dR_y^2 \quad (2.9)$$

Горизонтальна складова реакції ґрунту  $dR$  визначає опір коченню колеса:

$$dR_x = dR \sin \varphi \quad (2.10)$$

Опір коченню колеса визначається інтегралом рівняння (2.10).

$$R_x = -R \cos \varphi \quad (2.11)$$

Підставимо значення реакції ґрунту  $R$  в отриманий вираз.

$$R_x = c_0 h b r (\varphi - \varphi_0) \cos \varphi \quad (2.12)$$

Для раціонального застосування формули (2.12) встановимо зв'язок між кутом  $\varphi$  та глибиною колії. Намалюємо діаграму (рис. 2.7), щоб знайти залежність  $q = f(\varphi)$ .

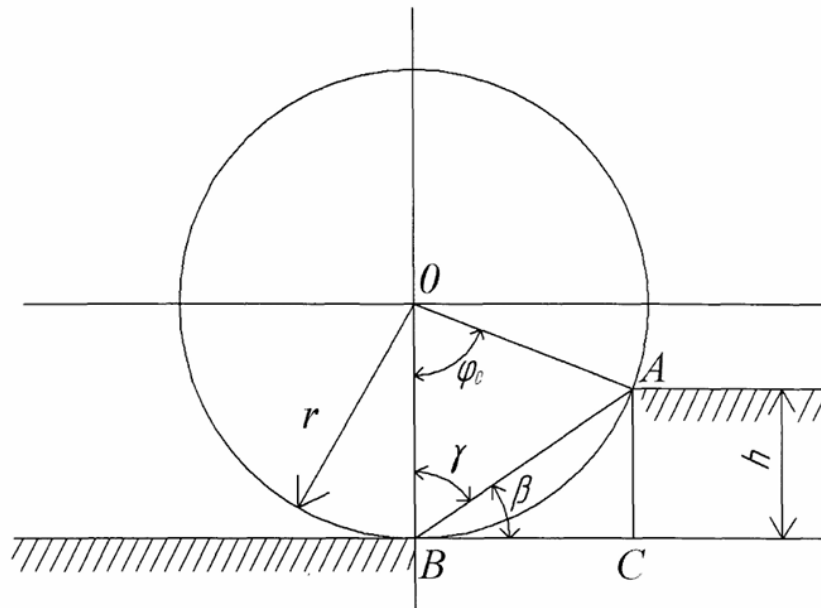


Рис. 2.7. - До висновку залежності між глибиною колії та кутом обхвату колеса ґрунтом

### 2.3. Опір руху трикутного гусеничного рушія

Під час руху мобільного тягового транспортного засобу ґрунт деформується передньою частиною гусеничного приводу. Деформація ґрунту викликає опір коченню гвинта. Горизонтальна складова реакції ґрунту визначає силу опору, зумовлену деформацією ґрунту (рис. 2.8).

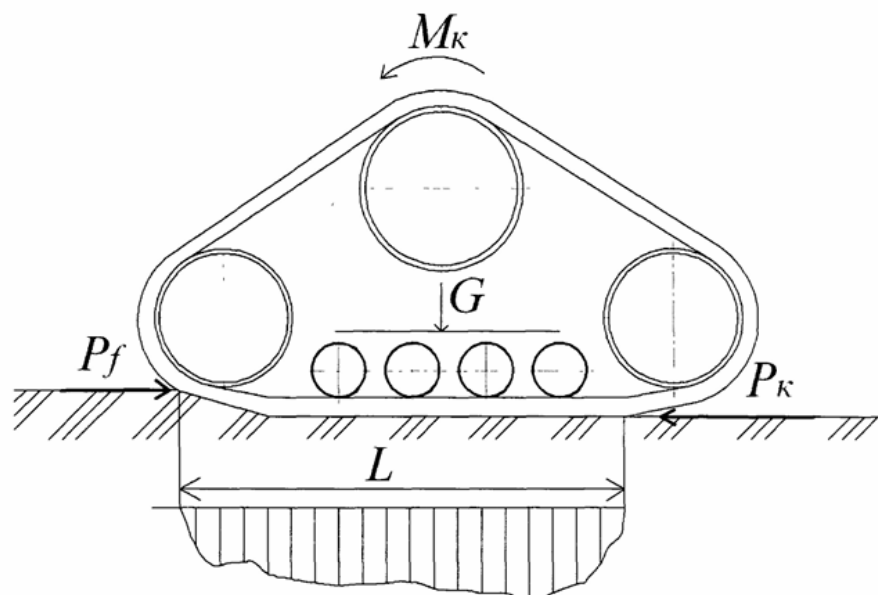


Рис. 2.8. - Схема деформації ґрунту передньою частиною гусеничного полотна, нормальний розподіл тиску по довжині опорної поверхні

Розглянемо базовий поперечний переріз  $dL$  гусеничного полотна та базову реакцію  $dR$  ґрунту під час взаємодії з ґрунтом (рис. 2.9). Якщо кут між нормаллю  $n$  та абсолютним вектором  $R$  не більший за кут тертя сталі в ґрунті, деформація ґрунту відбувається вздовж вектора абсолютної швидкості. Якщо ці умови не виконуються, деформація ґрунту відбувається в напрямку кута тертя. Основна операція переміщення ґрунту з точки  $A$  в точку  $A_1$  під час руху машини вздовж основної ділянки шляху  $dS$  виглядає наступним чином (рис. 2.9).

$$dA = R dh_0, \quad (2.15)$$

де  $R$  - реакція ґрунту на елементарну площадку лобової ділянки  
 $dh_0$  - елементарне переміщення ґрунту за напрямом деформації.

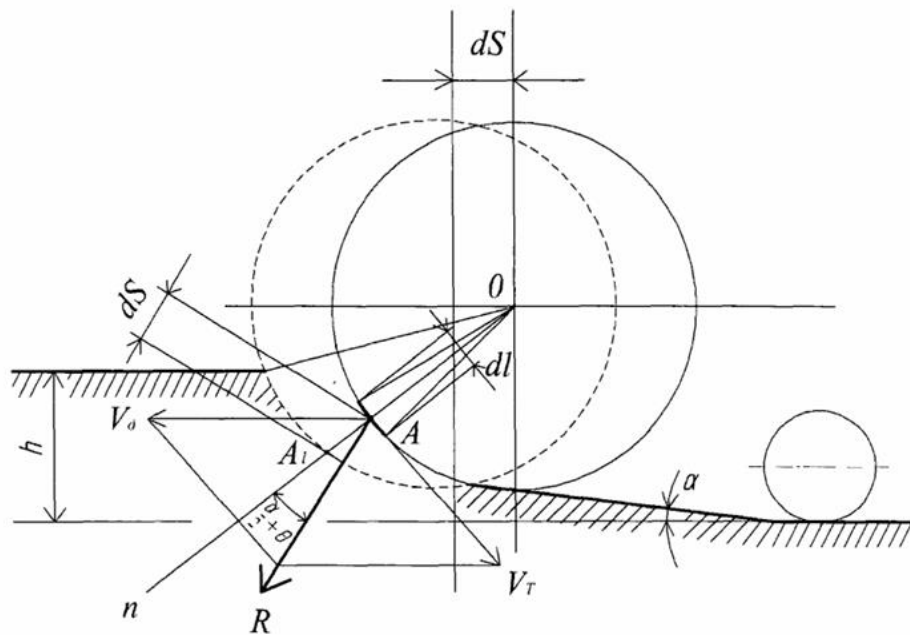


Рис. 2.9. - Схема розрахунку опору руху зернозбирального комбайна внаслідок деформації ґрунту, спричиненої гусеничним ходом

Реакція ґрунту  $R$  визначається сумою первинних реакцій ґрунту  $dR$ , що відбуваються в області  $F$  передньої частини гусениці.

$$R = \int_F dR = \int_F q dF \quad (2.16)$$

де  $q$  – нормальний тиск.

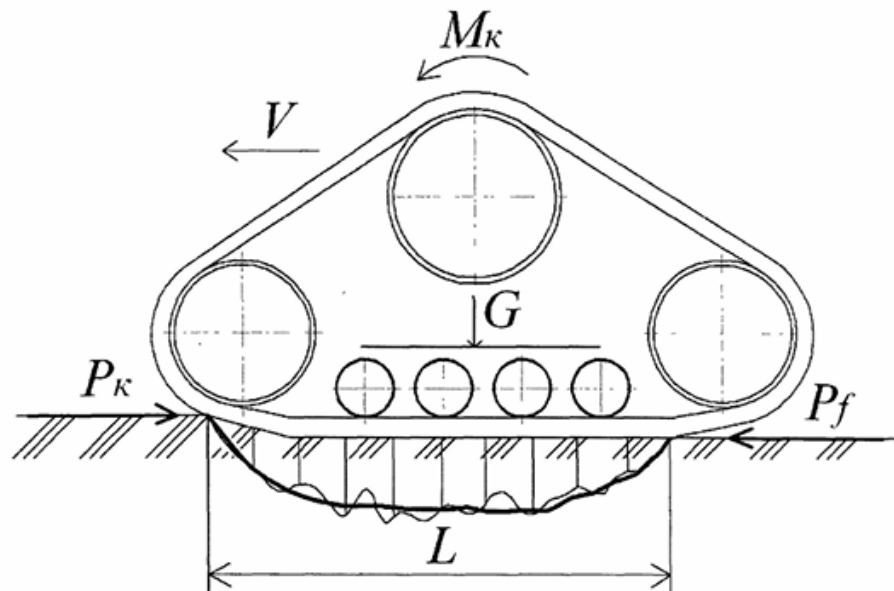


Рис. 2.10. - Приклад апроксимації діаграми нормального тиску під гусеничним ходом

Отже, в теорії механізму руху гусениць було виявлено, що ряд Фур'є тригонометрії може бути використаний для розрахунку тягових характеристик мобільного силового транспортного засобу, враховуючи нерівномірний розподіл тиску вздовж довжини опорної поверхні трикутного механізму руху гусениць.

### 3 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Загальна методологія проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження можуть проводитися як у лабораторії, так і в польових умовах. Виконати повний спектр випробувань природних механічних зразків у лабораторних умовах неможливо. Проведення експериментальних досліджень на моделях також має суттєві недоліки, основними з яких є: неможливість створити шари ґрунту, що містять органічну речовину, кількісно та якісно подібні до реальних польових умов, що ускладнює порівняння результатів досліджень з моделями та реальних машин.

Після проведення досліджень у польових умовах відомі недоліки були усунені. Для встановлення тягових характеристик трактора 1.4 кН на напівгусеничному шасі були проведені тягові випробування. Для порівняння також були проведені тягові випробування серійного трактора класу 1.4. Другий трактор 1.4 класу використовувався як вантажна техніка.

Буксирувальна здатність регулювалася шляхом зміни подачі палива та перемикання передач.

Ґрунт лабораторії механічних випробувань типовий для Київської області.

Тобто, це ґрунт, подібний до пасовищного чорнозему з механічним складом, що складається з важкого суглинку. Для випробувань було обрано горизонтальну ділянку з кутом нахилу, що не перевищує 2 градуси, та плавним мікрорельєфом. Щоб усунути вплив нахилу поля на результати експериментів, досліди проводили, завантажуючи один вантаж на трактор та переміщуючи його в одному та протилежних напрямках.[10]

Довжина тестової ділянки під час експерименту була прийнята рівною 100 м. Довжина підготовчого шляху, необхідного для роботи трактора з постійним навантаженням, вважалася рівною 150 м.

### **3.2. Об'єкти досліджень, умови проведення досліджень**

Об'єктами дослідження були трактор з трикутним металевим гусеничним приводом, серійний трактор 14 кН, серійний зернозбиральний комбайн КЗС-958 на колесах, комбайн КЗС-958 з трикутним металевим гусеничним приводом, та комбайн КЗС-958 з трикутним приводом з гумоармованими гусеницями.



Рис. 3.1. – трактор класу 1.4кН  
трикутним металогусеничним рушієм  
замість задніх коліс



Рис. 3.2. - Комбайн New Holland CR9.90 (571 к.с.) з трикутним резиноармованим рушієм

Привідний вузол напівгусеничного транспорту являє собою трикутне шасі (рисунок 3.3), що складається з ведучої зірочки 2, каретки напрямного колеса 4 з натяжним пристроєм, опорних роликів 5, напрямної гусеничного ланцюга 6 та гусеничного ременя 8.

Рама каретки підресорена за допомогою чотирьох циліндричних пружин 12, встановлених як всередині, так і зовні каретки. Зовні вал каретки, встановлений у корпусі 10 над підшипниками, кріпиться до маточини ведучої зірочки 9 за допомогою болтів 14. Далі корпус 10 закріплюється на ліжку зовнішньої поперечки 3 та закріплюється струбцинами 2. Усередині каретки встановлена поперечка 1 з роликками 11, поверх якої розміщено кожух приводного валу. Ригелі 1 та 3 розміщені на рамі каретки 7 через пружини 12 та з'єднані спеціальними болтами 13, поєднання яких забезпечує цілісність конструкції.

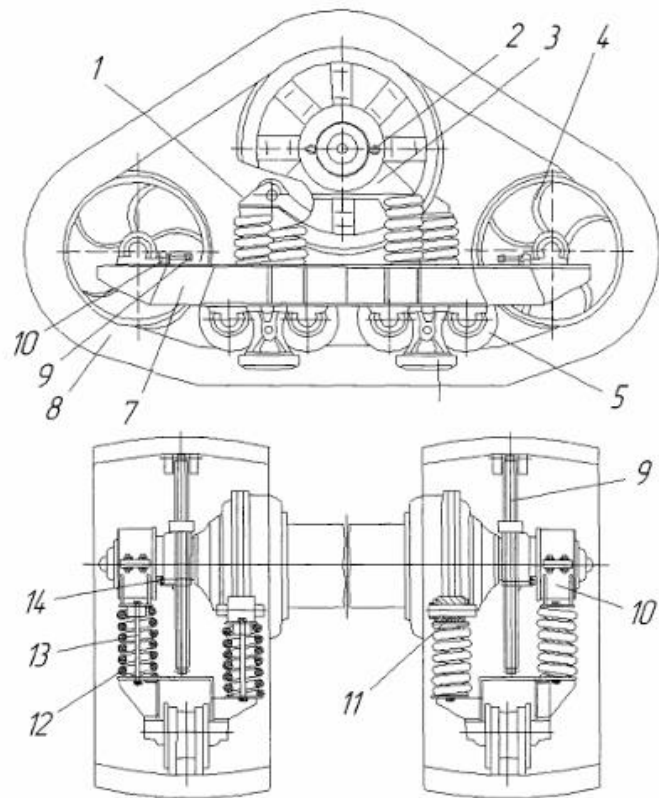


Рис. 3.3. - Шасі напівгусеничне змінне підресорене.

### 3.3. Вимірювання тягового зусилля

Для вимірювання тягового зусилля трактора використовувалося тензометрична ланка (Рис. 3.4) та прилад ЕМА-ПМ.

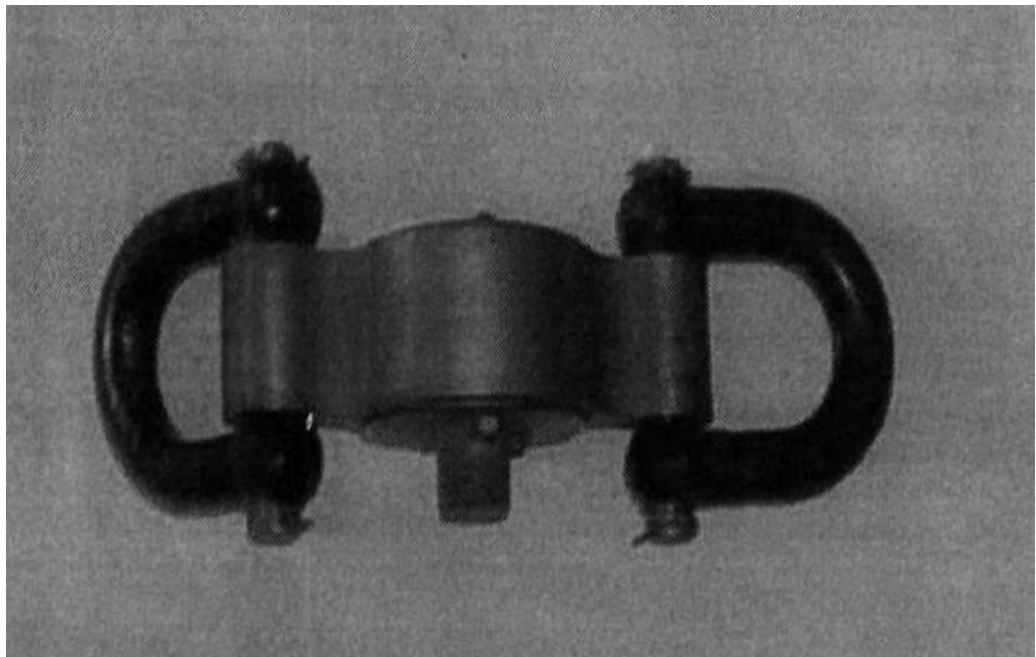


Рис. 3.4. - Тензометрична ланка

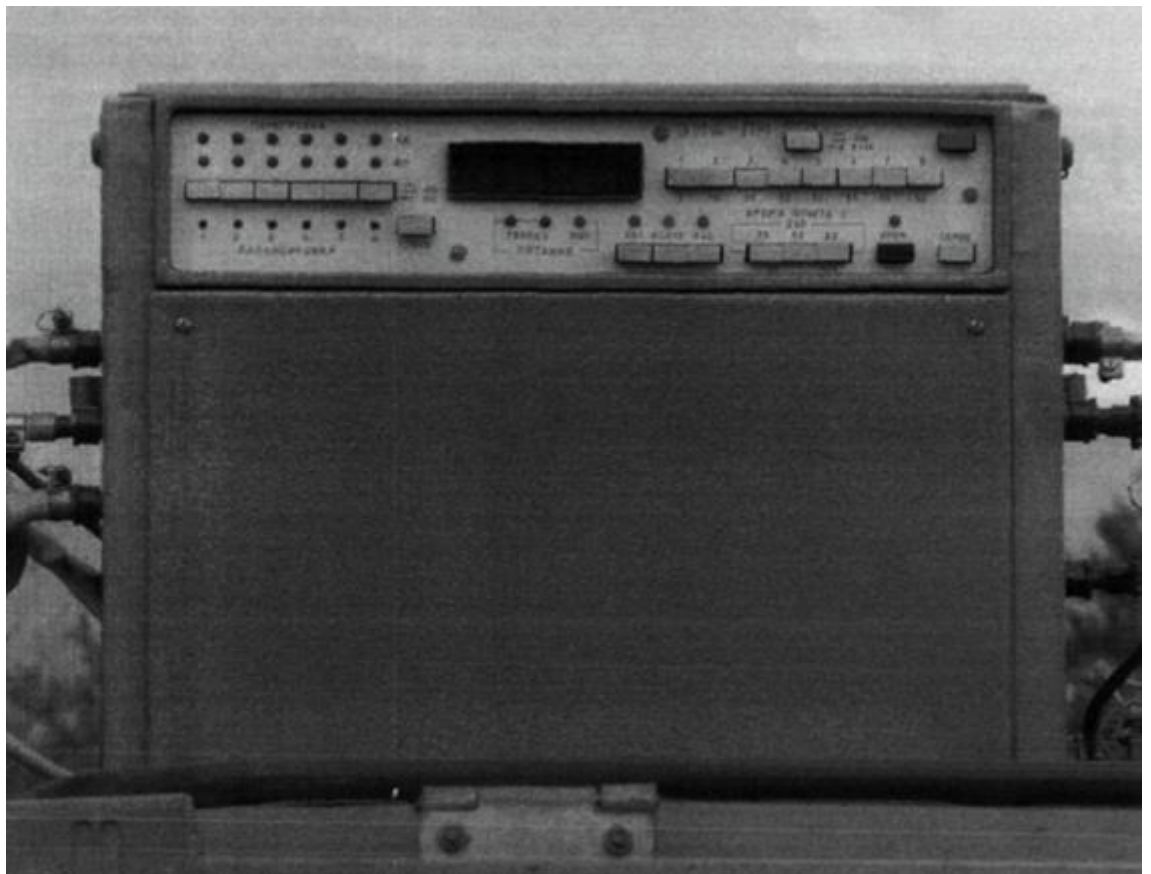


Рис. 3.5. – Прилад ЕМА-ПМ

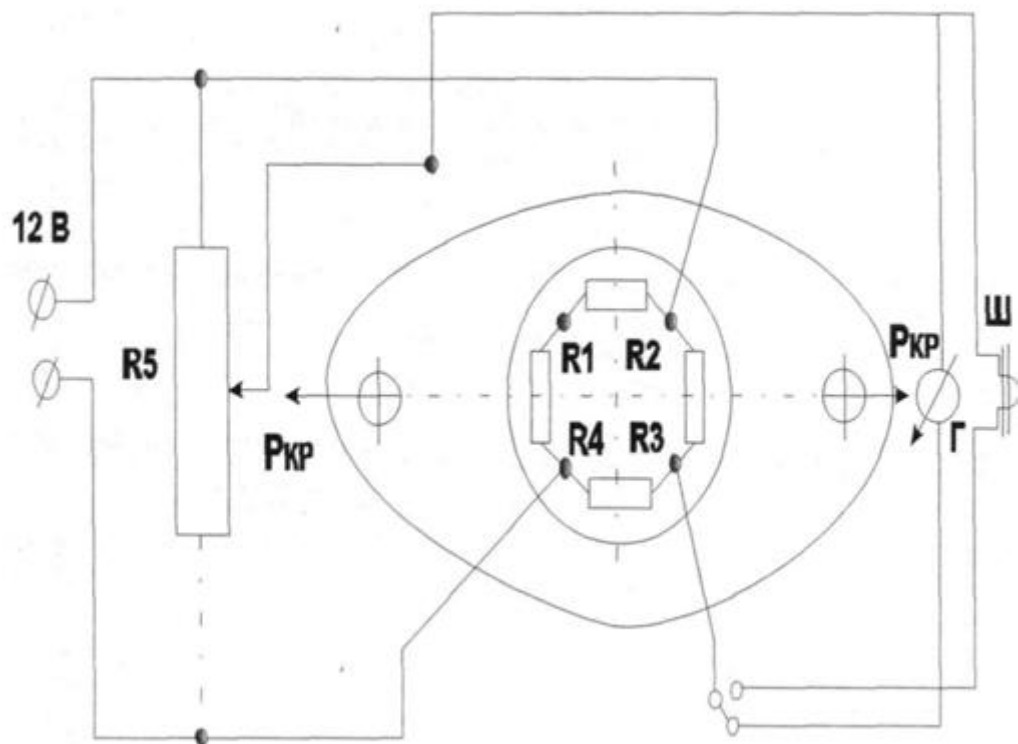


Рис. 3.6. Принципова схема тягового електричного динамографа

Вимірювальна апаратура була змонтована на тракторі. Фрагмент випробування, що вимірює тягове зусилля трактора класу 1.4 з двигуном з трикутною металевою гусеницею.

Вимірювання проводилося з використанням серійного трактора класу 1.4, який гальмував експериментальний трактор.

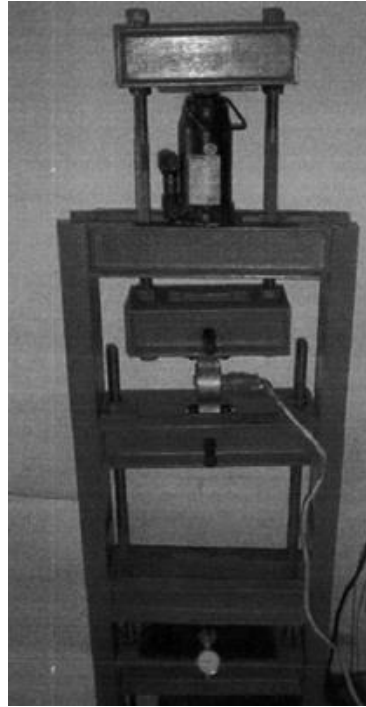


Рис. 3.7. - Тарування тензометричної ланки

### 3.4. Вимірювання пройденого шляху, буксування трактора

Для вимірювання пройденої відстані використовувалося «п'яте» колесо. У маточині колеса було встановлено контактний пристрій, завдяки чому електричне коло можна було розмикати вісім разів за кожен оберт колеса; Лічильники, включені в електричне коло, фіксували кількість відкриттів.

$$L = 2\pi \cdot r'_k \cdot n, \quad (3.1)$$

де  $n$  - число оборотів шляховимірювального колеса;

$r'_k$  - радіус кочення шляховимірювального колеса, м.

Дійсна швидкість знаходилася за формулою:

$$V_p = \frac{L}{t}. \quad (3.2)$$

Буксування провідних коліс трактора визначалася за виразом:

$$\delta = \frac{V_T - V_p}{V_T}. \quad (3.3)$$

Одночасно пройдений шлях визначався через датчик, встановлений на вал відбору потужності.

Твердість ґрунту вимірювали за допомогою апарату. Кінець певної ділянки вдавлювали в ґрунт, і діаграму твердості ґрунту записували на міліметровий папір, прикріплений до пристрою за допомогою реєструючого пристрою.

Результати експерименту були оброблені за наступною формулою:

$$H_p = 10^{-2} h_{cp} \frac{\mu_p}{S_p}, \quad (3.4)$$

де  $\mu_p$  – шкала пружини твердоміра, н/мм;

$h_{cp}$  - середні координати діаграми твердості, см;

$S_p$  - площа поперечного перерізу кінчика плунжера, вдавненого в ґрунт, мм<sup>2</sup>.



### Рис. 3.8. – Твердомір

Відносна вологість ґрунту визначалася за загальноприйнятою методикою за виразом:

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де  $M_1$  - маса проби вологого ґрунту, кг;

$M_2$  - маса проби ґрунту після висушування, кг.

### 3.5. Оцінка точності вимірювань

Під час проведення експериментальних досліджень неминуче виникають різні помилки, включаючи випадкові помилки, систематичні помилки та суттєві помилки.

При математичній обробці та обґрунтуванні аналітичних висновків можуть бути використані лише експериментальні результати, які не містять серйозних та систематичних односторонніх помилок.

При використанні тензодатчиків загальна відносна сумарна похибка складається з таких компонентів:

$$P = P_T + P_r + P_o + P_{од}, \quad (3.6)$$

де  $P_T$  – похибка калібрування;

$P_r$  - похибка амплітудної характеристики гальванометра, яка дорівнює 0,5%;

$P_o$  - похибка осцилограми процесу, яка дорівнює 0,5%;

$P_{од}$  – помилка обробки осцилограми.

Похибки прямих та непрямих перетворень, знайдені згідно з правилами теорії похибок, представлені в (табл. 3.1).

Загальна відносна похибка прямих та непрямих вимірювань таблиця 3.1

Вимірювані величини	Відносна помилка %
Тягове зусилля	1-2%
Буксування	1-3%
Теоретична швидкість руху	1-2%
Робоча швидкість руху	1-2%
Тягове зусилля (додаткове)	1-2%

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ

### 4.1 Результати досліджень трикутних металевих гусеничних рушійів у тракторів класу 1.4

Аналіз природно-кліматичних особливостей регіону показує, що основна кількість опадів випадає в період польових робіт.

У цих випадках техніко-економічні показники польових робіт залежать від прохідності машин. Згадані характеристики цієї галузі визначають вибір типу рушійної сили мобільних енергетичних транспортних засобів – гусеничного. Перспективним способом покращення експлуатаційних властивостей сільськогосподарської техніки є використання трикутного металевого гусеничного приводу.

На мобільному силовому транспортному засобі замість провідних пневматичних коліс встановлено трикутний рушій. Таким чином, вирішується проблема створення змінного колісно-гусейного шасі. У нормальних ґрунтових умовах, під час транспортних операцій, взимку електростанція працює в колісному режимі. У випадку перезвожених ґрунтів, коли необхідно забезпечити достатню прохідність, використовується трикутний гусеничний рушій.

Розглянута схема рушійної установки вперше була реалізована в конструкції самохідного шасі, призначеного для експлуатації в умовах перезвожених ґрунтів. У конструкції машини трикутний гусеничний привід є змінним пристроєм для базової моделі самохідного шасі на колісному приводі. Теоретичні та експериментальні дослідження показали високу ефективність використання цієї схеми руху. Для підтвердження достовірності теоретичної розробки були проведені дослідження. Дослідження проводилися у порівнянні із серійним трактором класу 1.4.



Рис. 4.1. - Фрагмент роботи з випробування трактора

Тягова сила трактора визначається тяговою силою самого трактора. Тягові характеристики трактора побудовані як функція сили на гаку за усталених умов експлуатації в горизонтальному поперечному перерізі.

Характеристики тяги встановлюють закономірність зміни сили на гаку, швидкості руху та прослизання залежно від навантаження на гак. Випробування на тягове навантаження тракторів з напівгусеничними та серійними приводами проводилися із серійним трактором під час гальмування.

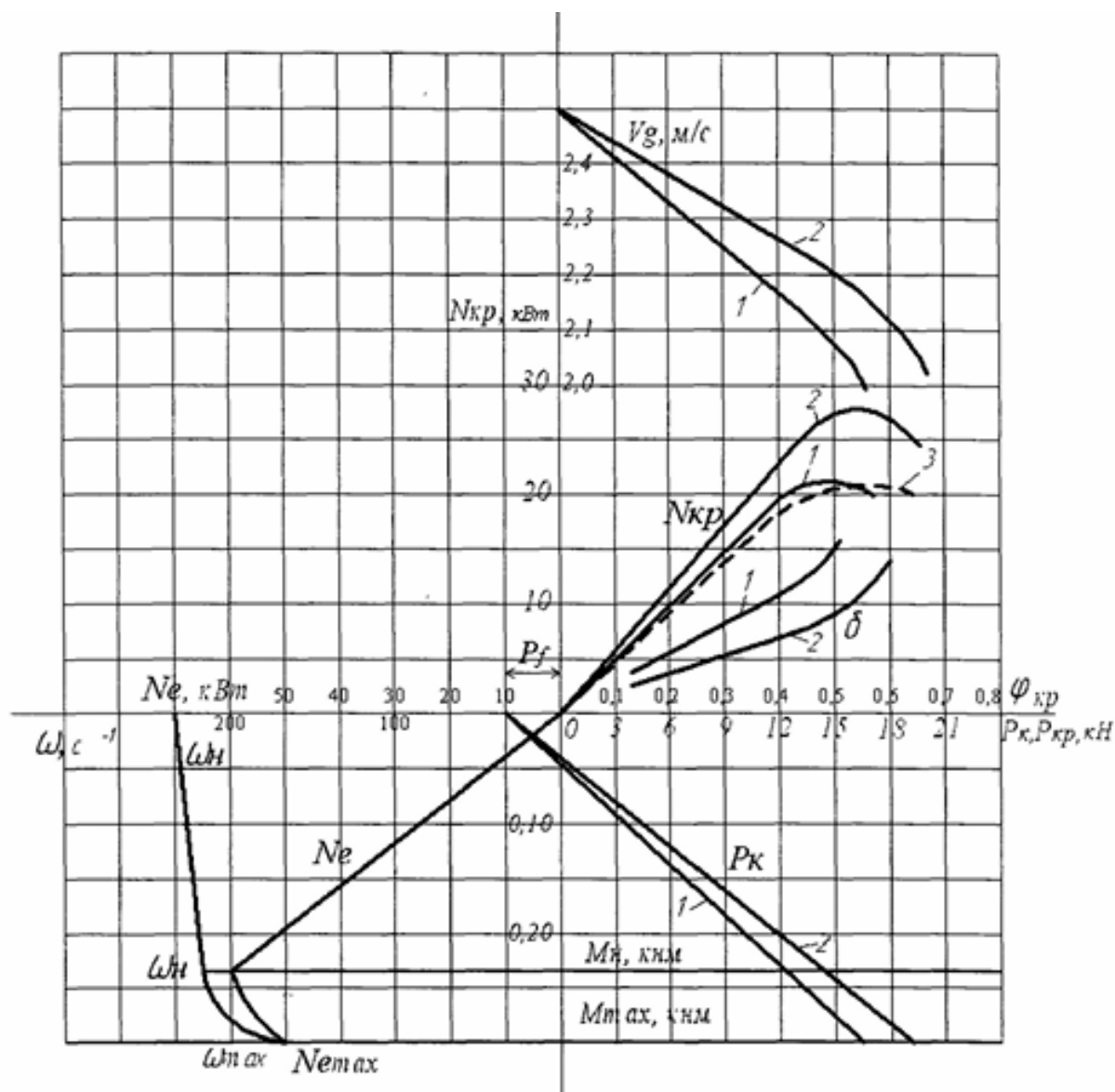


Рис. 4.2. Тягові характеристики дослідних та серійних тракторів 1 - серійний трактор; 2 - трактор на напівгусеничному ході; 3 - теоретична залежність тягача від напівгусеничного шасі.

Експериментальні тягові характеристики порівнюваних тракторів показано на рисунку 4.2.

Аналіз тягових характеристик тракторів з напівгусеничним та колісним приводом показав, що перші мали вищу тягову потужність. Крива ковзання серійного трактора  $\delta = f(P_{кр})$  є лінійною до 12 кН, а крива ковзання експериментального трактора є лінійною до 14 кН. Коли сила гака

експериментального трактора становить 12 кН, потужність гака становить 27,4 кВт, а потужність гака серійного трактора - 24,7 кВт.

Дивлячись на тягові характеристики, видно, що двигун експериментального трактора працює з тяговим зусиллям до 16 кН в керованій гільці, тоді як двигун серійного трактора працює максимум з 13 кН.

Відомо, що робота двигуна в режимі перевантаження не тільки знижує динамічні та економічні показники трактора, але й збільшує знос двигуна, що ще більше знижує ефективність експлуатації трактора. Валідність теоретичного дослідження підтверджена шляхом порівняння теоретичних та експериментальних тягових характеристик напівгусеничних та колісних тракторів.

Теоретична крива потужності на гачку знаходиться в межах довірчих меж експериментальної кривої потужності на гачку. Система руху мобільної сільськогосподарської техніки має технологічний вплив на ґрунт. Фізичні, механічні та сільськогосподарські властивості ґрунту погіршуються.

Ущільнення та коткування ґрунту знижують якість наступних технологічних операцій, пов'язаних з обробіткою ґрунту, сівбою та збиранням сільськогосподарських культур. Антропогенний вплив напівгусеничних та колісних тракторів на ґрунт оцінювали за щільністю та твердістю ґрунту.

Початкова щільність ґрунту перед проїздом трактора становила 0,82 кг/см<sup>3</sup>. Після проходження серійного трактора по 1,14 кг/см<sup>3</sup>, експериментальний трактор мав ущільнення ґрунту 1,05 кг/см<sup>3</sup>, тобто на 9,2% менше, ніж серійний трактор. Початкова твердість ґрунту перед проїздом трактора становила 13,2 кг/см<sup>2</sup>.

Після проходження серійних 15,6 кг/см<sup>2</sup> твердість ґрунту знизилася на 10,5% після проходження експериментальних 14,8 кг/см<sup>2</sup>, тобто після проходження експериментального трактора порівняно із серійним трактором.

#### **4.2 Дані щодо використання трикутного металогусеничного рушія в аграрній техніці для збирання зернових.**

Зернові культури збирають у періоди, коли ґрунт перезволожений. За цих умов серійні колісні зернозбиральні комбайни «втрачають» здатність долати великі відстані через недостатнє зчеплення з дорогою. На Київщині поширені колісні зернозбиральні комбайни (Китай, Німеччина, Австрія). У періоди надмірного зволоження ґрунту прохідні можливості колісних комбайнів обмежені, що знижує техніко-економічні показники збору врожаю. Для покращення зчеплення з дорогою на карданний встановлено трикутний гусеничний рушій. Дослідження з перевірки функціональних можливостей трикутних металевих гусеничних машин були проведені умови випробувань

зернозбирального комбайна з трикутним металевим гусеничним приводом наведено в таблиці 4.1.

Дослідження показали, що зернозбиральні комбайни, переобладнані з пневматичних коліс на напівгусеничну систему шасі, повністю відповідають технології збирання зернових та сої.

Таблиця 4.1. Умови випробувань комбайна з трикутним металогусеничним рушієм

Вид роботи	збирання с/г культур прямим і роздільним способом	збирання сої прямим комбайнуванням
Характеристика культури, технологічного матеріалу, поля: Урожайність зерна, ц/га	не менше 40	6-14,8
Стиглість культури, %	немає даних	100
Відношення маси зерна до маси соломи над фактичною висотою зрізу	1: 1,5	1: 1,3-1: 1,9
Маса 1000 зерен, г	не менше 40	11,5
Вологість, % зерна - соломи	до 25 до 35	12,0 14,1
Висота рослин, см	40-180	65-80,1
Полеглість рослин, %	не більше 20	1,2-4,2
Забур'яненість культури над фактичною висотою зрізу, %	не більше 1	0,2 - 20
Природні втрати зерна, %	-	0,04
Вологість ґрунту в шарі 0 до 10 см, %	до 60	28 26
Твердість ґрунту в шарі 0 до 10 см, кг/см <sup>2</sup>	до 10	11,8
Засміченість ґрунту камінням, шт/м	розміром понад 20 мм не допускається	відсутні

Використання трикутних металевих гусеничних приводів покращує техніко-економічні показники зернозбиральних комбайнів у періоди надмірного зволоження ґрунту.

### 4.3. Баланс потужності зернозбирального комбайна

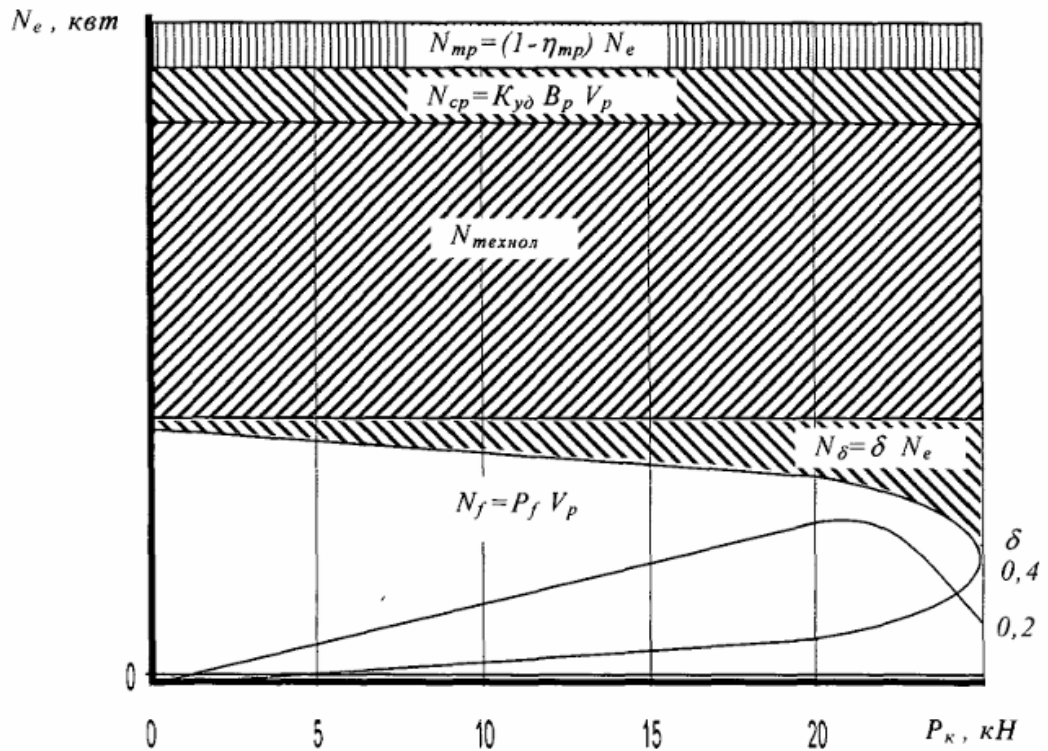


Рис.4.3. Потужний баланс серійного зернозбирального комбайна.

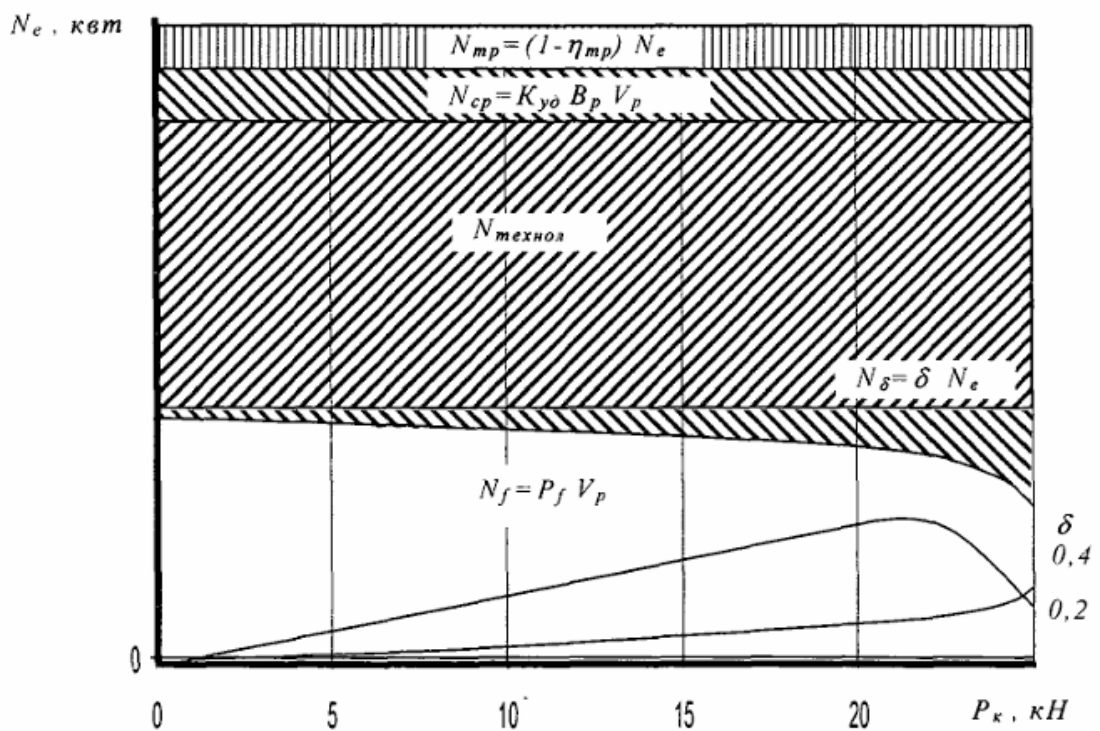


Рис. 4.4. - Потужний баланс зернозбирального комбайну з трикутним металогусеничним рушієм.

Баланс потужності зернозбирального комбайна дозволяє візуально проаналізувати споживання потужності двигуном компонентів.

Основною складовою споживання потужності двигуна є потужність, що витрачається на виконання технологічних процесів. Значна частина потужності використовується для подолання опору руху комбайна. Елементи потужності, що споживаються на пробуксовку гвинта, втрати в передачі та зрізання стебел зерна, становлять менше 10% доступної потужності гвинта.

Баланс сил порівнюваних зв'язків відрізняється складовою сили, що використовується для подолання опору руху.

Потужність, необхідна для подолання опору руху комбайна з трикутним приводом, в середньому на 8% менша, ніж у серійного комбайна. Це пояснюється меншими втратами на деформацію ґрунту завдяки системі шасі з провідними трикутними гвинтами.

Використання в конструкції зернозбирального комбайна трикутної гусеничної передачі з металевими гусеничними ременями збільшує зчеплення та забезпечує необхідну прохідність під час збирання зерна на перезволожених ґрунтах.

Проблемі вдосконалення механізму приводу металевої колії присвячені роботи. Згадуючи безперечні позитивні аспекти вищезгаданої роботи, слід зазначити, що сучасна конструкція металевих гусеничних приводів для збиральних машин не повністю відповідає сучасним екологічним вимогам до систем шасі, що використовуються в сільськогосподарському виробництві.

Металеві гусеничні машини штучно впливають на ґрунт, знижуючи його родючість. Перспективним напрямком удосконалення руху на металевих гусеницях є використання гумоармованих гусениць замість металевих. Дослідницькі роботи виявили потенціал для використання гвинтів з гумоармованими гусеницями в конструкціях збиральних машин.

Проблемою, що становить значний інтерес, є розробка змінного колісно-гусеничного шасі для використання на зернозбиральних комбайнах для збирання зерна. Напівгусеничне шасі на гумоармованих гусеницях і запустило його у виробництво.

Це шасі призначене для перетворення колісного зернозбирального комбайна на зернозбиральний, що збільшує прохідність навіть у вологих умовах ґрунту.

Продуктивність експериментального комбайна становила 2,61 га за годину базового часу, врожайність сої 1,52 т/га, за робочої швидкості 4,5 км/год.

Продуктивність серійного комбайна становить 2,66 гектара при швидкості 4,6 км/год. Зернозбиральний комбайн з напівгусеничним шасі

забезпечує стабільний технологічний процес, що підтверджується коефіцієнтом надійності технологічного процесу, що дорівнює 1,0.

Коефіцієнт технічної ремонтпридатності експериментального шасі та базового комбайна під час збирання сої становив 0,94. Коефіцієнт використання часу перемикання передач для шасі та базового автомобіля становив 0,83.

Коефіцієнт напрацювання нової машини становив 0,81, порівняно з 0,78 для базової машини. В результаті випробувань було встановлено, що напівгусеничний рушій з гумоармованими гусеницями, технологічно встановлений на комбайні замість провідних пневматичних коліс, задовільно виконує технологічний процес завдяки плавній роботі шасі, забезпечує стабільну роботу жатки та низький зріз, рушій надійний в експлуатації, добре адаптований до технічного обслуговування, має високий коефіцієнт доступності, знижує нормальний тиск на ґрунт, що забезпечує зменшення техногенного впливу на ґрунт, зменшує шум та вібрацію в кабіні комбайна.

## ВИСНОВКИ

Отримано картини опору коченню пневматичних коліс керованих мостів та провідних трикутних колійних ходових пристроїв мобільних силових транспортних засобів внаслідок деформації ґрунту. .

Створено рамки розвитку трикутних енергетичних ресурсів. Формування тангенціальної сили тяги, гусеничний рушій змінної 3.

Отримано експериментальні тягові характеристики рядного колісного трактора класу 1.4 та трактора класу 1.4, оснащеного трикутним гусеничним рухом.

Трактор має хороше зчеплення з дорогою.

Крива ковзання серійного трактора лінійна до 12 кН, а експериментального трактора - лінійна до 14 кН. Для серійного трактора потужність на гаку становить 24,7 кВт при тяговому зусиллі 12 кН, а для експериментального трактора потужність на гаку становить 27,4 кВт при тяговому зусиллі 14 кН. Досягнуто балансу потужності трикутного транспортера з гумоармованими гусеницями для зернозбирального комбайна.

Баланс сил у порівняльному зв'язку залежить від складових сили, необхідної для подолання опору руху. Потужність, що витрачається на подолання опору руху комбайна з дельта-приводом, в середньому на 8% менша, ніж у ланцюгового комбайна. Визначено експлуатаційно-технічні показники збирання сої за допомогою зернозбирального комбайна з трикутним гвинтом з гумоармованими гусеницями у порівнянні із серійним колісним комбайном.

Експлуатаційні та технічні коефіцієнти порівнюваних комбінацій є подібними. Коефіцієнт використання часу пробігу експериментального комплексу становить 0,94. Серійний 0,84, час роботи, коефіцієнт експериментального зв'язку 0,81; Серійний номер 0.78.

На комбайні замість технологічно провідних пневматичних коліс обладнано трикутний ходовий пристрій з гумоармованими гусеницями, що дозволяє шасі працювати плавно, задовільно завершує технологічний процес збирання врожаю, забезпечує стабільну роботу жатки та зменшує зрізання рослин (зменшення пошкоджень), зручне для технічного обслуговування, а також зменшує загальний тиск на ґрунт, тим самим зменшуючи штучний вплив на нього.

Технічний вплив мобільних силових транспортних засобів з колісним шасі та комбінованою формулою на ґрунт. Керована колісна формула з мостом, провідною частиною є гусеничний рушій трикутної форми. Антропогенний вплив напівгусеничних та колісних тракторів на ґрунт оцінювали за щільністю та жорсткістю ґрунту.

Початкова щільність ґрунту перед початком робіт трактора становила  $0,82 \text{ кг/см}^3$ . Після перевищення показника ущільнення ґрунту серійного трактора на рівні  $1,14 \text{ кг/см}^3$ , ущільнення ґрунту на експериментальному тракторі становило  $1,05 \text{ кг/см}^3$ , тобто на 9,2% менше, ніж на серійному тракторі. Початкова твердість ґрунту перед проїздом трактора становила  $13,2 \text{ кг/см}^2$ .

Після проходження серії  $15,6 \text{ кг/см}^2$  твердість ґрунту знизилася на 10,5% порівняно з експериментальними  $14,8 \text{ кг/см}^2$ , тобто після проходження експериментального трактора.

Економічна ефективність використання трикутного металевого гусеничного приводу на тракторі класу 1.4 становила 1152 грн з гектара порівняно із серійним колісним трактором, економічна ефективність використання трикутного приводу з гумоармованими гусеницями на комбайні становила 856,8 грн з гектара, а річна економічна ефективність - 173456 грн з гектара.

### Список використаних джерел

1. Погорілий С. П., Мірний В. Ю., Присяжний В. Г. Багатофункціональний мобільний енергетичний засіб типу «Автотрактор» для АПВ : тези доповіді / С. П. Погорілий, В. Ю. Мірний, В. Г. Присяжний; 31-я Міжн. наук.-практ. конф. MicroCAD-2023. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – С. 248.

2. Серета Б. В. Гібридний рушій високої прохідності мобільного роботизованого комплексу : диплом. проект / Б. В. Серета. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 59 с.
3. Петров Л. М., Петрик Ю. М. Теорія колісного рушія вантажного автомобіля з розширеними енергетичними можливостями / Л. М. Петров, Ю. М. Петрик. Серія «Машинобудування й автоматика». – 2022. – Вип. 4 С. 35–41.
4. Гуменюк Ю. О., Войтюк Д. Г. Синхронні та несинхронні різьбові з'єднання сільськогосподарської техніки / Ю. О. Гуменюк, Д. Г. Войтюк // Техніка та енергетика. – 2018. – Т. 9, № 3. – С. 15–19.
5. Іванюк Н. Д., Шведчикова І. О. Розширення можливостей використання систем накопичення та генерації енергії з відновлюваних джерел у мобільних енергозасобах / Н. Д. Іванюк, І. О. Шведчикова // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2021. С. 107–108.
6. Кудря С. О. Альтернативні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С. О. Кудря. – Київ : КПІ, 2012. – 492 с.
7. Бойко В. І. Аналіз доцільності впровадження електростанцій для мобільних енергозасобів на базі ВДЕ / В. І. Бойко // Renewable Energy. – 2016. – № 4.
8. Мамонов Д. Самохідне шасі на електричній тязі для евакуації поранених : прототип / Д. Мамонов. – Brave Inventors, 2023. – 1 онлайн-рес.
9. Залізний О. П., Козак І. В. Оптимізація трикутних рушіїв в мобільних транспортних засобах : матеріали конф. / О. П. Залізний, І. В. Козак // Збірник наукових праць. – 2022. – С. 45–52.
10. Савчук М. О. Проектно-технологічні аспекти підвищення ефективності мобільного енергозасобу з трикутним рушієм : магіст. дис. / М. О. Савчук. – Львів : ЛНАУ, 2024. – 110 с.