

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут**

**Кафедра конструювання машин**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Конструювання та дизайн машин»**

**зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»**

**на тему: «Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи Мк-31мп

Жабровець Олег Анатолійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

д.т.н., професор,

Струтинський Василь Борисович \_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Конструювання та дизайн машин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Жабровцю Олегу Анатолійовичу**

1. Тема дисертації «Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу», науковий керівник дисертації Струтинський Василь Борисович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2024 р. № 5000-с
2. Термін подання студентом дисертації: Листопад 2024 року
3. Об'єкт дослідження: Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу
4. Вихідні дані: потужність  $P = 22\text{кВт}$ ; вага транспортного засобу  $m = 50\text{ кг}$ ; швидкість руху до 10 км/год; прохідність висока (бездоріжжя) розглянуті різні типи підвісок.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Патентно-інформаційні дослідження. 2. Розроблення схемних, та конструктивних рішень гусеничного рушія. 3. Проектні розрахунки гусеничного рушія
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Результати патентно-інформаційного дослідження 2. Гусеничний рушій з амортизаційно натяжним механізмом 3. Гусеничний рушій з еластичною гусеницею 4. Конструкції гусеничних рушіїв для пересування в різних умовах місцевості 5. Гусеничні рушії наземного роботизованого комплексу для різних умов експлуатації: балансірна та пряма підвіски 6. Умови роботи гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу в різних конструкціях підвіски. 7. Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу із незалежною підвіскою опорних катків. 8. Опорний каток гусеничного рушія.

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

## 9. Дата видачі завдання: 07.10.23

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Патентно – інформаційні дослідження	07.10.23 – 14.02.24	Виконав
2	Конструктивні рішення наземних роботизованих комплексів	20.02.24 – 13.05.24	Виконав
3	Конструювання наземних роботизованих комплексів	20.05.24 – 10.08.24	Виконав
4	Розрахунок	17.08.24 – 12.10.24	Виконав
5	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	20.10.24 – 16.11.24	Виконав
6	Розроблення презентації магістерської роботи	23.11.24 – 01.12.24	Виконав
7	Попередній захист	05.12.24	
8	Захист перед ДЕК	19.12.24	

Студент

Олег ЖАБРОВЕЦЬ

Науковий керівник

Василь СТРУТИНСЬКИЙ

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу», містить 76 сторінок пояснювальної записки, рисунків 28, таблиць 18, використаних джерел – 19, ілюстрації, що включають 11 слайдів презентації графічної частини.

**Актуальність теми:** Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу, застосовуються в різних галузях, найбільш актуальною є військове застосування. Одним з ключових елементів роботи є гусеничний рушій. Він забезпечує високу прохідність на різних типах поверхні, що особливо важливо на складних місцевостях. Актуальність гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу є забезпечення надійної мобільності, стійкості, прохідності і ефективності в реальних умовах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами:** Ця робота виконана в межах науково-дослідної роботи кафедри «Конструювання машин» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Дослідження спрямоване на розробку гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу.

**Метою дослідження:** Основною метою дослідження є розробка гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу, який забезпечить високу прохідність, маневреність і стійкість на різних типах поверхонь.

**Задачі дослідження:**

1. Патентно- інформаційні дослідження
2. Розроблення схемних, та конструктивних рішень гусеничного рушія.
3. Проектні розрахунки гусеничного рушія

**Об'єкт і предмет дослідження:** Об'єктом дослідження є гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу. Предметом дослідження є конструктивні рішення для підвищення прохідності, ефективності та надійності гусеничних рушіїв.

**Методи дослідження:** Теоретичні та експериментальні дослідження.

**Наукова новизна отриманих результатів:** Науковою новизною є розробка конструкції гусеничного рушія, що дозволяє, підвищити зчеплення з різними поверхнями та зменшити енергетичні витрати при русі. Вперше в рамках цього дослідження запропоновано використання нових матеріалів для виготовлення елементів гусеничних рушіїв, що знижує вартість конструкції, покращена прохідність.

**Практичне значення отриманих результатів:** Полягає в тому, що розроблені конструктивні рішення можуть бути використані у різних галузях, зокрема в військових технологіях та при проведенні досліджень в складних умовах. Це дозволить підвищити мобільність і ефективність таких систем.

**Ключові слова:** Гусеничний рушій, роботизовані комплекси, прохідність, маневреність

## ABSTRACT

Master's Thesis on the topic "**Tracked propulsion system of a ground robotic complex**" has 76 sheets of A4 format, contains 28 illustrations, 18 tables, 19 appendices, 11 sources of information were used when writing the work.

**Relevance of the topic:** The tracked drive of a ground-based robotic complex is used in various fields, with military applications being the most relevant. One of the key components of the system is the tracked drive, which provides high passability on various surfaces, especially in challenging terrains. The relevance of the tracked drive for a ground-based robotic complex lies in ensuring reliable mobility, stability, passability, and efficiency under real-world conditions.

**Connection of the work with scientific programs, plans, and themes:** This work has been carried out as part of the research activities of the Department of "Machine Design" at the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute." The research focuses on the development of a tracked drive for a ground-based robotic complex.

**Objective of the research:** The primary goal of this research is to develop a tracked drive for a ground-based robotic complex that provides high passability, maneuverability, and stability on various surfaces.

**Research tasks:**

1. Patent and information research.
2. Development of schematic and structural solutions for the tracked drive.
3. Design calculations of the tracked drive.

**Object and subject of research:** Object of research the tracked drive of a ground-based robotic complex. Subject of research structural solutions to enhance the passability, efficiency, and reliability of tracked drives.

**Research methods:** Theoretical and experimental studies.

**Scientific novelty of the obtained results:** The scientific novelty lies in the development of a tracked drive design that enhances grip on various surfaces and reduces energy consumption during movement. For the first time within this research, the use of

new materials for manufacturing tracked drive components has been proposed, reducing the cost of construction while improving passability.

**Practical significance of the obtained results:** The developed structural solutions can be applied in various fields, particularly in military technologies and research conducted in challenging environments. These solutions improve the mobility and efficiency of such systems.

**Keywords:** Tracked drive, robotic complexes, passability, maneuverability.

## ЗМІСТ

Вступ.....	10
1. Патентно – інформаційні дослідження.....	11
1.1 Інформаційне дослідження.....	11
1.2 В процесі дослідження виявлено технічне рішення гусеничного рушія транспортного засобу.....	23
1.3 В процесі дослідження виявлено технічне рішення гусеничного рушія транспортного засобу.....	28
Висновок до розділу.....	33
2. Конструктивні рішення, проектування, конструювання наземних роботизованих комплексів.....	34
2.1 Наземний роботизованого комплексу з прямою підвіскою опорних катків рушія.....	34
2.2 Гусеничний рушій з рамних механізмів.....	35
2.3 Гусеничний рушій з важільною підвіскою.....	36
2.4 Гусеничний рушій з балансованою підвіскою рушія.....	39
2.5 Умови роботи гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу в різних конструкціях підвіски.....	40
Висновок до розділу.....	47
3. Розрахунок.....	48
3.1 Корт в гусениці.....	48
3.2 Розрахунок гусениці.....	49
3.3 Протектор гусениці.....	53
3.4 Розрахунок гусениці.....	55
3.5 Опорний каток.....	58
Висновок до розділу.....	60
4. Стартап – проєкт.....	61
Висновки до розділу.....	73

Висновки.....	74
Список використаних джерел.....	75

## ВСТУП

Наземні роботизовані комплекси є однією з найперспективніших галузей сучасної інженерії, що знаходять широке застосування в військових операціях. В умовах швидкого розвитку технологій важливість створення високоефективних систем пересування, здатних працювати в складних рельєфних і кліматичних умовах, стрімко зростає. Одним із ключових елементів таких систем є гусеничний рушій, який визначає прохідність, маневровість і надійність комплексу.

Гусеничні рушії, завдяки великій площі контакту з поверхнею, демонструють переваги на м'яких та нерівних ґрунтах, водночас зберігаючи здатність долати складні перешкоди. Сучасні підходи до їх проектування включають аналіз різних типів підвіски, конструкцій гусениць. Разом із цим виникають виклики, пов'язані зі збільшенням навантажень, зносом і потребою в універсальності для адаптації до різних умов експлуатації.

Мета цієї роботи полягає у розробленні гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу. У процесі дослідження будуть розглянуті ключові аспекти конструктивних рішень.

Практична значущість роботи полягає у створенні конструкції гусеничного рушія, здатного забезпечити підвищену надійність і прохідність в умовах експлуатації на різних типах рельєфу. Результати дослідження можуть бути використані при створенні сучасних наземних роботизованих комплексів для військових цілей.

# 1. ПАТЕНТНО-ІНФОРМАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Інформаційне дослідження

Наземні роботизовані комплекси є однією з найдинамічніших галузей технології. Хоча автоматизація керованих наземних роботизованих комплексів, призначенні для пересування рівними і твердими поверхнями, вже широко використовуються в промисловості як для транспортування вантажів і компонентів, масштабне впровадження наземних комплексів у середовище, які є структурованими для людей або хаотичними, залишається важливим на найближчий час. Сфери застосування таких роботів як сільське господарство, планетарні дослідження, виконання в зоні бойових дій, евакуація поранених, розмінування полів, доставлення припасів (вантажу), спостереження.

Проектування наземних роботизованих комплексів є задачею, яка охоплює такі аспекти пересування, сенсорного сприйняття, навігації та пізнання. З механічної точки зору такі роботи можуть мати різні типи рушіїв, зокрема колісні, гусеничні, крокуючі або гібридні. Кожен із цих варіантів має свої переваги й обмеження, що визначаються залежно від умов експлуатації. Наприклад, колісні системи забезпечують максимальну швидкість і енергоефективність, тоді як крокуючі роботи відрізняються високою маневровістю у складних рельєфах. Гусеничні платформи, своєю чергою, знаходяться між цими крайнощами, пропонуючи оптимальний баланс між маневровістю та здатністю працювати на м'яких поверхнях.

Дослідження і також систематичний аналіз різних методів пересування наземних роботизованих комплексів описані у відповідній літературі. Порівняння гусеничних, колісних і крокуючих систем із точки зору їх характеристик – такі як швидкість, здатність долати перешкоди, підйом на схилі, робота на нерівній місцевості чи енергоефективність – дозволяє вибрати оптимальний рушій залежно від вимог завдання. Наприклад, огляди вказують, що гусеничні системи добре підходять для м'яких і деформованих поверхонь завдяки значній площі контакту з ґрунтом, водночас поступаючись колісним

системам у швидкості та енергоефективності. Гібридні конфігурації прагнуть об'єднати переваги різних типів пересування, але часто ускладнюють механічну конструкцію, що може впливати на загальну продуктивність.

У майбутньому розвиток наземних роботизованих комплексів, особливо їхньої механічної складової, буде спрямований на підвищення універсальності та адаптації до різних умов, щоб максимально розширити їх функціональність та ефективність у виконанні завдань у складних середовищах.

### **Класифікація гусеничних систем пересування**

Гусеничні системи пересування можуть бути класифіковані на основі їхніх конструктивних та функціональних характеристик. Основні критерії для класифікації включають:

Конструкція корпусу:

- Не суглобові системи — жорстка конструкція без рухомих з'єднань.
- Суглобові системи — рухомі елементи, які дозволяють змінювати геометрію або адаптуватися до рельєфу.
- Тип зчленування — спосіб, у який сегменти з'єднуються та взаємодіють

Профіль колії:

- Постійний профіль — гусениці з фіксованою формою, які не змінюються під час роботи.
- Пасивно деформованим профіль — здатність гусениці змінювати форму під впливом зовнішніх умов, але без активного керування.
- Активно деформований профіль — гусениці, профіль яких регулюється для адаптації до складного рельєфу

Тип гусениці:

- Безперервні — стрічкові системи, які забезпечують плавний контакт із поверхнею.
- Механічні — гусениці з рухомими сегментами для більшої адаптивності.
- Універсальні — системи, здатні інтегрувати різні режими пересування залежно від потреб

Класифікації є незалежними, тобто будь-який тип корпусу може бути використаний з будь-яким типом гусениць. Однак, аналіз сучасних гусеничних комплексів показує, що складні конструкції корпусу зазвичай поєднуються з простішими гусеницями, тоді як складніші типи гусениць часто застосовуються до простіших корпусів. Це пояснюється прагненням уникнути надмірної механічної складності, яка може ускладнити експлуатацію та обслуговування системи. [2]

Розвиток гусеничного рушія останнім часом спрямований на підвищення їхньої універсальності та адаптивності. Наприклад, активні системи з керованим профілем стають дедалі популярнішими завдяки їхній здатності забезпечувати високу прохідність у складних умовах. Водночас розробка матеріалів зі змінною жорсткістю дозволяє створювати адаптивні гусениці, які можуть змінювати форму залежно від рельєфу. Такий підхід відкриває нові можливості для застосування гусеничних роботів у найскладніших умовах, включаючи міські руїни, м'які ґрунти та скельні ландшафти.

### **Класифікація гусеничних систем за типом профілю колії**

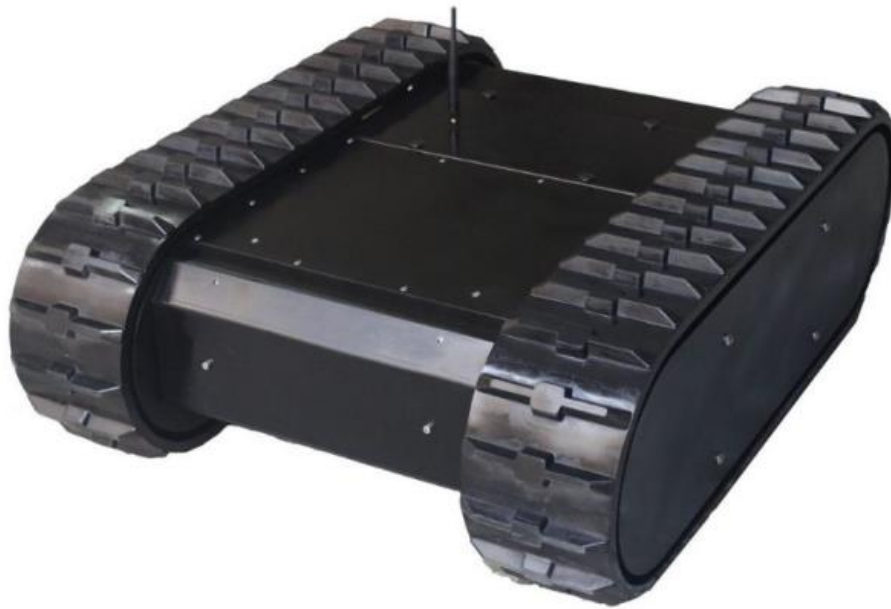
Наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці (рис 1.1). Цей тип гусениці системи має фіксований профіль, що не змінюється під час роботи. Такі роботи характеризуються простотою конструкції та надійністю, проте обмежені у здатності адаптуватися до складного рельєфу.

Варто зазначити, що навіть у гусеничних систем першої категорії наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці профіль колії не є абсолютно постійним. Це зумовлено природними деформаціями гусениць під впливом таких чинників, як сила тяжіння, контакт із поверхнею, а також внутрішні реакції, викликані взаємодією із зірочками, натяжними елементами та опорними роликами. Однак конструкція цих систем розроблена таким чином, щоб мінімізувати зміни та зберегти основну форму профілю колії незмінною під час руху.

На противагу цьому, у системах інших двох категорій наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці значні зміни профілю колії є спеціально запланованими й реалізованими через гнучку або активну геометрію опорної конструкції. Такий підхід дозволяє їм адаптуватися до складних умов рельєфу, забезпечуючи високу маневровість і прохідність.

Більшість сучасних гусеничних роботів належать до категорії наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці. Системи демонструють саме цей тип. Це пояснюється тим, що фіксований профіль є оптимальним для багатьох завдань, де ключовими є простота конструкції, енергоефективність та знижена вартість обслуговування. [9]

Однак обмеження наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці стають очевидними у складних умовах, таких як нерівні поверхні, м'який ґрунт чи значні перешкоди. Тому для спеціалізованих застосувань, наприклад, у сільському господарстві або військових операціях, дедалі частіше розглядають системи з пасивною або активною деформацією. Це свідчить про еволюцію гусеничних систем у напрямку підвищення універсальності та адаптивності до зовнішніх умов.



**Рисунок 1.1** - Наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці [8]

Наземний роботизований комплекс з пасивно деформованим профілем гусениці (рис 1.2) Гусениці цього типу здатні змінювати форму під впливом зовнішніх факторів, таких як нерівності рельєфу, але без активного керування. Це забезпечує кращу прохідність, ніж у роботів із фіксованим профілем.

Приклад гусеничних систем із пасивно деформованими профілем гусениці. (рис 1.2). В даному роботизованому комплексі використовується конструкція, де опорні ролики фіксуються за допомогою механізмів, спеціальними принципами. Це забезпечує природну податливість профілю гусениці, що сприяє кращому зчепленню з поверхнею, підвищенню прохідності на нерівному рельєфі та покращенню амортизаційних властивостей.

Така конструкція має додаткові переваги в умовах експлуатації на м'якому чи деформованому ґрунті, а також у середовищах із частими перешкодами. Використання пасивних деформацій дозволяє гусеничним системам зменшувати навантаження на окремі вузли, розподіляючи тиск

рівномірніше, що знижує ризик пошкоджень. Застосування біонічних принципів у механізмах цього типу відкриває перспективи для подальшого вдосконалення таких систем, роблячи їх ефективними для завдань у складних і нестабільних умовах



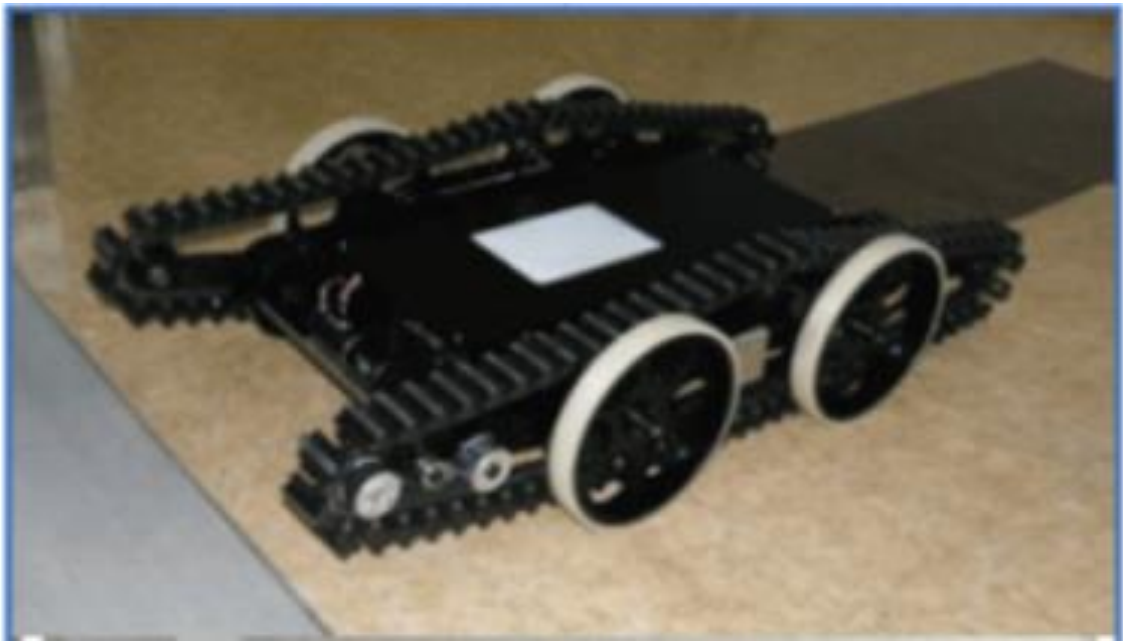
**Рисунок 1.2** – Наземний роботизований комплекс з пасивно деформованим профілем гусениці [9]

Наземний роботизований комплекс з активно деформованими нееластичними гусеницями (рис 1.3) Використовуючи жорсткі матеріали, які змінюються профіль за допомогою механічних компонентів. Це підвищує адаптивність і надійність під час пересування нерівними поверхнями.

Наземний роботизований комплекс, має дві незалежні диференційно-керовані гусениці, кожна з яких оснащена обертовим фліпером, що містить холосте колесо. Фліпери можуть змінювати свою довжину, при цьому вони забезпечені пружними елементами для підтримання оптимального натягу гусениць, незалежно від кута нахилу фліпера. Така конструкція дозволяє регулювати форму гусеничного профілю: плоска і подовжена форма використовується для збільшення площі контакту на м'якому ґрунті, тоді як

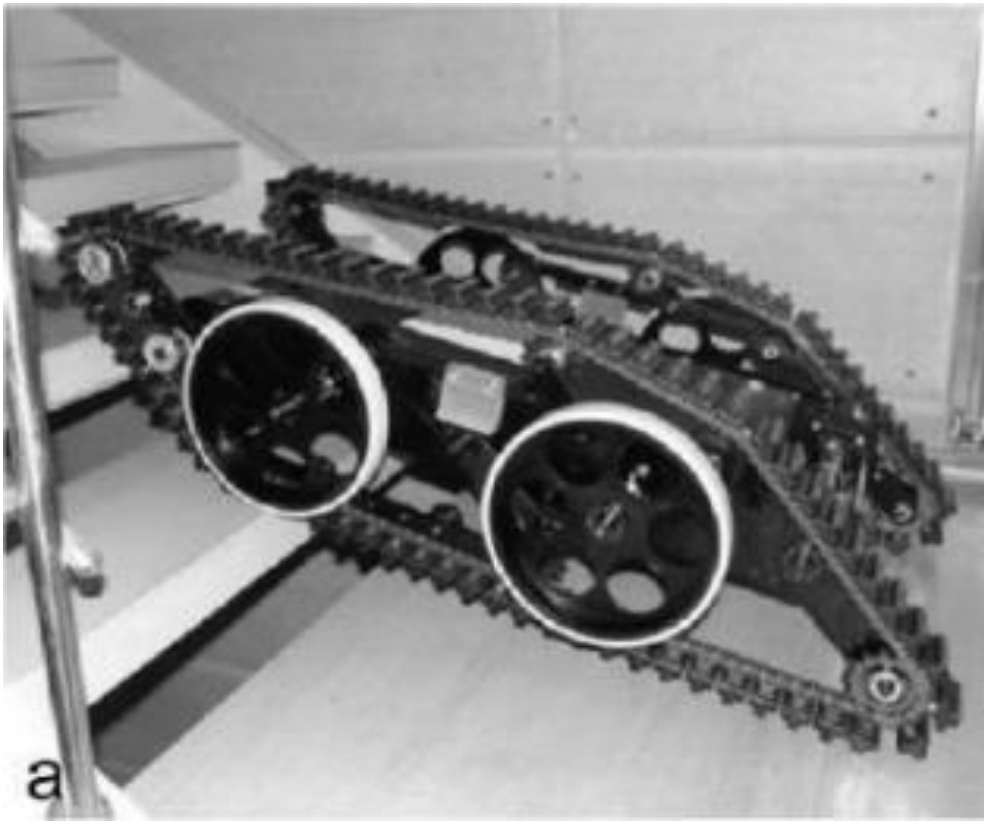
трикутна форма з адаптивним переднім кутом дозволяє долати перешкоди різного типу.

Наземний роботизований комплекс гібридний, що поєднує колеса і гусениці. На кожній стороні робота розташовані два колеса та одна гусениця, підтримувана складною шарнірною конструкцією у формі паралелограма. Цей механізм дозволяє складати гусениці для руху на колесах по рівній поверхні або розкладати їх для подолання перешкод, таких як сходи чи круті підйоми.



**Рисунок 1.3** – Наземний роботизований комплекс з активно деформованим нееластичними гусеницями. [9]

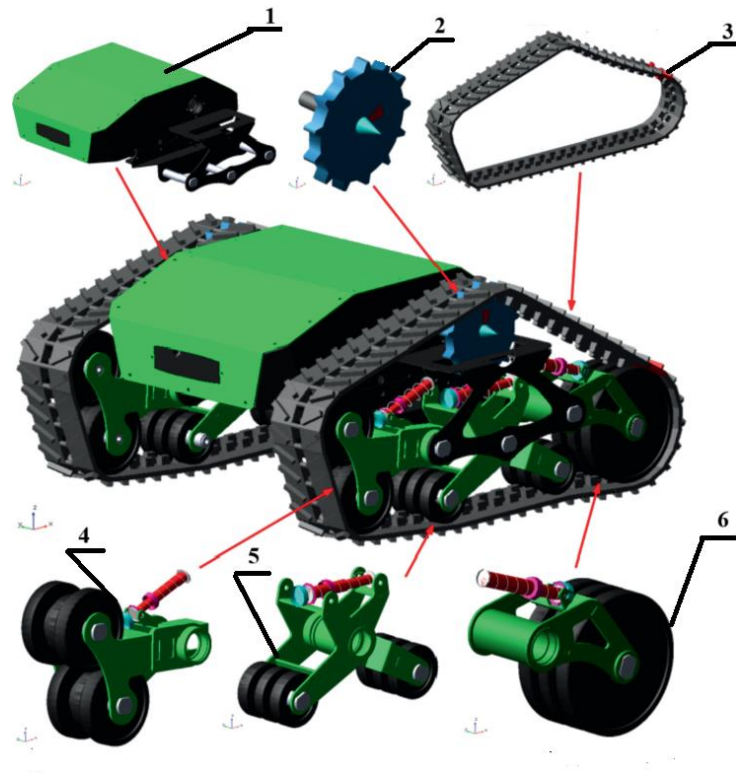
Наземний роботизований комплекс з активно деформованим нееластичними гусеницями підйом по сходах (рис 1.4). Розроблена спеціально для підйому сходами. У цій конструкції на кожному боці встановлено по одній гусениці, але корпус робота розділений на дві секції, з'єднані шарнірним механізмом. Щоб забезпечити контакт між гусеницями та зірочками під час руху, використовується верхня система направляючих. Однак така система втрачає симетрію, що може ускладнити стабільну роботу після перекидання.



**Рисунок 1.4** – Наземний роботизований комплекс з активно деформованим нееластичними гусеницями підйом [9]

Гусеничний рушій демонструють високу адаптивність до різних рельєфів завдяки їхній здатності змінювати геометрію та забезпечувати максимальну площу контакту. Водночас ці рішення вимагають більш складних механізмів, що збільшує їхню вартість і підвищує вимоги до обслуговування. У майбутньому розвиток таких систем може включати оптимізацію матеріалів для зменшення ваги і впровадження більш ефективних енергетичних систем для подолання обмежень, пов'язаних із їх складністю.

Представлено схематичну конструкцію гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу.(рис 1.5). На даній конструкції показано основні елементи такі як: корпус, зірочка, гусениця, задні колесо, середні колесо, передні колеса



**Рисунок 1.5** – Схематична конструкція гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу [8]

Розглянемо детально всі компоненти. Центральна частина, а саме корпус 1 наземного роботизованого комплексу, яка забезпечує жорсткість конструкції та є платформою для розміщення основних функціональних компонентів, таких як електроніка, двигуни та енергетичні системи. Дизайн корпусу забезпечує захист від механічних пошкоджень і впливу зовнішнього середовища.

Зірочка 2. Елемент, який забезпечує передачу обертального моменту від двигуна до гусениць. Розташовується в задній або передній частині рушія. Конструкція зірочки включає зачепи, що зчіплюються з гусеницею, для забезпечення стабільного руху без ковзання.

Гусениця 3. Гнучка гусениця, яка контактує з поверхнею для забезпечення руху. Забезпечує велику площу контакту із землею, що сприяє зниженню тиску на ґрунт. Конструкція гусениці дозволяє ефективно працювати на нерівностях, м'яких поверхнях або при подоланні перешкод.

Передні колеса 4, підтримують передню частину гусениці, забезпечуючи правильний напрямок і рівновагу. Мають амортизаційні елементи для поглинання ударів на нерівному рельєфі. Середні колеса 5, розташовані в середині опорної частини гусениці для розподілу навантаження. Покращують зчеплення гусениці з поверхнею, особливо в умовах складного рельєфу. Задні колеса 6, виконують функцію натяжного механізму для гусениці, забезпечуючи її стабільність і оптимальне натягування під час руху. [9]

Амортизаційні елементи, в кожній групі коліс, передні, середні й задні оснащення пружинними або іншими амортизаційними механізмами. Це сприяє підвищенню адаптивності гусеничного рушія під час руху по нерівних поверхнях, забезпечуючи плавний рух і стабільність. [9]

Шарнірні з'єднання, конструкція опорних елементів дозволяє забезпечити деяку гнучкість системи, яка важлива для адаптації до різних рельєфів.

Гусеничний рушій – це ключовий компонент, забезпечує контакт з поверхнею та адаптується до рельєфу.

Рифлений протектор. Поверхня гусениці оснащена спеціальними рифленнями для покращення зчеплення з різними типами ґрунтів такі як, м'які, сипучі й кам'янисті. Підвищує прохідність у складних умовах

Матеріал який використовується в гусениці, з високоміцного гумового або композитного матеріалу, який поєднує гнучкість та довговічність. Це нам дозволяє витримувати значні навантаження та протидіяти зносу.

Гусениця обертається навколо привідних зірочок та роликів, забезпечуючи плавний рух навіть на нерівному рельєфі. [9]

Усередині гусениці знаходиться армувальні вставки з металу або іншого міцного матеріалу для підвищення жорсткості та запобігання розтягуванню. Гусениця надійно з'єднана з приводними механізмами зірочками, підтримуючими роликами, що мінімізує можливість ковзання та проскакування. Гусениця адаптується до зовнішніх умов, забезпечуючи

рівномірний розподіл ваги на поверхню, що знижує тиск і дозволяє рухатись по м'якому ґрунту або піску.

Конструкція гусениці робить її придатною для використання на складних рельєсах, таких як пагорби, багністі місцевості або нерівні поверхні, забезпечуючи роботизованій системі високу прохідність і стійкість.

Переваги:

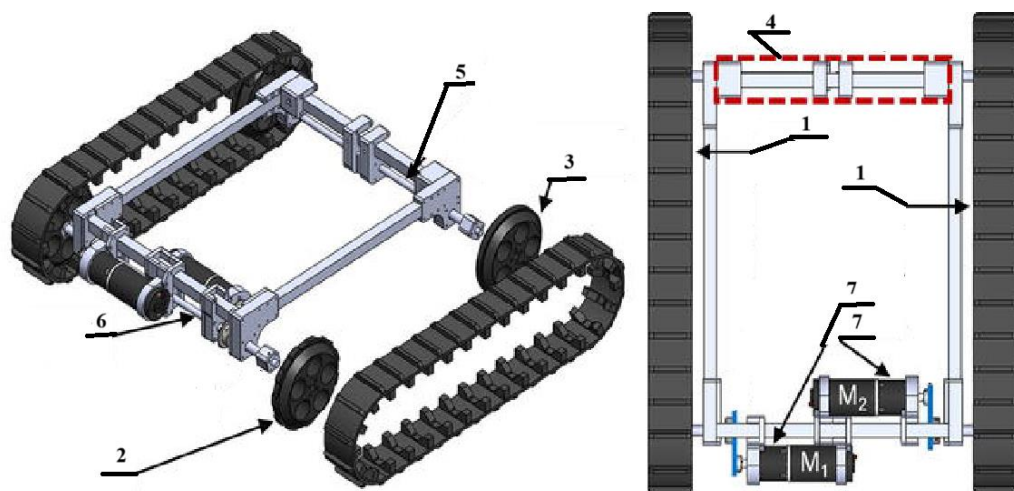
- Висока прохідність навіть на складних поверхнях.
- Рівномірних розподілів ваги на гусениці
- Зменшення ударних навантажень завдяки амортизації

Недоліки:

- Складність у виробництві через наявність багатьох рухомих елементів.
- Вища вартість і складність обслуговування порівняно з простішими системами.

### Універсальний гусеничний рушій для модульної платформи

Представлено гусеничний рушій, який є частиною універсальної платформи для наземних роботизованих комплексів (рис 1.6). Конструкція має збалансовану механічну структуру, яка забезпечує ефективну передачу руху та адаптацію до складних рельєфів. [2]



**Рисунок 1.6** - Гусеничний рушій універсальної платформи для наземних роботизованих комплексів [2]

Гусениця 1, виготовлена з високоміцного матеріалу, забезпечує довговічність та стійкість. Особливості дизайну має агресивний рельєф поверхні для максимального зчеплення з різними типами рельєфу. Гусеничний рушій забезпечує рівномірний розподіл ваги платформи та високу прохідність у складних умовах. Приводні колеса 2, розташовані на приводному валу ближче до силового модуля, передають крутний момент від двигуна до гусениці, створюючи тягову силу для руху платформи. Оснащені адаптерами для з'єднання з валами. Допоміжні колеса 3, встановлені на протилежному кінці рами. Підтримують натяг гусениці й стабільність роботи. Забезпечуючи вільне обертання для адаптації до нерівної поверхні. Механізм натягування гусениці 4, регулює натяг гусениці запобігаючи їх прослизанню чи надмірному ослабленню. Дозволяє адаптувати натяг залежно від умов експлуатації. Рама шасі 5, сталева конструкція зі звареного профілю. Є основою для монтажу всіх компонентів гусеничного рушія, та забезпечує жорсткість і стійкість до навантаження. Приводний вал 6, високоміцний вал забезпечує передачу крутного моменту від двигуна до приводних коліс, Двигуни, використовуються з постійним струмом. Приводять в рух приводний вал через редуктор. Керуються подвійним драйвером двигунів для точного налаштування швидкості та напрямку руху. Редуктор 7, призначення знижують швидкість обертання двигунів, одночасно підвищуючи крутний момент, необхідний для подолання перешкод. [2]

#### Особливості конструкції:

- Адаптація до рельєфу: Гусениці дозволяють платформі пересуватися по нерівній місцевості, піску, болотах, і навіть долати перешкоди.
- Модульність: Складові частини платформи можуть бути легко замінені або модифіковані відповідно до потреб.
- Надійність: Використання якісних матеріалів у поєднанні з ефективною трансмісією гарантує тривалий термін експлуатації.

- Простота обслуговування: Конструкція механізму натягування та модульний дизайн полегшують обслуговування та регулювання.

## **1.2 В процесі дослідження виявлено технічне рішення гусеничного рушія транспортного засобу**

Винахід належить до транспортного машинобудування, зокрема до гусеничного рушія з еластичною гусеницею (рис 1.7, рис 1.8, рис 1.9, рис 1.10)

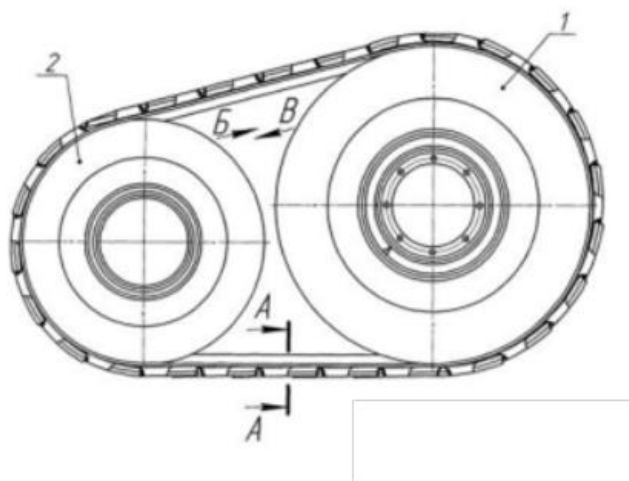
Відома рушійна система гусеничного наземного роботизованого комплексу, що містить колесо, направляюче колесо та еластичну гусеничну стрічку над ними. Гусениця виконана у вигляді вулканізованої гумової стрічки з шаром гнучкого нерозтяжного корду. На внутрішній стороні гусениці є поздовжня лінія виступів для забезпечення з зубчастими ведучим колесом. Виступи виконанні разом з гумовою гусеницею і укріплення кордом. По обидва боки від руху виступів на внутрішній стороні доріжки виконана плоска поздовжня доріжка, яка контактує з опорними роликками і направляючі колесами рушійного пристрою. Недоліком відомих рушіїв є те, що при взаємодії виступів гусениці з ведучими колесами в їх основі виникають високі напруження, що знижує термін служби і надійність гусеничного рушія. [11]

Найбільш близьким до винаходу, описаного у формулі і визнаного прототипом, є рушійна система гусеничного наземного роботизованого комплексу, що містить еластичну гусеницю, яка підтримує ведучі на напрямні колеса і покриває їх. Зовнішня поверхня коліс є гладкою, а фланці на обох кінцях запобігають зісковзування гусениці. Зусилля від ведучого колеса до гусениці передається шляхом сили тертя між гладкими контактними поверхнями ведучих коліс і гусениці. Недоліком відомого гусеничного рушія є те, що сила тертя між гладкими поверхнями контакту ведучого колеса і гусениці не забезпечує великої передачі зусилля від колеса до гусениці, а для збільшення сили тертя доводиться збільшувати натяг гусениці, що збільшує навантаження на натяжний пристрій. Завдання полягає в розробці рушійної системи для гусеничного наземного роботизованого комплексу, що включає

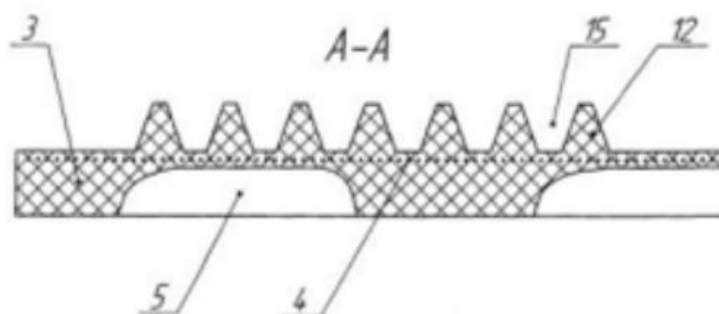
нову конструкцію опорних ведучих і напрямних коліс, які охоплюють еластичну гусеницю з протектором. Це дозволяє збільшити сили тертя між поверхнями ведучого колеса та гусениці, покращити фіксацію гусениці на колесах, що, в свою чергу, забезпечує підвищення потужності, переданої від ведучого колеса до гусениці, а також підвищує надійність роботи двигуна. Поставлене завдання вирішується таким чином, що в гусеничному русії наземного роботизованого комплексу, який містить опорні ведуче та напрямне колеса, що охоплюють еластичну гусеницю з протектором, на зовнішній частині коліс між їх торцями розташовані кільцеві виступи, а на внутрішній поверхні гусениці – поздовжні виступи, які входять у канавки між кільцевими виступами коліс і контактують з ними своїми бічними поверхнями. При цьому виступи на колесах і гусениці мають клиноподібну форму.

У результаті розробки забезпечується одержання результату, який полягає в підвищенні сили тертя між поверхнями які контактують з ведучим колесом та гусеницею для поліпшенні фіксації гусениці на колесах від поперечного зсуву. На зовнішніх поверхнях коліс виконані кільцеві виступи, між якими утворені канавки, у які входять поздовжні виступи, що виконані на внутрішній поверхні гусениці. Тягове зусилля від ведучого колеса на гусеницю передається шляхом сил тертя між бічними поверхнями кільцевих виступів коліс і поздовжніх виступів гусениці. Завдяки клиноподібній формі кільцевих і поздовжніх виступів збільшується сила, що притискає бічні поверхні кільцевих і поздовжніх виступів один до одного, завдяки чому збільшується сила тертя між контактуючими поверхнями ведучого колеса й гусениці, що дозволяє передавати від колеса до гусениці більш високі тягові зусилля. Крім того, кільцеві виступи є упорами, які перешкоджають поперечному переміщенню поздовжніх виступів, отже, можуть поліпшувати фіксацію гусениці на колесах від переміщення в поперечному напрямку. При цьому гусениця більш надійніше утримується на колесах при впливах на бічних зусиль, наприклад при повороті наземного роботизованого комплексу або при русі поперек схилу. Все вище викладене свідчить про наявність

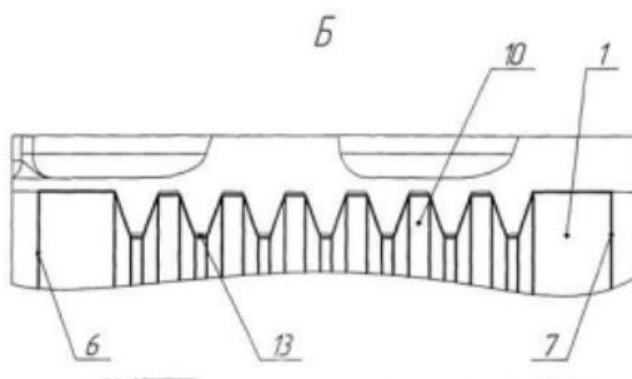
причинною наслідкового зв'язку між сукупністю істотних ознак винаходу й технічним результатом, що досягається.



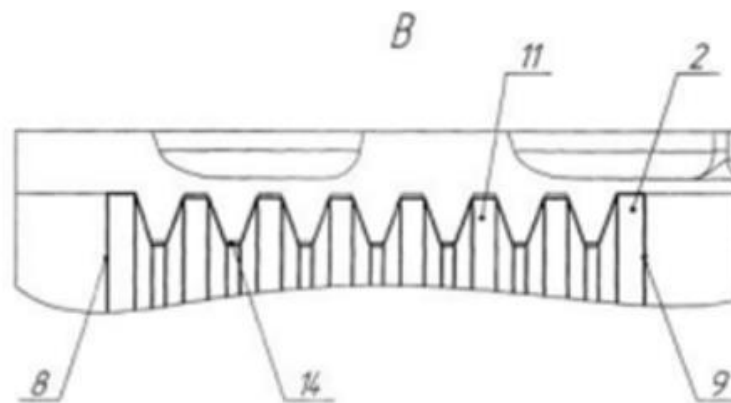
**Рисунок 1.7** - Зображена схема гусеничного рушія [10]



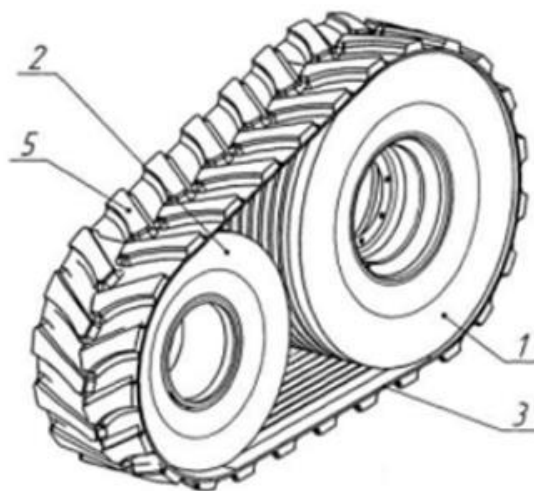
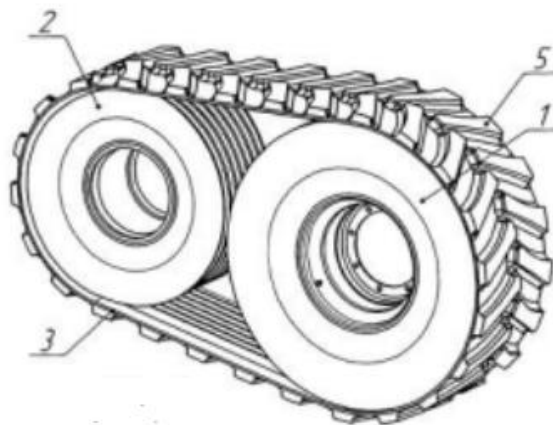
**Рисунок 1.8** - Розріз А-А [10]



**Рисунок 1.9** - Вигляд Б [10]



**Рисунок 1.10 - Вид B [10]**



**Рисунок 1.11 - Загальний вигляд гусеничного рушія [10]**

Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу складається з ведучого колеса 1, напрямного колеса 2 та еластичної гусениці 3 з протектором, який охоплює ці колеса. Гусениця 3 виготовлена як нескінченна гумова стрічка, в середині якої є вулканізований шар гнучкого корду який є нерозтяжного, зазвичай металокорду 4. На ззовні гусениці 3 знаходиться протектор 5. На зовнішній поверхні ведучого колеса 1 і напрямного колеса 2 між їхніми торцями 6 і 7, 8 і 9 згідно, виконані кільцеві виступи 10 і 11, що містять клиноподібну форму. На внутрішній частині гусениці 3 розташовані поздовжні виступи 12, і має клиноподібну форму. Поздовжні виступи 12 контактують з канавками 13 між кільцевими виступами 10 ведучого колеса 1 і з канавками 14 між кільцевими виступами 11 напрямного колеса 2, забезпечуючи щільний контакт з ними. Виступи 10 і 11 ведучого та напрямного коліс 1 і 2 також входять в канавки 15 між поздовжніми виступами 12 гусениці 3. Натяг гусениці здійснюється за допомогою механізму натягу. Принцип роботи гусеничного рушія такий: завдяки натягнутому положенню гусениці 3, її поздовжні виступи 12 щільно притискаються до бічних поверхонь кільцевих виступів 10 і 11 на ведучому та напрямному колесах. Коли ведуче колесо 1 обертається, через тертя між контактними поверхнями кільцевих виступів 10 та поздовжніх виступів 12, потужність, що надходить від двигуна, передається на гусеницю 3, яка перемотується на колесах 1 і 2, що забезпечує рух транспортного засобу. [11]

При поворотах наземний роботизований комплекс на гусеницю 3 діє поперечна сила через протектор 5. Кільцеві виступи 10 і 11 ведучого та напрямного коліс утримують поздовжні виступи 12 від поперечного зсуву, що дозволяє запобігти зсуву гусениці 3 з коліс. Форма кільцевих виступів у вигляді клина 10 і поздовжніх виступів 12 забезпечує значно більшу силу притискання між бічними поверхнями порівняно з традиційними конструкціями, де гусениця стикається з гладкою циліндричною поверхнею ведучого колеса. Це призводить до збільшення коефіцієнта тертя між колесом і гусеницею, що дозволяє передавати більші тягові зусилля. Наявність кількох

кільцевих виступів на зовнішній поверхнях ведучого і напрямного колеса покращує фіксацію гусениці на колесах і запобігає їй поперечному зсуву. Це дозволяє гусениці надійніше залишатися на колесах під час поворотів наземного комплексу, коли на неї діють бічні зусилля, що підвищує надійність роботи гусеничного рушія. [17]

### **1.3 В процесі дослідження виявлено технічне рішення гусеничного рушія транспортного засобу**

Винахід належить до області машинобудування і може бути використане в гусеничних наземних роботизованих комплексах засобів багато цільового призначення. Як прототип обраний гусеничний рушій, який містить ведучі та напрямні колеса, опорні катки та підтримуючі ролики, що охоплюють їх гусеничні ланцюги, амортизаційно-натяжні механізми гусеничних ланцюгів, що включають гідроциліндри натягу та попередньо стислі пружини. Величина деформації амортизаційно-натяжних механізмів з умови виходу гусеничного ланцюга із зачеплення із зубами провідних коліс. Недоліком цієї відомої конструкції є те, що в режимі спрацьовування амортизаційно-натяжного механізму між провідним колесом і останнім опорним катком утворюється велике провисання гусеничного ланцюга, так званий "мішок", що призводить до проковзування гусеничного ланцюга по зубцях ведучого колеса та виходу із зачеплення з ним. Це явище супроводжується великими ударними вантажами на деталі ходової системи і трансмісії оскільки після виходу з вершини зубів, цівки ланок верхньої натягнутої гілки гусеничного ланцюга повертаються у западини ведучого колеса під впливом повністю стиснутої пружини амортизатора. Крім того, при повороті транспортного засобу можливе зіскакування гусеничного ланцюга. Таким чином, пружний хід напрямного колеса, вибраний з умови виходу гусеничного ланцюга із зачеплення із зубами ведучого колеса в режимі спрацьовування амортизаційно-натяжного механізму сприяє зниженню надійності деталей ходової системи та трансмісії, зіскакування гусеничного ланцюга і, як наслідок, зниження надійності зачеплення гусеничного ланцюга

з провідним колесом. Крім того, пружини амортизаційно-натяжних механізмів, що забезпечують величину пружного ходу за формулою, мають більшу масу і габарити. Метою винаходу є підвищення надійності роботи гусеничного руху та зниження металомісткості за рахунок забезпечення надійного зачеплення гусеничного ланцюга з провідним колесом у режимі спрацювання амортизаційно-натяжного механізму. [9]

Поставлена мета досягається завдяки тому, що в гусеничному рушію транспортного засобу, що містить провідні та напрямні колеса, опорні катки та підтримуючі ролики, що охоплюють їх гусеничні ланцюги, амортизаційна натяжних механізмів гусеничних ланцюгів, що включають гідроциліндри натягу і попередньо стислі пружини, згідно з винаходом, зуб ведучого колеса виконаний з висотою, яка визначається за формулою:

$$h - \Gamma_{\text{ц}} = \frac{1}{\pi} \left[ 2S (m + 1) + \frac{8}{3} \right] \sum_{i=1}^n \frac{fi^1}{l_1}$$

де  $h$  – висота зуба ведучого колеса;

$\Gamma_{\text{ц}}$  - радіус цівки ланки гусениць;

$S$  - величина зазору між витками попередньо стиснутої пружини амортизаційно-натяжний механізм;

$m$  - повне число витків пружини амортизаційно-натяжного механізму;

$fi$  - провисання гусеничного ланцюга на  $i$ -тому ділянці;

$l$  - відстань між опорами  $i$ -того ділянки гусениці;

Пружності гусеничного ланцюга і підтискання опорних котків, обрана в межах 2.5 .... 9 мм

На відміну від відомих технічних рішень, у запропонованому гусеничному рушію транспортного розміру суми зазорів між витками пружини амортизаційно-натяжного механізму, що визначає пружний хід спрямованого колеса, зменшено на величину радіуса цівки ланки гусениці та лінійної постійної, обраної в межах 2,5...9 мм, що дозволяє запобігти

прослизанню гусеничного ланцюга по зубцях ведучого колеса та виникненню ударних навантажень на деталі ходової системи та трансмісії при русі в режимі спрацьовування амортизаційно-натяжного механізму.

Технічна сутність і принцип дії запропонованого гусеничного рушія транспортного засобу пояснюється кресленням, на якому зображено:

На рисунку 1.13 - схема гусеничного рушія;

На рисунку 1.14 - Гусеничний ланцюг з провідним колесом у режимі спрацьовування амортизаційно-натяжного механізму.

Гусеничний рушій складається з провідних 1 і направляючих коліс 2, опорних катків 3, підтримуючих роликів 4, гусеничних ланцюгів 5 і 7. Гусеничний ланцюг 5 по всьому своєму обводу утворює в статиці ділянки провисання, відстані по опорах яких рівні: між переднім опорним катком 3 і напрямним колесом 2-11, між направляючим колесом 2 і переднім підтримуючим роликом 4-1г, між переднім і заднім підтримуючими роликами 4-1з, між заднім підтримуючим роликом 4 і провідним роликом 1-14 і між провідним колесом 1 і заднім опорним катком 3-15.

Запропонований гусеничний рушій працює наступним чином. Під час руху транспортного засобу по нерівності шляхи, в умовах намерзання льоду на бігові доріжки гусениці та ободи ведучих напрямних коліс, як показує розрахунок та досвід експлуатації, компенсація розбору обведення гусеничного ланцюга здійснюється в здебільшого шляхом спрямування провисаючих її ділянок. У динаміці зазначені провисання можуть тимчасово переміщатися до однієї ділянки на іншу залежно від роду руху, але їх сумарна величина дорівнює сумі провисань у статиці. Звільняю мою за рахунок провисань довжину гусеничного ланцюга можна визначити за формулою:

$$\sum_{i=1}^n (S1 - l1) = \frac{8}{3} \sum_{i=1}^n \frac{f_i^1}{l_1}$$

де  $S1$  - довжина провисає ділянки гусеничного ланцюга між відповідними опорами, що дорівнює довжині ланцюгової лінії на цих ділянках

$l_1$  - відстань між опорами 1-його ділянки гусениці;

$f_i$  - провисання гусеничного ланцюга на першій ділянці;

При проектуванні гусеничного руху приймається:

$$f_2 = \left( \frac{1}{16} - \frac{1}{20} \right) l_1$$

При попаданні сторонніх предметів між ведучим 1 або напрямним 2 колесами та гусеничним ланцюгом або подолання зосередженої перешкоди подальша компенсація довжини гусеничного обведення відбувається за рахунок деформації попередньої стиснутої пружино амортизаційно-натяжного механізму, дає можливість переміщення напрямного колеса 2, величина якої визначається як сума зазорів між її витками.

Наприкінці пружного ходу напрямного колеса 2 досягає свого максимального значення деформація гусеничного ланцюга 5 та підтискання опорних котків 3. яку можна подати у вигляді лінійної постійної обраної в межах 2,5...9 мм. Для кожної конкретної конструкції кодової системи вона визначається дослідним шляхом і залежить від навантажень, що діють в гусеничному обводі, і геометричні параметри його деталей.

При цьому сумарна величина зазорів між витками пружини по заявляється винаходом повинна бути обмежена таким чином, щоб не допустити проскакування цівок ланок гусеничного ланцюга по вершинах зубів провідного колеса. Бажаний ефект досягається шляхом зменшення радіуса кола, на яку виходять центри цівок ланок гусеничного цепа при спрацьовуванні амортизаційної натяжного механізму, на величину радіуса цепки гусениці Гц. Якщо в режимі звичайного зачеплення цівки ланок укладаються по околиці западин між зубами ведучого колеса, то для проскакування цівок ланок по вершинам зубів необхідний їх вихід навколо вершин зубів, тобто на окружність, радіус якої більший за радіус окружності западин на величину висоти зуба  $h$  ведучого колеса, а для запобігання такого проскакування на величину  $(h - Гц)$ .

Таким чином, підвищення надійності гусеничного рушія пропонується досягти обмеженням величини пружного ходу напрямного колеса таким її значенням, яке запобігає проскакуванню гусеничного ланцюга по вершинах зубів ведучого колеса і виникнення при цьому ударних навантажень на деталі ходової системи та трансмісії трактора Крім того, зменшенням пружного ходу напрямного колеса суттєво зменшуються габарити та маса пружин амортизаційно-натяжного механізму. Усе це доводить відповідність технічного рішення, що заявляється, критерію "позитивний ефект".

В аварійних ситуаціях руху транспортного засобу, коли пружного ходу направляючого колеса не вистачає, обмеження розтягують гусеничний ланцюг навантажень, або для припинення дії сили удару на деталі амортизаційно-натяжного механізму, спрацьовує запобіжний клапан його гідроциліндра 7 (клапан на кресленні не показаний).

Техніко-економічні переваги гусеничного двигуна, що заявляється, полягає в підвищенні надійності зачеплення гусеничного ланцюга з провідним колесом режимі спрацьовування амортизаційно-натяжного механізму, у підвищенні довговічності вузлів і деталей ходової системи трансмісії, у суттєвому зменшенні габаритів та маси пружин амортизаційно-натяжного механізму. [9]

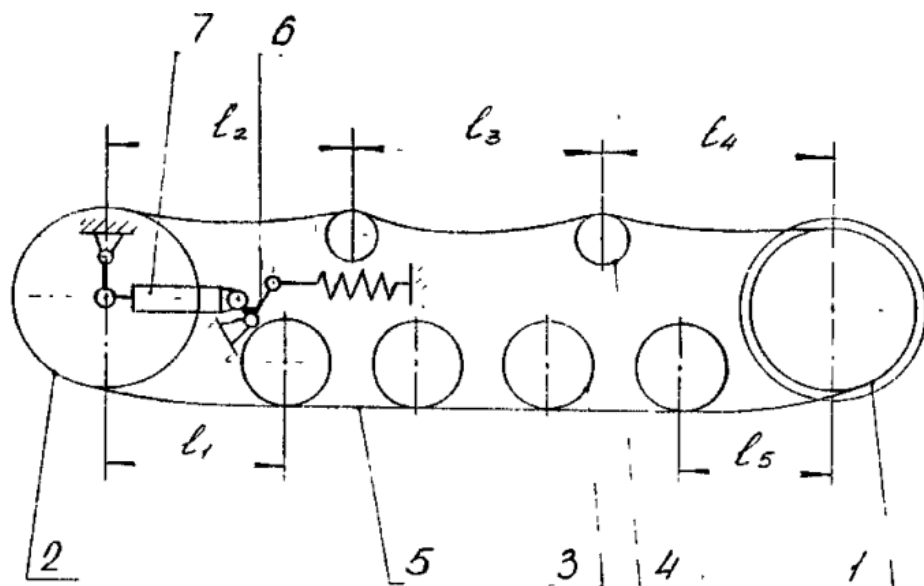
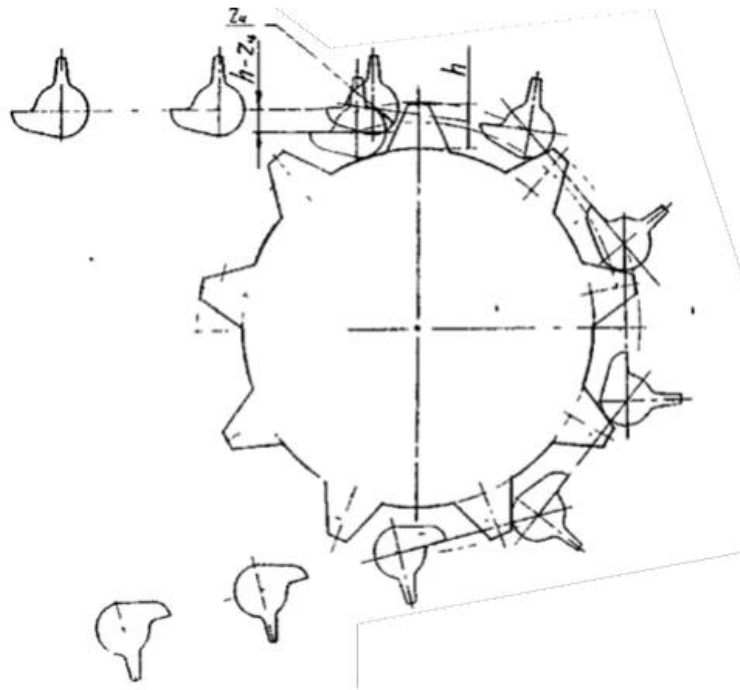


Рисунок 1.13 - Гусеничний рушій. [9]



**Рисунок 1.14** - Ведуче колесо гусеничного рушія. [9]

### **Висновки до розділу**

Було проведено аналіз наявних рішень у сфері гусеничних рушіїв наземних роботизованих комплексів. Виявлені переваги та недоліки різних підходів, зокрема аналіз конструктивних особливостей та адаптивності до умов експлуатації. Сучасні тенденції спрямовані на підвищення універсальності та ефективності гусеничних систем шляхом інноваційних матеріалів та адаптивних конструкцій.

## **2. Конструктивні рішення, проектування, конструювання наземних роботизованих комплексів**

### **2.1 Наземний роботизованого комплексу з прямою підвіскою опорних катків рушія**

Жорстко закріпленні відносно рами наземний роботизований комплекс і багатоточній незалежності підвіски опорних катків (рис 3.1)

Схема зображає конструкцію гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу (рис 3.1)

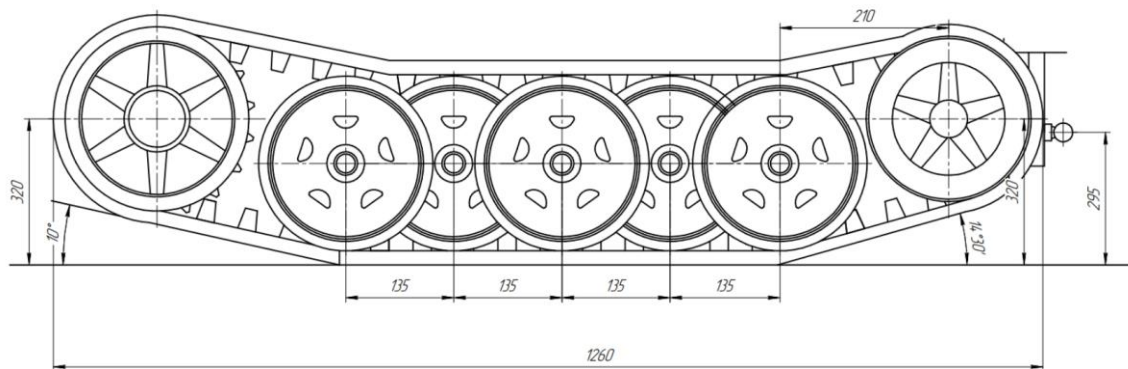
Ведучого катка який, розташований на задній частині конструкції і призначається для передачі крутного моменту на гусеницю, при цьому забезпечує рух комплексу. Каток має більший діаметр і спеціальну форму для захоплення гусениці. Натяжний каток, розташовується спереду і відповідає за натяг гусениці, щоб вона залишалася натягнутою під час руху. Натяжний каток також має збільшений діаметр і підтримує стабільність рушія.

Опорний каток, розміщений між ведучим і натяжними катками, які підтримують вагу наземного роботизованого комплексу і рівномірно розподіляють навантаження на гусеницю під час руху. Опорні катки, є жорстко закріплені відносно рами, що забезпечує стійкість конструкції на нерівних поверхнях.

Гусениця, охоплює ведучий, натяжний і опорні катки, забезпечуючи стійкий контакт із поверхнею. Завдяки широкій поверхні гусениці, комплекс може пересуватися по різних типах місцевості. Кут нахилу рами ( $10^\circ$ ), рама нахилена під кутом 10 градусів відносно горизонту, що дозволяє адаптувати конструкцію для подолання підйомів та спусків, підвищуючи прохідність комплексу. [8]

Ця схема ілюструє конструкцію та розташування основних елементів гусеничного рушія, що забезпечує надійність та стійкість комплексу під час руху.

Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу включає опорні катки, ведучий і натяжний каток (рис 3.1)



**Рисунок 2.1** - Швидкісний напівгусеничний наземний роботизованого комплексу з прямою підвіскою опорних катків рушія

## 2.2 Гусеничний рушій з рамним механізмом

Жорстко закріпленні відносно рами наземний роботизований комплекс і багатоточній незалежності підвіски опорних катків (рис 3.2)

На даній схемі наземного роботизованого комплексу показано (рис 3.2)

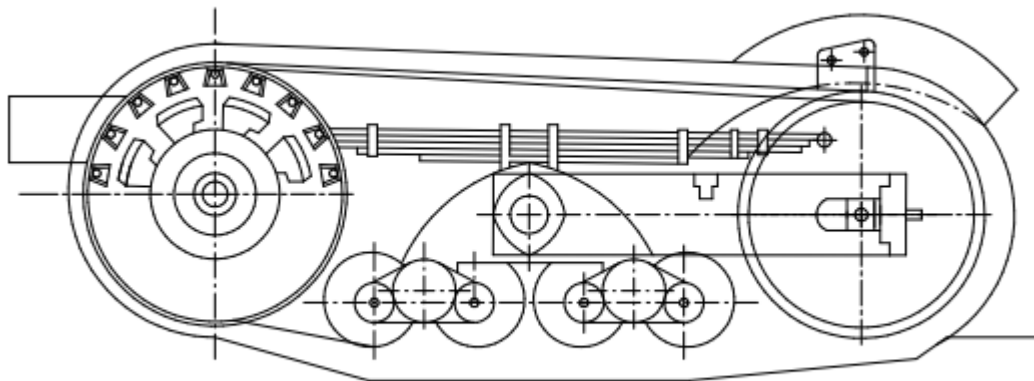
Ведучий каток розташований з одного боку гусеничної системи та забезпечує передачу крутного моменту для руху. Каток має спеціальні зубці для ефективного зачеплення з гусеницею. Натяжний каток розташований з протилежного боку та служить для підтримки постійного натягу гусениці, що забезпечує плавний рух комплексу.

Опорні катки підтримують основну масу наземного роботизованого комплексу, забезпечуючи стабільний контакт з поверхнею. Вони жорстко закріплені відносно рами, але мають незалежну багатоточкову підвіску для адаптації до нерівностей поверхні. Багатоточкова незалежна підвіска, має кілька точок кріплення для кожного опорного катка, що дозволяє їм незалежно рухатися відносно один одного. Це забезпечує більшу стійкість та плавність руху на пересіченій місцевості.

Конструкція підвіски включає шарнірні з'єднання та демпфери, що дають можливість адаптуватися до змінних навантажень та нерівностей на шляху.

Рама конструкції забезпечує жорсткість і надійність, об'єднуючи всі елементи системи в єдине ціле. Вона також служить основою для розміщення додаткових механізмів управління, таких як моторний привід та амортизатори. Гусениця охоплює всі катки та забезпечує плавний рух і стійкість комплексу під час руху по різних типах поверхонь. Широкий профіль гусениці дозволяє комплексу долати різноманітні перешкоди. [14]

Призначення, конструкція гусеничного рушія розроблена для покращення прохідності наземного роботизованого комплексу в складних умовах. Незалежна підвіска опорних катків дозволяє адаптуватися до рельєфу місцевості, мінімізуючи вібрації та підвищуючи стійкість під час руху.



**Рисунок 2.2** – Гусеничний рушій з рамним механізмом

### **2.3 Гусеничний рушій з важільною підвіскою**

Конструкція гусеничного рушія з важільною підвіскою (рис 2.3). Система гусеничного рушія, яка підтримується за допомогою важільної підвіски, що забезпечує кращу амортизацію і плавність ходу при русі при нерівностях.

Ведуче колесо розташовано в лівій частині конструкції, колесо має зубці на поверхні, які зачіплюються з гусеничною стрічкою. Ведуче колесо є основним елементом, що призводить рух гусеничну систему. Гусенична стрічка, забезпечує надійне зчеплення із землею та максимальний контакт з поверхнею. Ведене колесо, служить для підтримки і натягу гусеничної стрічки, знаходиться в правій частині конструкції зверху. Опорні ролики знаходяться в нижній частині, чотири опорні ролики, які підтримують гусеничну стрічку, забезпечуючи рівномірний розподіл навантаження. Опорні ролики встановлені на важелях, які дозволяють амортизувати нерівності на шляху, і пом'якшувати рух машини.

Важільна підвіска основна особливість конструкції важільної підвіски, яка кріпиться до опорних роликів, Ця підвіска забезпечує плавність ходу, і кращу адаптацію до нерівностей поверхні. Підвіска дозволяє опорним роликам переміщатися відносно один одного, що збільшує стійкість наземного роботизованого комплексу на різні поверхні.

Підтримуючі елементи на верхній частині гусеничної системи встановлені підтримуючі елементи, які не дають гусеничній стрічці провисати.

Дана конструкція гусеничного рушія з важільною підвіскою є надійною для використання на нерівних і важкодоступних поверхнях. Важільна підвіска дозволяє значно покращити амортизаційні властивості, що підвищує комфорт при експлуатації, техніки та зменшує знос комплектуючих. Такий гусеничний рушій підходить для важкого комплексу, яка потребує високої прохідності, стійкості та плавності ходу.



**Таблиця 2.1** - Допуск граничного тиску під гусеничної бази наземного комплексу

Тип комплексу	Характеристики полотна руху і прохідності	Граничне навантаження в кг\см <sup>2</sup>
Комплекс із загальною вагою до 8.0 т.	Всі види бездоріжжя. Добра прохідність	0.30 – 0.35
Комплекс із загальною вагою більше 8.0 т.	Вологі і рихлі поверхні ґрунту. Сніг глибиною 500м.Прохідність обмеження	0.45 – 0.60
Наземний роботизований комплекс для пересування по снігу	Сніжна цілина будь-якої глибини і стану. Прохідність нормальна	0.1 – 0.2

#### **2.4 Гусеничний рушій з балансирною підвіскою рушія**

Конструкцію приводу наземного роботизованого комплексу з балансирною підвіскою (рис 2.4).

Гусенична стрічка, яка призначається для забезпечення стійкості і прохідності на сніговій поверхні. Її конструкція із зубцями покращує зчеплення зі снігом і льодом і на м'яких поверхнях.

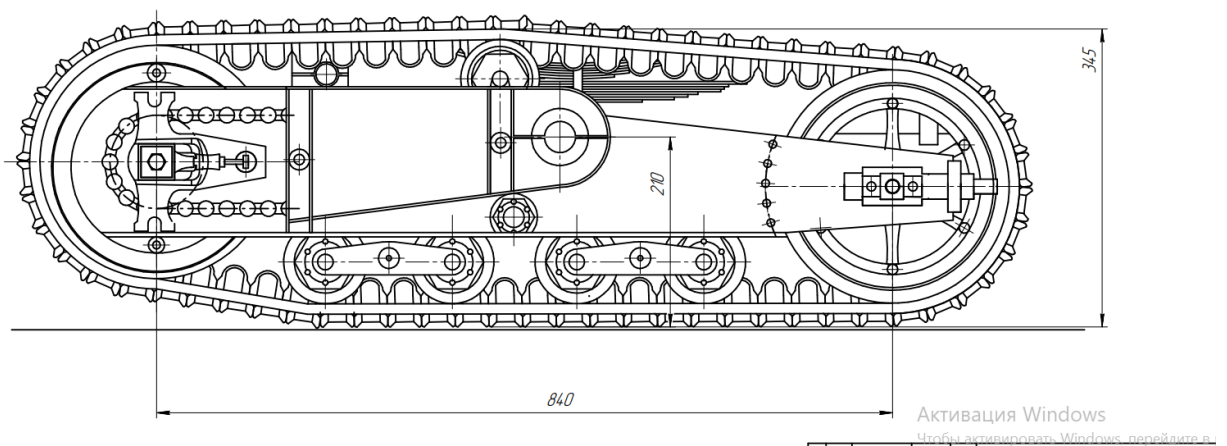
Балансирна підвіска, система підтримки, яка складається з кількох коліс, встановлених на рамі через балансири. Вона допомагає рівномірно розподіляти навантаження та адаптуватися до нерівностей поверхні, що покращує стабільність руху.

Ведуче колесо, розташовується в задній частині наземного роботизованого комплексу. Колесо передає обертальний момент від двигуна до гусеничної стрічки, яке надає рух наземного роботизованого комплексу

Направляюче колесо, розташовується в передній частині, яке служить для підтримки гусеничної стрічки в замкнутому стані.

Передавальні елементи, такі як ланцюг, що передають крутний момент на ведуче колесо, дозволяючи конструкції рухатися.

Конструкція руху дає значні умови на глибині його. При поганій конструкції руху можемо отримати значно гіршу прохідність в полотно руху, навіть при малих значеннях придільного тиску



**Рисунок 2.4** - Наземний роботизований комплекс з балансирною підвіскою рушія

## **2.5 Умови роботи гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу в різних конструкціях підвіски.**

Показані умови роботи гусениць в різних конструкціях руху

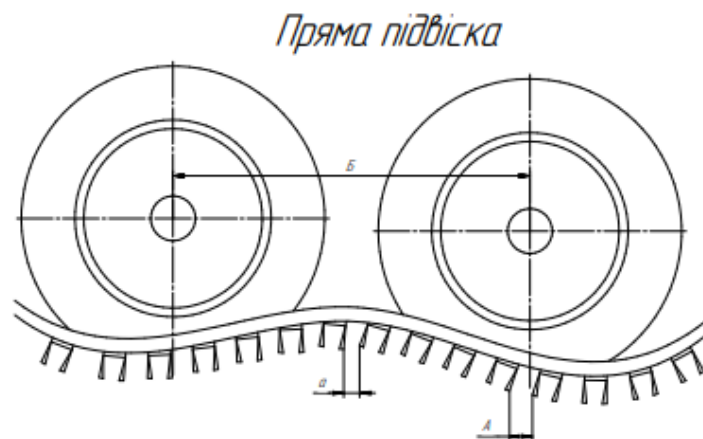
Конструкція руху наземного роботизованого комплексу «Пряма підвіска» так, що при малих придільному тиску ( $0.14 \text{ кг/см}^2$ ) дає значення рихлення і деформації снігу в колесі, визиваючі збільшення глибини. При цьому отримуємо в наслідок сильного зворотного згину гусениці між катками, викликають зміну ходу ведучих накладок (рис 2.5).

Рух гусеничного наземного роботизованого комплексу «Динамічна підвіска» (рис 2.7), при цьому однаковий придільний тиск ( $0.14 \text{ кг/см}^2$ ), дає

менше рихлення снігу і відповідно нижчу глибину колії. Під сумуючи отримуємо, що конструкція руху «Динамічна підвіска» або «Маятникова підвіска» має часте розположення опорних катків та невеликий діаметер, крім цього, конструкція гусениці допускає лише невеликий зворотній прогин гусениці.

Пряма підвіска. прогин гусениці у підвіски у всіх опорних катах, які закріплення жорстко на рамі без можливості вертикального переміщення. Це означає, що гусениця утворює жорстку площину з мінімальним прогином між катками. Оскільки катки закріплені жорстко, крок ведучих накладок залишається постійним і не змінюється під навантаженням. Пряма підвіска сприяє рівномірному розподілу навантаження по гусениці на рівних поверхнях, однак на нерівних поверхнях може призводити до підвищеного зносу гусениці (рис 2.5). [14]

Така конструкція менш підходить для роботи на нерівних поверхнях, оскільки вона не забезпечує належної адаптації до рельєфу. Гусениця жорстко прилягає до катків, і це може збільшити тиск на ґрунт, особливо на виступаючих ділянках.



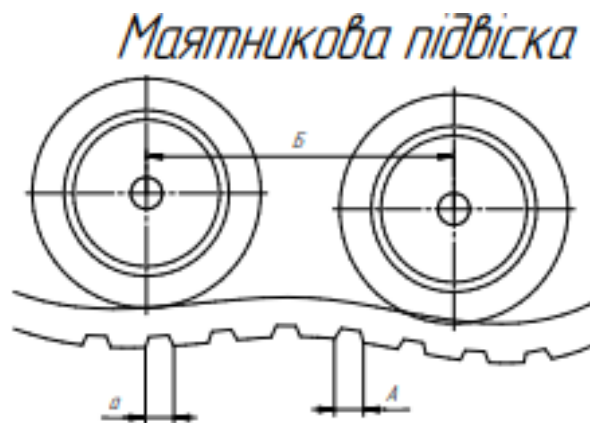
**Рисунок 2.5** - Пряма підвіска

Маятникова підвіска (рис 2.6). Прогин гусениці у маятниковій підвісці, катки які встановленні на балансірних важелях, які можуть вільно переміщатися навколо осі. Це забезпечує можливість вертикального руху

катків, завдяки чому гусениця може прогинатися під впливом нерівностей поверхні. Прогин між катками буде залежати від амплітуди руху балансирів, він може бути більшим або меншим в залежності від навантаження і рельєфу.

Крок ведучих накладок у маятниковій підвісці, крок ведучих накладок може змінюватися в залежності від положення катків, особливо на нерівних поверхнях. Коли балансири нахиляються через нерівності, відстань між накладками може трохи змінюватися.

Особливості, маятниковій підвісці забезпечує плавніший рух і краще пристосування гусеничного рушія до нерівностей поверхні, зменшуючи навантаження на кожний окремих каткові покращуючи комфорт під час руху. Це дозволяє зменшити знос гусениці та підвищити зчеплення з ґрунтом.



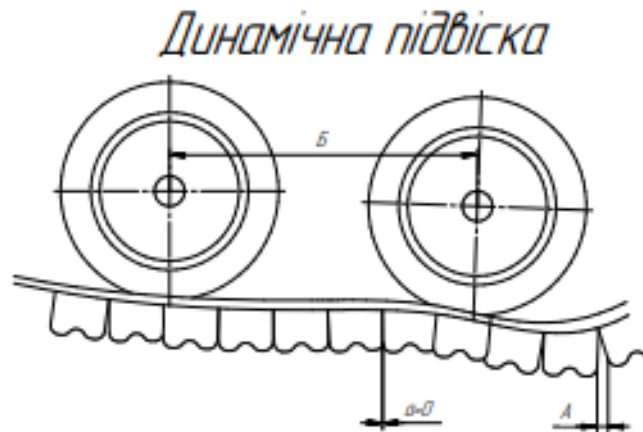
**Рисунок 2.6** - Маятникова підвіска

Динамічна підвіска, кожен каток або група катків можуть мати індивідуальну підвіску з амортизаторами або пружинами, що дозволяє, їм вільно переміщатися незалежно один від одного (рис 2.7). Це забезпечує максимально адаптивний прогин гусениці під нерівності поверхні. Прогин між катками може змінюватися дуже динамічно залежно від швидкості руху, навантаження і характеру поверхні.

Крок ведучих накладок, в підвісці крок накладок також може дещо змінюватися, оскільки амортизація або пружини дозволяють кожному катку переміщатися незалежно, підлаштовуючися під нерівності. Це може

призводити до незначних коливань в кроці накладок особливо при високих швидкостях, або складних рельєфів

Особливості динамічній підвісці забезпечує найкраще поглинання ударів і адаптацію до поверхні, зменшуючи коливання і навантаження на окремі елементи. Це знижує зношування гусениці, підвищує прохідність на складних рельєфах та забезпечує більший комфорт під час руху.



**Рисунок 2.7** - Динамічна підвіска

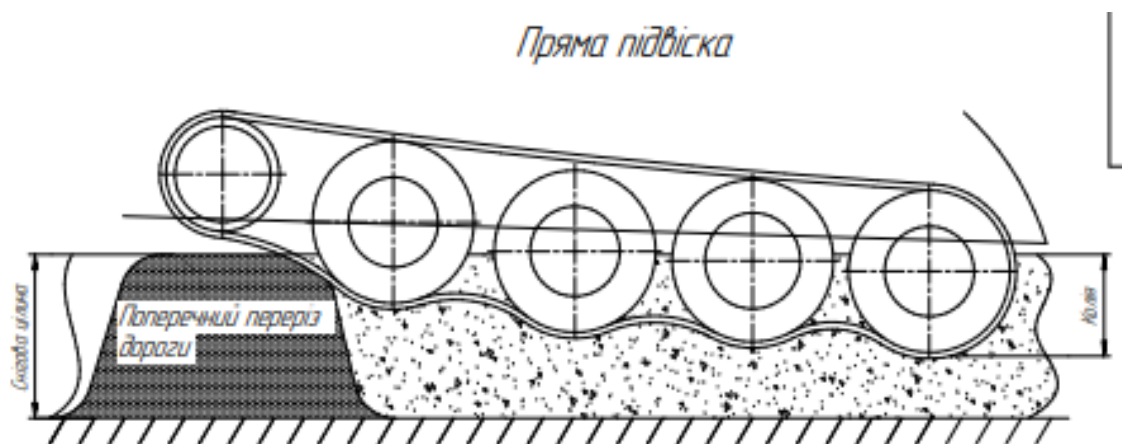
Однак опорні катки більшого діаметра зменшують втрати на їх перекачування по гусениці. Якщо, при збільшенні діаметрів катків з 200 до 300 мм, зменшуються супротив більш чим на 25%. При цьому отримали застосування опорних катків діаметром 650 мм і більше. Но збільшення діаметра катків зменшується його кількість на опорній частині гусениці, що створює збільшення пікову навантажувальність на полотно ґрунту. Для усунення цього застосовується шахматне розположення катків

Більше значення має правильний вибір кута придільного підйому гусениці. Найбільш вигідними являються кути, яки не перевищують 10-12 градусів і значно збільшують проходимість на слабких ґрунтах за рахунок збільшення опорних поверхностей гусениці при сильних погрузеність гусеничного рушія (рис.2.8, 2.9, 2.10)

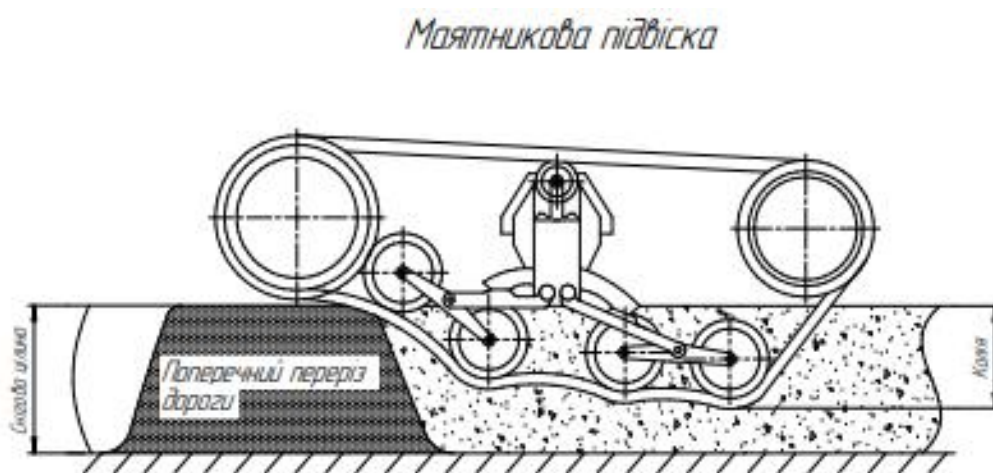
Збільшення опорних поверхностей гусениці за рахунок її ширини збільшує супротив руху так що, і застосування активних ґрунтозацепів.

Гусениці гусенечних наземних роботизованих комплексів можуть бути розділенні на наступні три типа:

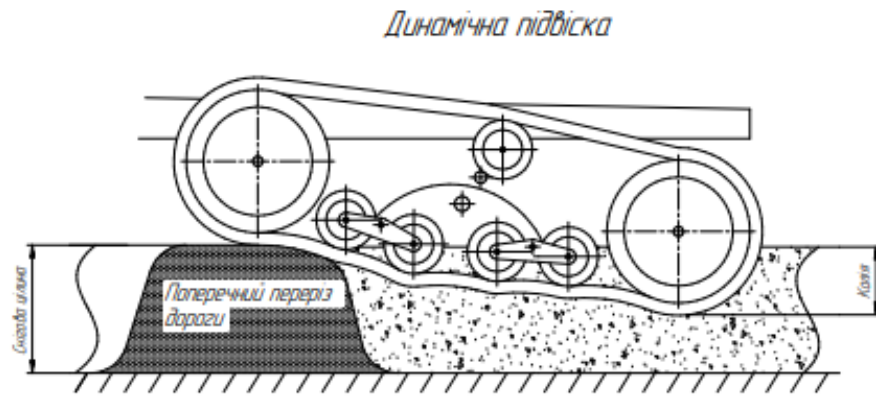
- а) Еластичні (неметалеві)
- б) Металеві
- в) Комбіновані



**Рисунок 2.8** - Пряма підвіска



**Рисунок 2.9** - Маятникова підвіска



**Рисунок 2.10** - Динамічна підвіска

Першою спробою отримали не дорогу, безшумну і зносостійкою Гусинці зв'явилось заміна шарнірно металевий стрічки чисто гусеничних наземних роботизованих комплексів нескінченною резино-тканнинною стрічкою, При цьому гусениці були властиві зниженою зачепленими властивостями і недостатня міцність, особливо на твердих кам'яних ґрунтах і на крутих поворотах. Слідом цього вказано негативних якостей, це тип гусениці найшов використання тільки на перших типах гусеничний рушій наземних роботизованих комплексів («Динамічна підвіска»)

Прагнення надати тканинно-еластичною гусеницею поперечну та поздовжню жорсткість, збільшити її довговічність і збільшити зачеплення з ґрунтом, привело до появи комбінаційних гусениць із зовнішнім металевими накладками і гумовими башмаками. [14]

З метою покращення передачі тягового зусилля були створенні гусениці, стан яких тканинно-еластичною гусеницею, з'єднуванні металевими провідними елементами («Пряма підвіска»). Слабкими місцями таких

Гусениць є поступове витягування стрічки під впливом тягового зусилля і наявністю великою кількістю болтових з'єднань.

Більш досконале є комбінування резино-металевих гусениць, застосовується на військових гусенецях наземного роботизованого комплексу. Їх особливістю є, що всередині гумова стрічка вулканізована ряд металевих тросів приймають тягові зусилля. Кожна гусениця складається з двох стрічок,

закріпленні вулканізованим в їх металевих пластинах, з'єднаних що знаходяться всередині стрічками тросів. Пластини розположенні по гусениці на однакових довжинах, утворюючи їх крок. На кожній пластинні є зуб яких заціплюється з ведучим колесом, і направляючи гребені для опорних катків. Такі комбінації гусениці показують гарні ходові якості і достатню зносостійкість. Конструкція гусениці забезпечує можливість постановки роз'ємних опор [14]

З металевих гусениць отримує зростання тільки гусениці з шарнірами на голчатих підшипниках, забезпеченим гумовий башмаками. Цього типу гусениці має невеликі супротив, перекачування і гарну зносостійкість. головним недостатком є висока вартість виготовлення.

Прості дрібнозв'язанні металеві гусениці скільки замітного поширення не отримали, хоча і мають великий ряд плюсів: простота конструкції, не велика вартість. Головним недоліком є низький КПД і пониженні зносостійкість.

Використання гумово-металевих шарнірів гусениць з введеним гумовий шарніром типу втулки, дає позитивні результати. Такі гусениці використовуються на закордонній техніці і швидкохідних тягачах які показали високі експлуатаційні якості.

**Таблиця 2.2** - Порівняння типів підвісок

Параметри	Пряма підвіска	Маятникова підвіска	Динамічна підвіска
Прогин гусениці	Мінімальний, жорсткий	Залежить від амплітуди балансу	Максимально адаптивний
Крок ведучих накладок	Постійний	Невеликі зміни на нерівностях	Незначні коливання на рельєфах
Пристосованість до рельєфу	Низька	Середня	Висока
Амортизація	Мінімальна	Добра	Максимальна
Знос гусениці	Підвищений на нерівних рельєфах	Середня	Мінімальна

Пряма підвіска краще проходить для рівних поверхнею і використовується там де і немає потреби в адаптації до нерівностей, але гусениця може швидше зношуватися при експлуатації на складному рельєфі.

Маятникова підвіска забезпечує кращу адаптацію до нерівностей, дозволяючи системі поглинати коливання і зменшувати навантаження на гусеницю, зберігаючи крок накладок у відносно постійному діапазоні

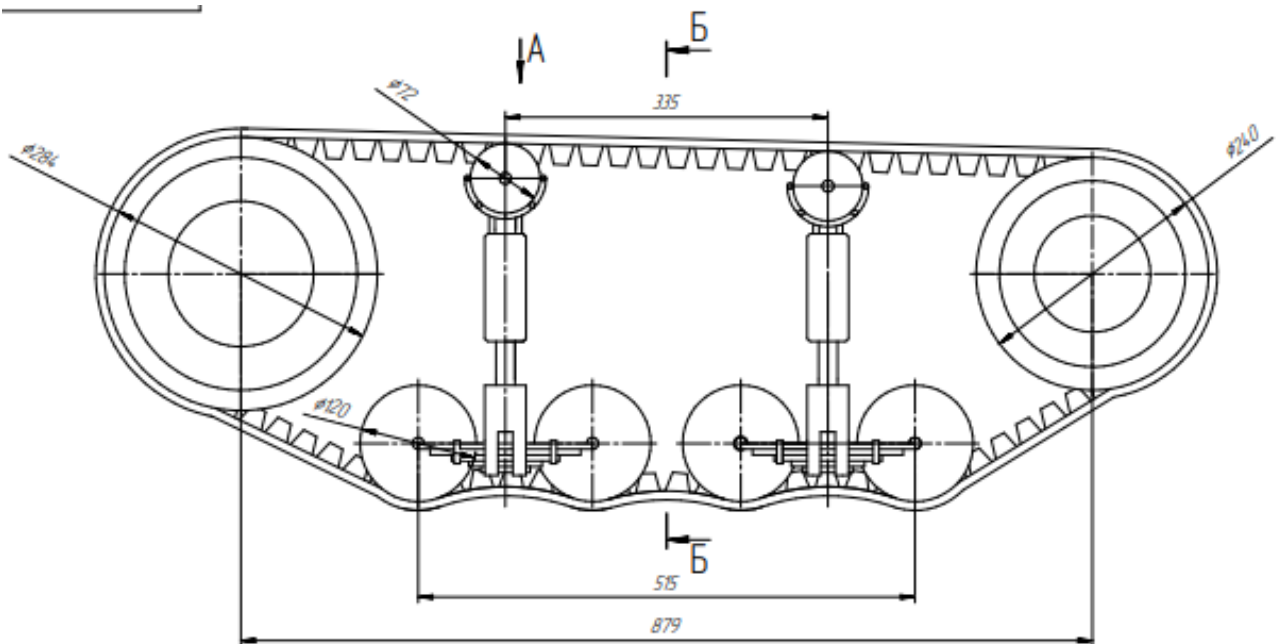
Динамічна підвіска є найбільш ефективною для рушія по складних рельєфах і при високій швидкості, оскільки забезпечує максимальну амортизацію, а також мінімізує знос гусениці.

### **Висновки до розділу**

Розглянуто конструкції з прямою підвіскою, важільною підвіскою та іншими адаптивними рішеннями для різних типів поверхонь. Підкреслюється важливість значення незалежної підвіски для підвищення маневровості та стійкості.

### 3. РОЗРАХУНОК

Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу (рис 3.1). Містити ведуче яке забезпечує рух наземного роботизованого комплексу. Опорні катки підтримують вагу та забезпечують плавність ходу.



**Рисунок 3.1** - Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу

#### 3.1 Корт в гусениці

Корт в гусениці це спеціальний шар або набір з шарів міцного матеріалу, який розташований всередині конструкції гусениці для підвищення її міцності та зносостійкості (рис 3.2). Основна функція корду – забезпечення стійкості гусениці до розтягнення, зменшення деформацій і запобігання розривам. Зазвичай, корт виготовляється з матеріалів:

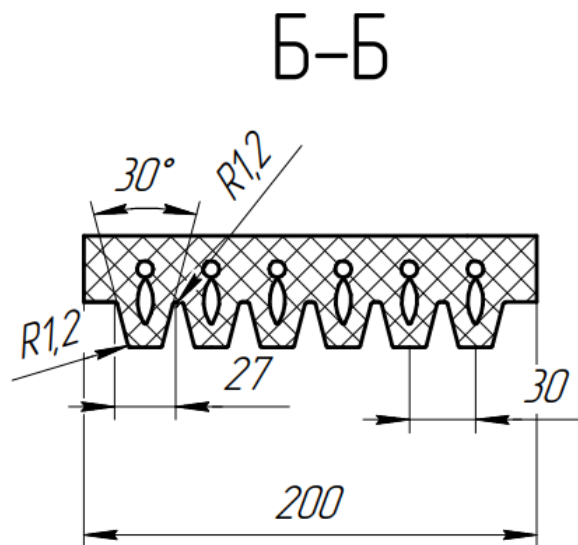
Металеві нитки, використовуються у важкій техніці, де потрібна особлива міцність і жорсткість. Металевий корт забезпечує дуже високу міцність але робить гусеницю менш гнучкою. [18]

Синтетичні волокна, такі як нейлон, кевлар, застосовуються для більш легких і гнучких гусениць. Синтетичні матеріали дозволяють гусениці залишатися досить гнучкою, зберігаючи при цьому високий рівень міцності.

Корд, допомагає гусениці витримувати великі навантаження і запобігає її розтягненню під час руху. Особливо важливо при великих навантаженнях і значному тиску.

Зменшення деформації, корд забезпечує стабільність розмірів гусениці, зменшуючи її деформацію зміні навантаження або температурних умов. Це дозволяє гусениці зберігати свою форму і функціональність у різних умовах експлуатації

Завдяки своїй конструкції корд захищає гусеницю від механічних пошкоджень, від впливу гострих каменів, або інші об'єктів які можуть спричинити розрив.



**Рисунок 3.2** - Розріз Б-Б, гусениці

### 3.2 Розрахунок гусениці

Полі клинові пази є трьох типів К, Л, М (табл 3.3) наведені розміри і число клинів для кожного типу паса. Рекомендують застосовувати паси з парним числом клинів. Пас з перерізом К використовують для заміни клинових пасів Z, А для передачі моменту  $T \leq 40$  Нм ; пас з перерізом Л – на заміну клинових пасів А, В, С для передачі моменту  $T 18...400$  Нм ; пас з перерізом М – на заміну клинових пасів С, D, Е І ЕО передачі моменту  $T > 130$

Нм. Якщо можна використовувати паси двох типів, то перевагу дають меншому.

**Таблиця 3.3** – Розміри полі клинових гусениць

Переріз	Розміри, мм					$\varphi$	Число клинів z		Діапазон пасів l, мм
	t	H	r <sub>1max</sub>	r <sub>2max</sub>	h		рекомендоване	граничне	
К	2.4	4	0.1	0.4	2.35	40°	2...36	36	400...2000
Л	2.8	9.5	0.2	0.7	4.85		4...20	50	1250...4000
М	9.5	16.7	0.4	1	10.35		2...20	50	2000...6000
Номінальні значення l: 400; 450; 500; 560; 630; 750; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500; 2800; 3150; 3550; 3750; 4000;									

Розміри коліс для полі клинових пасів наведені в табл 3.4 За розрахунковим діаметром d шківів приймають діаметр кола на рівні центра розміщення корд шнура. Зовнішній діаметр шківів дорівнює  $d_f = d - 2 \Delta$

**Таблиця 3.4** – Колесо для полі клинових пасів

Переріз	Параметри, мм							$\varphi$	Розрахунковий діаметр d, мм	
	t	e <sub>1</sub>	e	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	s	2 Δ		Найменший	Найбільший
К	2.4	3.30	2.35	0.3	0.2	3.5	2	40°	40	500
Л	4.8	6.60	4.85	0.5	0.4	5.5	4.8		80	800
М	9.5	13.05	10.35	0.8	0.6	10	7		180	1000
Номінальні значення d: 40; 45; 500; 560; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200; 224; 250; 280; 315; 355; 400; 500; 560; 630; 710; 800										

Полі клинові паси складаються із плоских і профільної частин. У плоскій частині розміщено декілька шарів прогумованої тканини і ряд корд шнура із синтетичних волокон. Профільна частина виготовлення із гуми. Обидві частини за вулканізовані в одне ціле.

Розрахунок клинопасової гусениці:

Розрахунок діаметрів коліс

Передавальне число передачі

$$u = \frac{n_1}{n_2}$$

$$u = \frac{1447}{640} = 2.2626 \quad (3.1)$$

Обертальний момент на ведучому колесі

$$T = \frac{P}{\omega_1}$$

$$T = \frac{22000}{151.45} = 145.26 \text{ Нм.} \quad (3.2)$$

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30}$$

$$\omega_1 = \frac{3.14 * 1447}{151.45} = 151.45 \text{ с}^{-1} \quad (3.3)$$

Діаметри колеса

$$d_1 = (40 \dots 45) \sqrt[3]{T}$$

$$d_1 = (40 \dots 45) \sqrt[3]{145,26} = 210,26 \dots 236.55 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Вибираємо згідно з ДСТУ 10064-1:2006 (табл 3.4), із отриманого інтервалу значення  $d_1 = 224 \text{ мм}$ .

Діаметр веденого колеса

$$d_2 = d_1 u$$

$$d_2 = 224 * 2.26 = 506.24 \text{ мм.} \quad (3.5)$$

Вибираємо згідно з ДСТУ 10064-1:2006 (табл 3.4), із отриманого інтервалу значення  $d_2 = 500 \text{ мм}$ .

$$z_0 = \frac{z_1 * a_1}{360^\circ}$$

$$z_0 = \frac{24 * 148.1}{360} = 9.87 \approx 10 \quad z_0^{adm} = 6 \quad (3.6)$$

Після визначення ширини паса перевіряється тиск на зубці

$$p_z = \frac{F_1 * \Psi}{z_0 b h}$$

$$p_z = \frac{479 * 1.7}{10 * 40 * 8.5} = 0.24 \text{ МПа} \leq p_0^{adm} = 1 \text{ МПа} \quad (3.7)$$

де  $h = 8.5$  мм – висота зубця шківів

Навантаження передачі

$$R = 1.2 * F_t$$

$$R = 1.2 * 479 = 574.8 \text{ Н} \quad (3.8)$$

Вибір поперечного перерізу поліклінового паса.

При помірних коливаннях навантаження і роботі в одну зміну коефіцієнт режиму роботи  $C_p = 0.8$ . Розрахунковий момент на ведучому колесі.

$$T_{1p} = \frac{P}{w_1 C_p} = \frac{30P}{\pi n_1 C_p}$$

$$T_{1p} = \frac{30 * 22 * 10^3}{3.14 * 1447 * 0.8} = 182 \text{ Нм.} \quad (3.9)$$

Уточнене передавальне число

$$u = \frac{d_2}{d_1}$$

$$u = \frac{500}{224} = 2.23 \quad (3.10)$$

Розрахунок геометричних параметрів передачі:

Міжосьова відстань при  $u = 2.23$

$$\alpha \approx 2.25d_1$$

$$\alpha \approx 2.25 * 224 \approx 504 \text{ мм} \quad (3.11)$$

Довжина паса

$$l = 2\alpha + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 + d_1)^2}{4\alpha}$$

$$l = 2 * 504 + \frac{3.14}{2}(224 + 500) + \frac{(500 + 224)^2}{4 * 504} = 2404.68 \text{ мм} \quad (3.12)$$

Приймаємо за табл 3.3  $l = 2500$  мм.

Уточнюємо міжосьову відстань

$$L = \frac{1}{8} \left[ 2l - \pi(d_1 + d_2) + \sqrt{(2l - \pi(d_1 + d_2))^2 - 8(d_2 + d_1)^2} \right]$$

$$L = \frac{1}{8} \left[ 2 * 2500 - 3.14(224 + 500) + \sqrt{(2 * 2500 - 3.14(224 + 500))^2 - 8(500 + 224)^2} \right] = 544 \text{ мм} \quad (3.13)$$

Кут обхвату на меншому колесі

$$a = \pi - \frac{d_2 + d_1}{L}$$

$$a_2 = 3.14 - \frac{724}{544} = 4.179 \text{ рад}; \alpha_1 = 239.43^\circ \quad (3.14)$$

Розрахунок паса:

Швидкість паса

$$v = 0.5 \omega_1 d_1 = \frac{\pi n_1 d_1}{60}$$

$$v = \frac{3.14 * 1447 * 0.224}{60} = 16.96 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (3.15)$$

Колова сила на ведучому колесі

$$F_t = \frac{2T_{1p}}{d_1}$$

$$F_t = \frac{2 * 182 * 10^3}{224} = 1621 \text{ Н} \quad (3.16)$$

### 3.3 Протектор гусениці

Форма протектора для гусениці є ключовий елемент, який забезпечує надійне зчеплення з поверхнею, оптимальне зниження, зносостійкість і прохідність гусеничного транспортного засобу. Вибір форми протектора залежить від умов експлуатації, типу поверхні та основного призначення гусеничної машини. [19]

Шевронний протектор має ланцюго подібний малюнок у формі «V» (рис 3.3). Складається з послідовних V-подібних лугів, що розташовані під кутом один до одного, утворюючи центральний канал, що йде вздовж гусениці.

Поліпшення зчеплення з поверхнею, завдяки кутовому розташуванню накладок, шевронний протектор забезпечує надійне зчеплення на м'якому, слизькому або нерівному ґрунті, такому як сніг, болото, пісок чи вологий ґрунт. V-подібні накладки створюють додаткові точки контакту з поверхнею що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження і запобігає ковзанню.

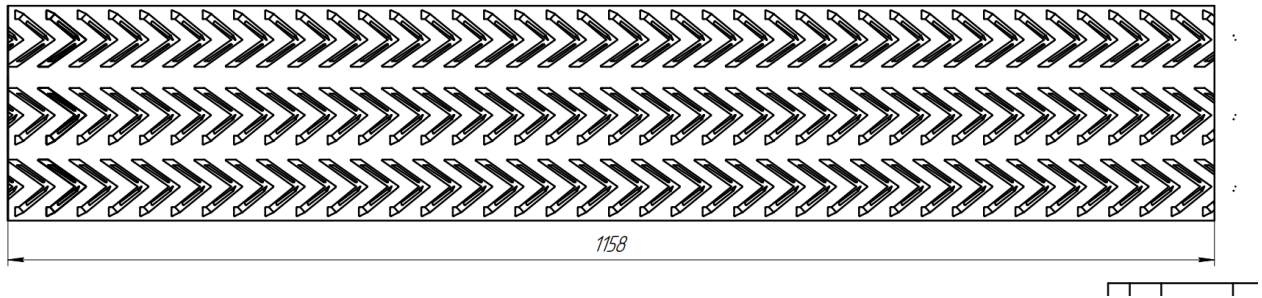
Самоочищення, V-подібна форма сприяє виштовхуванню бруду, снігу та інших сторонніх предметів з центру протектора під час руху. Це зменшує ризик забивання протектора, забезпечуючи постійне і ефективне зчеплення. Така здатність до самоочищення є важливою в умовах бездоріжжя або при роботах на болотистій місцевості.

Підвищення прохідності, завдяки спеціальній формі шевронний протектор полегшує пересування наземного роботизованого комплексу на місцевості зі складним рельєфом і дозволяє долати перешкоди, Зчеплення з поверхнею зменшує пробуксовування і втрату тягового зусилля, що робить техніку більш стабільною і прохідною на складних маршрутах

Застосування, шевронних V-подібних протекторів широко використовується в сільськогосподарській техніці, військовій, наземних роботизованих комплексів, будівельні машини.

Які є недоліки на твердих поверхнях, такі як асфальт або бетон, протектор може бути менш ефективним оскільки не забезпечує такого ж рівня зчеплення, як на м'яких поверхнях. При швидкому русі на твердій поверхні може підвищитися рівень шуму та знос накладок.

Отже, шевронний протектор є оптимальним вибором для наземного роботизованого комплексу, що працює в умовах бездоріжжя або на м'яких поверхнях.



**Рисунок 3.3** - Вигляд зверху А, протектор гусениці.

### 3.4 Розрахунок гусениці

Розрахунок сили тертя між гусеницею і колесами.

Визначимо силу тертя:

$$F_{\text{тер}} = \mu * N$$

$$F_{\text{тер}} = 0.7 * 490.5 = 343.35H \quad (3.17)$$

де  $\mu = 0.7$  для гуми на металі

Сила тяжіння:

$$N = m * g$$

$$N = 50 * 9.81 = 490.5 H \quad (3.18)$$

Визначимо силу опору поверхні.

Опір для піску:

$$R_1 = \delta_1 * N$$

$$R_1 = 0.3 * 490.5 = 147.15H \quad (3.19)$$

Опір для болотистого ґрунту:

$$R_2 = \delta_2 * N$$

$$R_2 = 0.5 * 490.5 = 245.25 \quad (3.20)$$

де коефіцієнти опору:

пісок  $\delta_1 = 0.3$

болотистого ґрунту  $\delta_2 = 0.5$

Визначимо розрахунок тягової сили, для піску, та для болотистого ґрунту:

Для піску:

$$F_{\text{тяга,пісок}} = F_{\text{тер}} - R_1$$

$$F_{\text{тяга,пісок}} = 343.35 - 147.15 = 196.2\text{Н} \quad (3.21)$$

Для болотистого ґрунту:

$$F_{\text{тяга,болото}} = F_{\text{тер}} - R_2$$

$$F_{\text{тяга,болото}} = 343.35 - 245.25 = 98.1\text{Н} \quad (3.22)$$

Розрахунок максимальної швидкості наземного роботизованого комплексу:

Швидкість руку дійсна:

$$v_{\text{дійсн}} = \pi * D * \frac{n_2}{60}$$

$$v_{\text{дійсн}} = 7.62 \frac{\text{М}}{\text{с}} = 27.07 \frac{\text{КМ}}{\text{ГОД}} \quad (3.23)$$

Перевіримо зчеплення, для забезпечення руху сила тяги повинна бути меншою за силу тертя:

$$F_{\text{тяга}} < F_{\text{тер}}$$

Результати:

Для піску:

$$F_{\text{тяга,пісок}} = 196.2\text{Н}, F_{\text{тер}} = 343.35\text{Н} - \text{рух можливий}$$

Для болота:

$$F_{\text{тяга,болото}} = 98.1\text{Н}, F_{\text{тер}} = 343.35\text{Н} - \text{рух можливий, але з меншим запасом.}$$

Визначимо теоретичну швидкість руху:

$$v_{\text{теор}} = n_2 * d_2$$

$$v_{\text{теор}} = 640 * 0.5 = 320 \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad (3.24)$$

Коефіцієнт буксування визначається за формулою:

$$\delta = \frac{v_{\text{теор}} - v_{\text{дійсн}}}{v_{\text{теор}}} \quad (3.24)$$

де

$v_{\text{теор}}$  – теоретична швидкість руху

$v_{\text{дійсн}}$  – дійсна швидкість руху

Тепер, знаючи ці значення, можна визначити реальну швидкість руху для кожної поверхні за формулою:

$$v_{\text{дійсн}} = v_{\text{теор}} * (1 - \delta)$$

Для піску:

$$v_{\text{дійсн}} = 33.51 * (1 - 0.3) = 23.45 \text{ м/с} \quad (3.25)$$

Для болотистого ґрунту:

$$v_{\text{дійсн}} = 33.51 * (1 - 0.5) = 33.51 * 0.5 = 16.76 \text{ м/с} \quad (3.26)$$

Отже, для різних типів поверхні:

- Дійсна швидкість для піску: 23.45 м/с
- Дійсна швидкість для болота: 16.76 м/с

Визначення кута охоплення колеса гусениці:

Кут охоплення в  $a$ , визначає частинку кола колеса. Яке контактує з гусеницею.

$$a = \pi - 2 * \arcsin\left(\frac{L}{2d}\right)$$

$$a_1 = 3.14 - 2 * \arcsin\left(\frac{0.544}{2 * 0.500}\right) = 1.9896 \text{ рад.} \quad (3.27)$$

$a_1$  – кут охоплення, радіанах

$L$  – відстань між осями ведучого та напрямних коліс, м

$d$  – діаметр ведучого колеса, м

Переведемо в градуси:

$$a_{\text{град}} \approx a * \frac{180}{\pi}$$

$$a_{\text{град}} \approx 114.1^\circ \quad (3.28)$$

Чим більший кут, тим більша площа контакту, що дозволяє передавати більше зусилля через тертя.

Вплив внутрішнього тертя в гусеницях на опір руху залежить від складності конструкції гусениць, а також від таких елементів, як ведучі та проміжні зірочки, ролики та підшипники. Для точного визначення цього тертя потрібне складне механічне моделювання або експериментальні випробування на конкретних прототипах. Наприклад, можна проводити випробування на рівному і компактному ґрунті для мінімізації тертя. Для попередніх оцінок можна використовувати емпіричні формули, такі як запропонована Беккером.

Розрахуємо опір руху через внутрішнє тертя гусениці:

$$R_i = m * (0.222 + 0.0108 * v)$$

$$R_i = 50 * (0.222 + 0.0814) = 15.17\text{H} \quad (3.29)$$

де  $R_i$  – опір руху через внутрішнє тертя гусениці

$m$  – маса наземного роботизованого комплексу

$v$  – швидкість

0.222 – постійна величина, яка враховує базовий опір руху

0.0108 – коефіцієнт, що враховує вплив швидкості на опір руху

### 3.5 Опорний каток

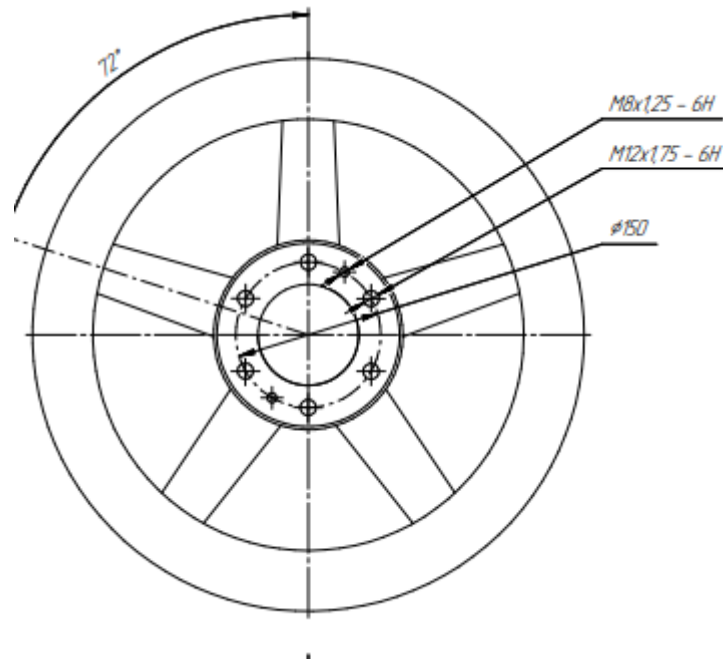
Опорний каток гусеничного рушія (рис 3.4)

Центральна частина катка, містить кріплення до супорта для передачі сили, і для кріплення до наземного роботизованого комплексу. Кількість спиць 5 є стандартним для більшості колісних опор. Кожна спиця з'єднується з центральною частиною і ободом, що дозволяє розподіляти навантаження на всі спиці рівномірно

Кут нахилу між спицями, може бути оптимізований для зменшення вібрацій і поліпшення стійкості колеса під час руху. Кут нахилу спиць може також впливати на розподіл навантаження і зменшення деформацій колеса під час роботи.

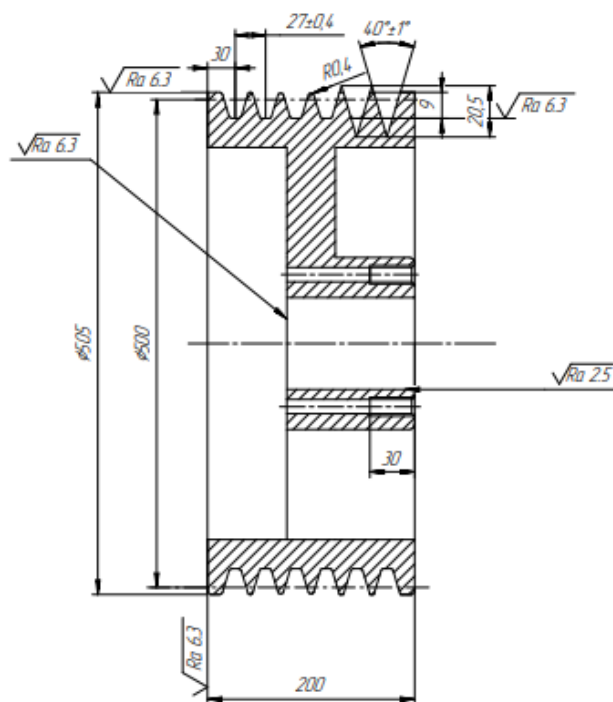
Оптимальна кількість 5 спиць повинна забезпечувати рівномірний розподіл навантаження по всьому колесі. Це забезпечує баланс між міцністю

та вагою. В колісних конструкціях, де важлива легкість і маневровність використовується з меншою кількістю спиць.



**Рисунок 3.4** – Загальний вид опорного катка гусеничного рушія

Ведуче колесо є важливою частиною гусеничного рушія, яке забезпечує передачу крутного моменту з трансмісії наземного роботизованого комплексу на гусеницю (рис 3.5)



**Рисунок 3.5** – Опорний каток в розрізі

Ведуче колесо, безпосередньо передає обертальний момент від двигуна до гусениці, і забезпечує рух. Зубці забезпечують механічну передачу крутного моменту на гусеницю через пази. Зубці на колесі розташовані під певним кутом на  $40^\circ$ , що дозволяє забезпечити надійне захоплення і зменшує ризик пропуску зубців під час роботи.

### **Висновок до розділу**

Виконано проектні розрахунки, що підтверджують ефективність використаних рішень, зокрема для зменшення тиску на ґрунт та забезпечення стабільності системи. Розрахунки підтвердили відповідність конструкції вимогам експлуатації, особливо у складних рельєфних умовах.

## **4. СТАРТАП – ПРОЕКТ**

### **4.1 Актуальність**

Сучасний світ стикається зі зростаючими викликами, пов'язаними з виконанням складних завдань у небезпечних, важкодоступних і екстремальних умовах. Розробка гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу є особливо актуальною в контексті потреб військової, рятувальної. Цей проєкт відповідає сучасним тенденціям автоматизації, що стрімко розвиваються в усьому світі. Гусеничні платформи забезпечують унікальний баланс між прохідністю, адаптивністю до складного рельєфу та універсальністю використання. Їхня здатність працювати на м'яких, сипучих або нерівних поверхнях робить їх незамінними в умовах, де інші типи рушіїв, як от колісні чи крокуючі, неефективні. Це відкриває широкі перспективи для використання таких систем у зонах природних катастроф, військових цілях або під час виконання завдань у складних міських ландшафтах, таких як завали чи руїни. Наприклад, у рятувальних операціях такі роботизовані комплекси здатні евакуювати постраждалих із небезпечних зон, забезпечуючи безпеку людині та зменшуючи ризик для людського життя.

У військовій галузі гусеничні платформи стають ключовими елементами для виконання завдань у бойових умовах. Вони можуть використовуватись для доставлення припасів у зони з підвищеним ризиком, розмінування територій, виконання розвідувальних місій або евакуації поранених. Дистанційне управління та можливість автономної роботи дозволяють знизити ризик для військових та значно підвищити ефективність операцій. Особливе значення має інтеграція датчиків, систем навігації та маніпуляторів для точного виконання завдань, таких як знешкодження мін або транспортування критично важливих вантажів.

Швидкий розвиток робототехніки та попит на автоматизовані рішення створюють великий потенціал для комерціалізації гусеничних платформ. Ця розробка здатна залучити значні інвестиції завдяки універсальності, інноваційності та широкому спектру можливих застосувань. Зважаючи на це,

проект не лише вирішує актуальні завдання сьогодення, а й прокладає шлях до створення нових рішень, здатних змінити підхід до виконання завдань у складних умовах.

Таким чином, розробка гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу є актуальною, перспективною та стратегічно важливою, оскільки вона враховує потреби сучасного світу та сприяє підвищенню ефективності та безпеки в різних галузях.

#### 4.2 Мета і завдання стартап проекту

1. Аналіз наявних рішень і потреб на ринку. Проведення патентно-інформаційного дослідження. Визначення ключових вимог до гусеничних рушіїв для різних застосувань.
2. Розробка концепції та проектування. Створення концепції гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу до вимог його прохідності, надійності та універсальності.
3. Випробування та тестування прототипів гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу на різних поверхнях
4. Розробляємо маркетинговий хід для просування продуктів на ринок.
5. Впровадження в серійне виробництво, наладження виробничого процесу з урахуванням всіх умов до якості. Знаходження партнерів і постачальників комплектуючими.

#### 4.3 Опис ідеї проекту

**Таблиця 4.5 – Опис ідеї стартап-проекту**

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка інноваційного гусеничного рушія для наземного роботизованого комплексу	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Евакуація поранених</li> <li>• Розмінування територій</li> <li>• Постачання припасів</li> <li>• Робота в зоні бойових дій</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Забезпечення прохідності у складних рельєфах, включаючи болота, руїни та сипучі ґрунти.</li> <li>• Зниження ризику для людського життя</li> </ul>

**Таблиця 4.6 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту**

Техніко-економічні характеристики ідей	Мій проєкт	Boston Dynamics: Spot	Clearpath Robotics: Husky	W (Слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
Прохідність у складних умовах	Гусенична платформа забезпечує ефективну роботу на м'яких і сипучих поверхнях (пісок, болота).	Крокуючий робот має високу прохідність на нерівних поверхнях, але складно працює на сипучих ґрунтах.	Колісна платформа показує низьку ефективність на м'яких або нестабільних ґрунтах	Недостатньо маневрений у вузьких просторах	Еквівалентний конкурентам у базових умовах	Найкраща стабільна і прохідність у важкодоступних місцях
Стійкість і баланс під час роботи	Висока завдяки гусеничній основі, яка забезпечує постійний контакт із поверхнею	Обмежена, оскільки крокуючі платформи можуть втрачати рівновагу	Висока на рівних поверхнях, але може втратити зчеплення	Вага впливає на адаптацію до швидких змін	Порівняно стійкий на стандартних поверхнях	Максимальна стійкість
Енергоефективність	Висока завдяки оптимізації ваги та використанню ефективних джерел енергії	Середня через складну кінематику крокуючих систем	Низька через високе енергоспоживання на м'яких поверхнях	Потребує високих витрат енергії на нерівних поверхнях	Порівняно ефективний на рівних ділянках	Економія енергії в режимах середньої інтенсивності
Вартість виготовлення	Помірна завдяки постійній і надійній конструкції	Висока через складність компонентів і кінематики	Низька через простоту конструкції але потребує частого ремонту на складних рельєфах	Вища ніж у колісних платформ	Відповідає стандартам промислових рішень	Конкурентна завдяки зниженню витрат на обслуговування

На основі проведеного аналізу гусеничний рушій демонструє значний потенціал для використання у складних умовах завдяки високій прохідності, стійкості та адаптивності до різних типів рельєфу. Ці характеристики дозволяють розширити сфери його застосування, включаючи військові операції, розмінування, евакуацію поранених та логістичні завдання в умовах катастроф. Універсальність технології сприяє її використанню в інших галузях, таких як агропромисловість або будівництво, що суттєво розширює потенційний ринок. Висока енергоефективність і надійність платформи роблять її конкурентоспроможною в умовах, де пріоритетом є прохідність і стійкість, а не швидкість.

Конкурентне середовище, представлене компаніями, що спеціалізуються на роботизованих системах, може становити виклик для впровадження нового продукту. Для успішного виходу на ринок необхідно враховувати сильні сторони конкурентів і розробляти унікальні переваги, такі як модульність і можливість роботи в автономному режимі.

В цілому, проєкт гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу має великий потенціал для реалізації завдяки своїй унікальній конструкції, здатності адаптуватись до екстремальних умов та можливості впровадження в різних галузях. Для досягнення успіху важливо ефективно управляти слабкими сторонами та максимально використовувати сильні, зокрема шляхом оптимізації технології та створення вигідних умов для серійного виробництва.

## Технологічний аудит ідеї проєкт.

**Таблиця 4.7** – Технологічна здатність ідеї проєкт.

Ідея проєкт	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення гусеничного рушія	Лиття з високоміцного композиту, армування вставками для жорсткості	Технології доступні, потребують адаптації до специфіки проєкт	Доступні шляхом залучення партнерів або виробників

Технологічна реалізація проєкт є можливою. Обрані технології широко використовуються в промисловості та є доступними через співпрацю з партнерами. Для успішного виконання проєкт необхідно забезпечити налаштування готових модулів і адаптацію стандартних технологій до унікальних вимог.

### Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

**Таблиця 4.8** – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	5-7 основних виробників і дистриб'юторів робототехніки
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум. од.	Близько 3-5 млрд гривень на 2023 рік, із зростанням попиту на військові та логістичні рішення.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, особливо через підвищений попит на військові технології
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер)	Високі вимоги до сертифікації, обмеження доступу до іноземних компонентів

### Висновок:

Український ринок мобільної робототехніки активно розвивається завдяки зростаючому попиту на військові та логістичні рішення. Обмежена кількість локальних гравців створює потенціал для нових проектів, проте наявність високих бар'єрів входу, зокрема вимог до сертифікації та залежності від імпортованих компонентів, вимагає детальної стратегії виходу.

Із залученням інвестицій і локалізацією виробництва можна досягти конкурентоспроможної позиції, особливо у військовому секторі, де попит на ефективні й адаптивні рішення залишається високим.

**Таблиця 4.9** – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Висока прохідність у складних умовах	Військові підрозділи (логістика, розвідка). Рятувальні служби.	Військові орієнтовані на автономність і захищеність платформи. Рятувальні служби потребують простоти керування і високої маневровості.	Надійність і витривалість. Висока навантажувальність.
2	Виконання завдань у зоні бойових дій	Військові саперні бригади.	Потребують точності і надійності виконання робіт. Оцінюють можливості дистанційного керування	Захищеність компонентів від механічних пошкоджень. Автономність.

**Таблиця 4.10 – Фактори загрози**

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока конкуренція	Присутність на ринку глобальних гравців із відомими брендами та готовими рішеннями.	Розробка унікальних функцій продукту, адаптація до потреб локальних клієнтів, акцент на вартісній перевазі.
2	Висока собівартість виробництва	Високі витрати на створення прототипів, технології та сертифікацію.	Оптимізація конструкції, пошук локальних постачальників, залучення інвесторів.
3	Обмежений доступ до технологій	Потреба в імпорті складних компонентів та залежність від іноземних постачальників.	Локалізація виробництва, розвиток партнерських відносин із постачальниками технологій.
4	Нестабільність економічного середовища	Коливання валютних курсів та політична нестабільність можуть вплинути на витрати та попит.	Диверсифікація постачальників, створення резервного фонду для фінансової стабільності.
5	Сертифікаційні вимоги	Необхідність відповідати жорстким стандартам для військових та рятувальних застосувань.	Співпраця з сертифікаційними органами, врахування вимог у процесі проєктування.

**Таблиця 4.11 – Фактори можливостей**

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту	Підвищений попит на робототехніку у військовій, аграрній та логістичній сферах.	Активне просування продукту в ці сектори, участь у виставках і тендерах.
2	Підтримка інноваційних проєкт	Державні гранти та програми для стимулювання локального виробництва високотехнологічної техніки.	Подання заявок на державну підтримку, співпраця з фондами інноваційного розвитку.

3	Розвиток технологій	Постійне вдосконалення матеріалів і сенсорів для підвищення ефективності роботів.	Інтеграція сучасних компонентів, постійне оновлення конструкцій.
4	Вузкий ринок конкурентів	В Україні обмежена кількість локальних виробників робототехніки.	Зосередження на локальному ринку, пропозиція адаптованих рішень із мінімальними витратами на логістику.
5	Глобалізація	Можливість виходу на міжнародні ринки завдяки унікальним розробкам.	Розробка стратегій експорту, участь у міжнародних виставках і співпраця з міжнародними партнерами.

Фактори загроз потребують обґрунтованих стратегій мінімізації ризиків, таких як оптимізація витрат, локалізація компонентів і врахування стандартів. Водночас використання можливостей, таких як зростаючий попит, державна підтримка та розвиток технологій, дозволить компанії ефективно впровадити свій продукт на ринок і створити конкурентні переваги.

**Таблиця 4.12** – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції	Монополістична конкуренція на ринку є обмежена кількістю локальних виробників роботизованих платформ.	Розробка гусеничного рушія, адаптованого до умов українського ринку, наприклад, для військових цілей.
2	Рівень конкурентної боротьби	Локальний і національний рівень конкуренції серед декількох локальних гравців і імпортерів технологій.	Створення конкурентоспроможної ціни завдяки локалізації виробництва та адаптації продукту до потреб українських клієнтів.

Кінець таблиці 4.12

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
3	Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція з колісними платформами та крокуючими роботами, які частково представлені в Україні через імпортерів.	Демонстрація переваг гусеничного рушія (прохідність, надійність) через польові випробування та співпрацю з військовими
4	Характер конкурентних переваг	Нецінова конкуренція якості, функціональність і адаптивність є важливішими, ніж ціна в сегменті військових і рятувальних систем.	Впровадження інноваційних рішень, інтеграція сучасних сенсорів і систем навігації для залучення уваги цільових клієнтів.
5	Інтенсивність	Конкуренція відсутність сильних локальних брендів у робототехніці в Україні.	Формування бренду через локальні демонстрації, участь у державних тендерах і залучення підтримки державних інноваційних програм.

Основними можливостями є локалізація виробництва, спрямованість на військовий сектор та розвиток унікальних функціональних рішень, які задовольняють специфічні потреби українських клієнтів. Формування довіри через сертифікацію, тестування та державну підтримку дозволить ефективно закріпитися на ринку.

**Таблиця 4.13** – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони (S)	Сильні сторони (W)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока прохідність гусеничного рушія на складних рельєфах</li> <li>2. Універсальність і адаптивність конструкції до різних завдань</li> <li>3. Потенційне використання у військових галузях</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Залежність від імпортних компонентів</li> <li>2. Відсутність сильного бренду на українському ринку.</li> </ol>
Можливості (O)	Загрози (T)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростаючий попит в Україні, особливо у військовій та рятувальних сферах</li> <li>2. Державна підтримка інноваційних проєкт через гранти та програми розвитку.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Залежність від економічної ситуації в Україні</li> <li>2. Обмежений доступ до фінансових ресурсів для подальшого масштабування виробництва</li> </ol>

SWOT-аналіз демонструє, що гусеничний рушій має значні перспективи завдяки високій прохідності, універсальності та здатності працювати в складних умовах. Проєкт може успішно реалізуватися на ринках військових, рятувальних технологій. Для максимізації успіху необхідно мінімізувати залежність від імпортних компонентів, адаптувати продукт до локальних потреб і скористатися підтримкою держави та інноваційних програм. Загрози конкуренції та високих бар'єрів входу можуть бути подолані через унікальні технічні рішення та локалізацію виробництва.

**Таблиця 4.14** – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка пілотного проєкту для демонстрації у військових і рятувальних службах	Середня	9-18 місяців
2	Участь у виставках і тендерах для просування продукту та формування бренду	Висока	6-9 місяців

Кінець таблиці 4.14

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
3	Пошук інвесторів і партнерів для масштабування виробництва	Середня	12-24 місяці

Таблиця 4.15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Військові підрозділи	Висока	Висока	Середня	Середня
2	Рятувальні служби	Висока	Середня	Низька	Висока

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкт	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Локалізація виробництва та орієнтація на військовий сегмент	Диференційований маркетинг	Висока прохідність у складних умовах	Спрямування ресурсів на забезпечення потреб військових
2	Розширення ринку через адаптацію продукту для рятувальних служб	Диференційований маркетинг	Простота керування Висока маневреність	Забезпечення високого рівня надійності та технологічності для рятувальних служб.

**Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування**

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока прохідність у складних умовах, надійність конструкції, інтеграція сенсорів і систем автономного управління	Стратегія фокусування	Прохідність у болотах, сипучих ґрунтах Здатність працювати в екстремальних умовах Модульність	Надійність, інноваційність, готовність до бойових завдань
2	Висока вантажопідйомність, можливість транспортування поранених і перевезення припасів у зоні бойових дій	Стратегія фокусування	Вантажопідйомність Інтеграція з іншими системами	Функціональність, ефективність у логістиці, гнучкість

**Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару**

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Висока прохідність на складних рельєфах (болота, руїни, сипучі ґрунти)	Забезпечення безпечного і ефективного пересування у важкодоступних місцях.	Вища прохідність порівняно з колісними платформами
2	Легкість в обслуговуванні та надійність	Зниження витрат на обслуговування та підвищення ефективності експлуатації.	Простіше обслуговування порівняно з конкурентами
3	Перевезення вантажів і поранених	Забезпечення надійного транспортування через складні місцевості.	Вантажопідйомність

### **Висновок до розділу**

Можливість ринкової комерціалізації. Проєкт гусеничного рушія має високий потенціал на ринку завдяки зростаючому попиту, особливо в військовій і рятувальній сферах. Рентабельність роботи на ринку висока, завдяки високій потребі на військовому застосуванню.

Перспективи впровадження. Існують перспективи для успішного впровадження проєкт, зокрема в військовому та рятувальному секторах.

Альтернатива впровадження. Доцільно обрати стратегію диференційованого маркетингу для адаптації продукту до різних сегментів ринку, зокрема через розробку пілотного проєкт для військових і рятувальних служб.

Доцільність імплементації. Подальша імплементація проєкт є доцільною, оскільки він має значний потенціал і може стати лідером на ринку, якщо буде ефективно вирішено питання локалізації виробництва та сертифікації.

## **ВИСНОВКИ**

Дослідження спрямоване на розроблення гусеничного рушія, здатного забезпечити високу прохідність, надійність та адаптацію до різних дорожніх умов. Проведені дослідження, конструктивні рішення та розрахунки демонструють перспективність запропонованих рішень для наземних роботизованих комплексів, зокрема у військовій сфері. Інновації у використанні запропонованих схем та конструкцій можуть стати основою для подальшого розвитку подібних систем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bekker M.G. "Theory of Soil Mechanics and Traction". Нью-Йорк: University of Michigan Press, 1969. 390 с.
2. Design and Development of Modular UGV Platforms // IntechOpen. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/1136943> (дата звернення: 10.02.24).
3. Дмитренко О.О., Савчук П.В. Теорія матеріалів для транспортних систем. Львів: ЛДУБА, 2013. – 276 с.
4. Гальчук О.В., Кульчицький В.М. Механіка матеріалів і конструкцій. Київ: Наукова думка, 2015. – 348 с.
5. Іваненко В.І., Чернявський П.О. Основи проектування мобільних роботизованих платформ. Київ: НТУУ "КПІ", 2020. – 162 с.
6. Ларін В.М., Трегуб В.С. Технічні системи і їх компоненти. Київ: Вища школа, 2008. – 332 с.
7. Мельник В.Ю., Яковенко Р.О. Основи проектування гусеничних платформ. Київ: НТУУ "КПІ", 2016. – 268 с.
8. MDPI, "Design and Implementation of a UGV System for Autonomous Navigation", 2021. URL: <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/8/648> (дата звернення: 11.01.24)
9. Патент України №6907. Гусеничний рушій транспортного засобу. МПК В62D55/08, опубліковано 31.01.1995, бюл. №1/1995.
10. Патент України №84562. Гусеничний рушій транспортного засобу, МПК В62D55/24, опубліковано 10.11.2008, бюл. №21/2008.
11. Розроблення стартап-проекту: метод. реком. до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / за заг. ред. О.А. Гавриша. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35763/1/startap\\_proekt\\_MV.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35763/1/startap_proekt_MV.pdf) (дата звернення: 10.10.24)
12. Шевченко О.О. Механіка гусеничних систем та їх компоненти. Запоріжжя: НТУ "Запорізька політехніка", 2012. – 312 с.

13. Ширін І.І. Теорія і практичні аспекти конструкцій гусеничних транспортерів. Львів: Видавництво ЛНУ, 2017.
14. Струтинський В.Б. Наземні роботизовані комплекси / Струтинський В.Б., Гуржій А.М. / Житомир: ПП «Рута», 2023. – 525 с.
15. Springer, "UGV Design and Control", Chapter 17. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10776-4\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-10776-4_17) (дата звернення: 12.08.24)
16. Тимошенко С.П., Гудьєр Дж.Н. "Теория упругости". Вид. офіц. Київ: Вища школа, 1979. 560 с.
17. Ходова частина гусеничних машин / Навчальний посібник [Кубіч В. І.] – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 247 с. URL: <https://eir.zp.edu.ua/items/856a1aaa-9d3c-4388-900a-21de5bd89edd> (дата звернення: 09.08.24)
18. Шини-Диски. Види малюнка протектора: різновиди малюнка протектора, особливості використання, плюси та мінуси різних типів протекторів. shiny-diski.com.ua. URL: <https://shiny-diski.com.ua/uk/info/stati/vidy-risunka-protektora-osobennosti-ispolzovaniya-plyusy-i-minusy.html?srsId=AfmBOoqvfbrrBgL9ONrYWYWtt17N4O7m7wkzhbafY6usureTF7OcoaEc> (дата звернення: 22.07.24)
19. Загальна динаміка гусеничного трактора. Головна | Elib LNTU. URL: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/Трактори%20та%20авто%20\(Сацюк%20В.В.\)/z/21+.htm#\\_Toc246691099](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/Трактори%20та%20авто%20(Сацюк%20В.В.)/z/21+.htm#_Toc246691099) (дата звернення: 10.09.24)

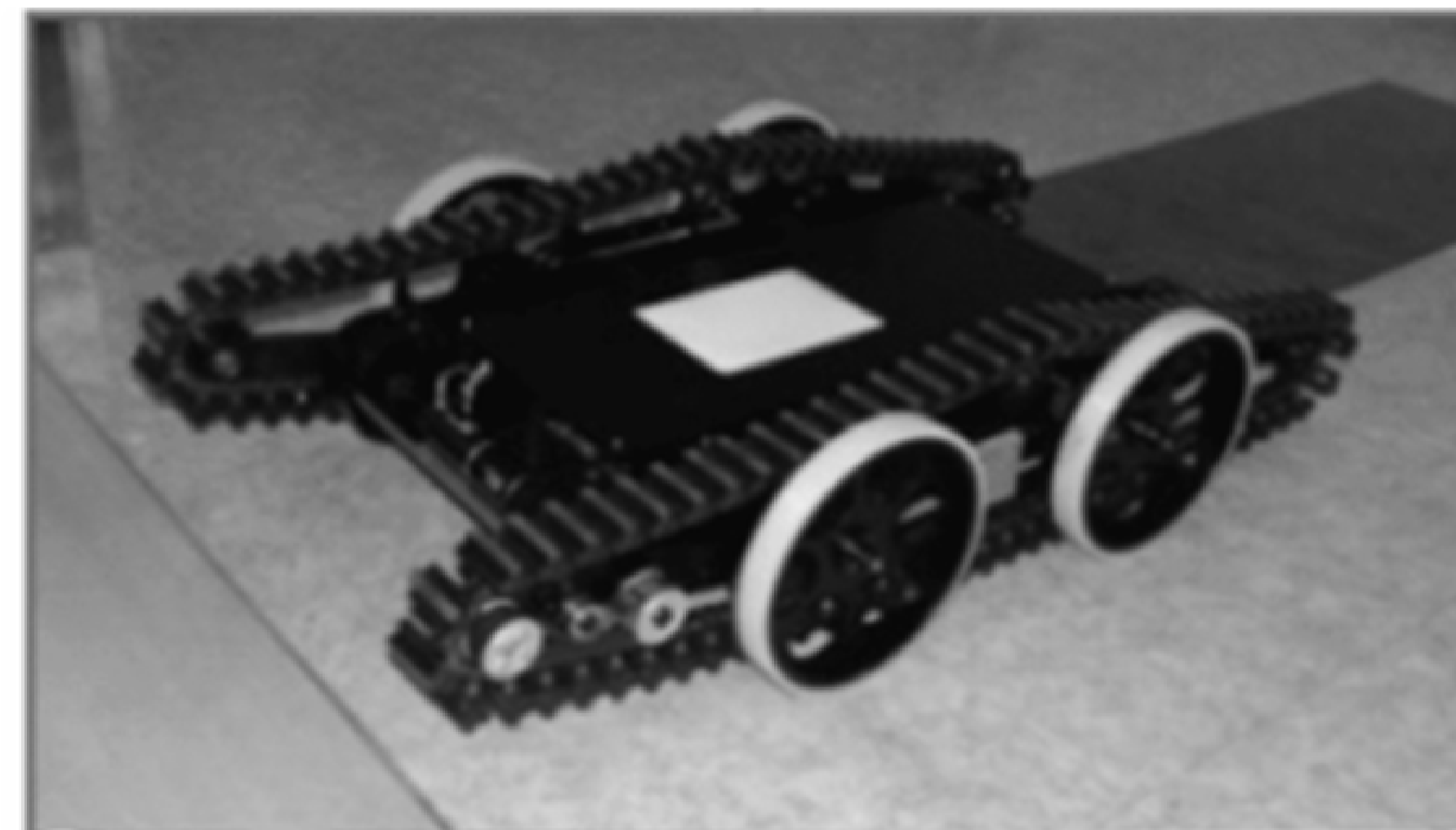
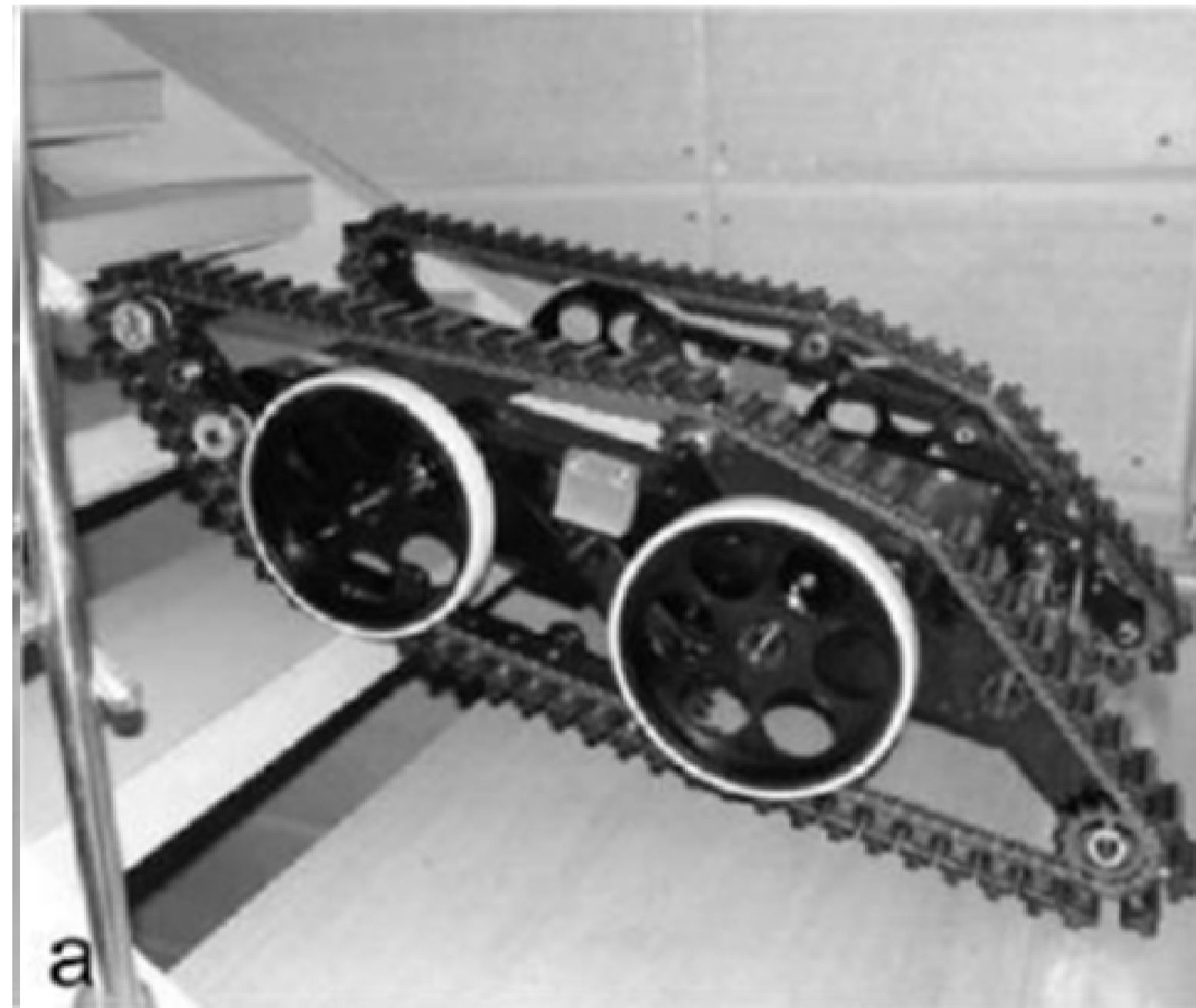
# Результати патентно-інформаційного дослідження

## Наземний роботизований комплекс з постійним профілем гусениці



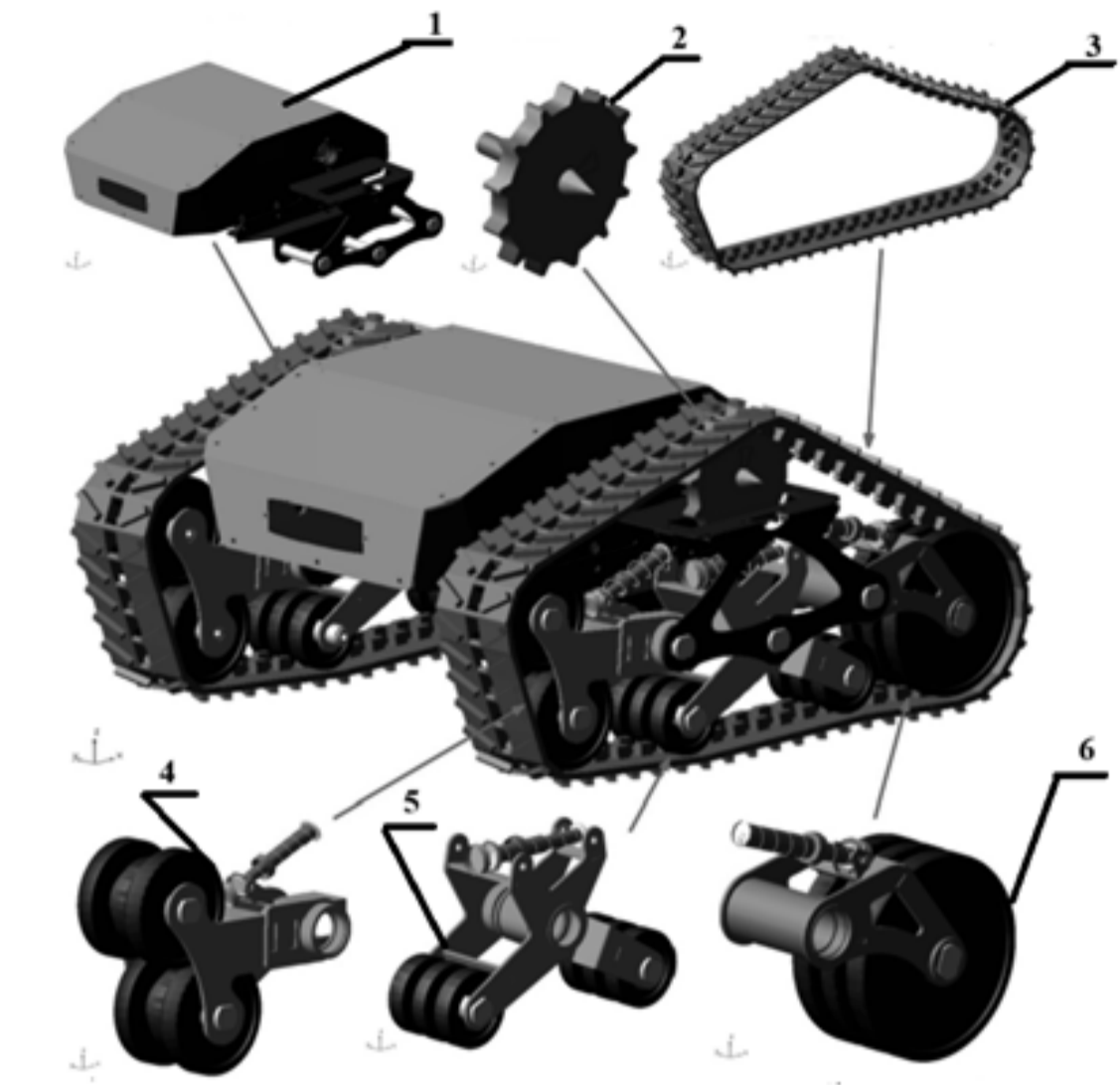
**Переваги:**  
Простота конструкції: Завдяки фіксованому профілю знижено складність механізмів.  
**Недоліки:**  
Обмежена адаптивність: Не може ефективно адаптуватися до складного рельєфу або перешкод.

## Наземний роботизований комплекс з активно деформованим нееластичним профілем гусениці



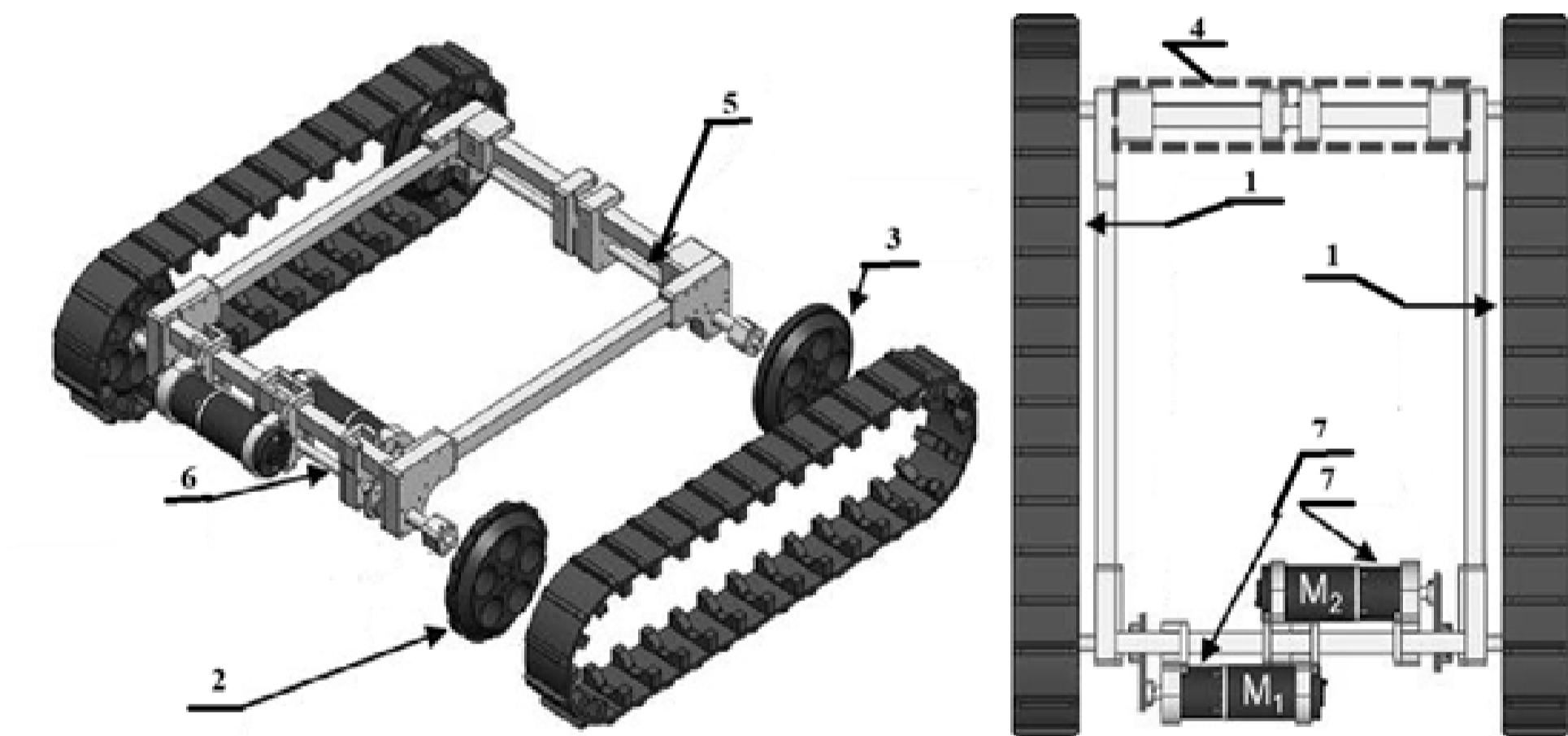
**Переваги:**  
1. Максимальна адаптивність: Активне змінення профілю дозволяє долати різні типи рельєфу і великі перешкоди (сходи, круті підйоми).  
2. Гнучкість: Зміна форми гусениць підвищує площу контакту з поверхнею для кращої прохідності.  
**Недоліки:**  
1. Вища складність конструкції: Потребує складних механізмів для зміни форми, що збільшує вартість.  
2. Збільшені вимоги до обслуговування: Частіше виникають потреби в ремонті через складність механізмів.  
3. Висока енергоємність: Активні системи споживають більше енергії, що знижує їх ефективність.

## Гусеничний рушій для наземного роботизованого комплексу з еластичною гусеницею



1 – корпус  
2 – зірочка  
3 – гусениця  
4 – передні колеса  
5 – середні колеса  
6 – задні колеса

## Універсальний гусеничний рушій для модульної платформи



1 – гусениця  
2 – приводні колеса  
3 – допоміжні колеса  
4 – механізм натягування гусениці

5 – рама шасі  
6 – приводні вали  
7 – редуктор

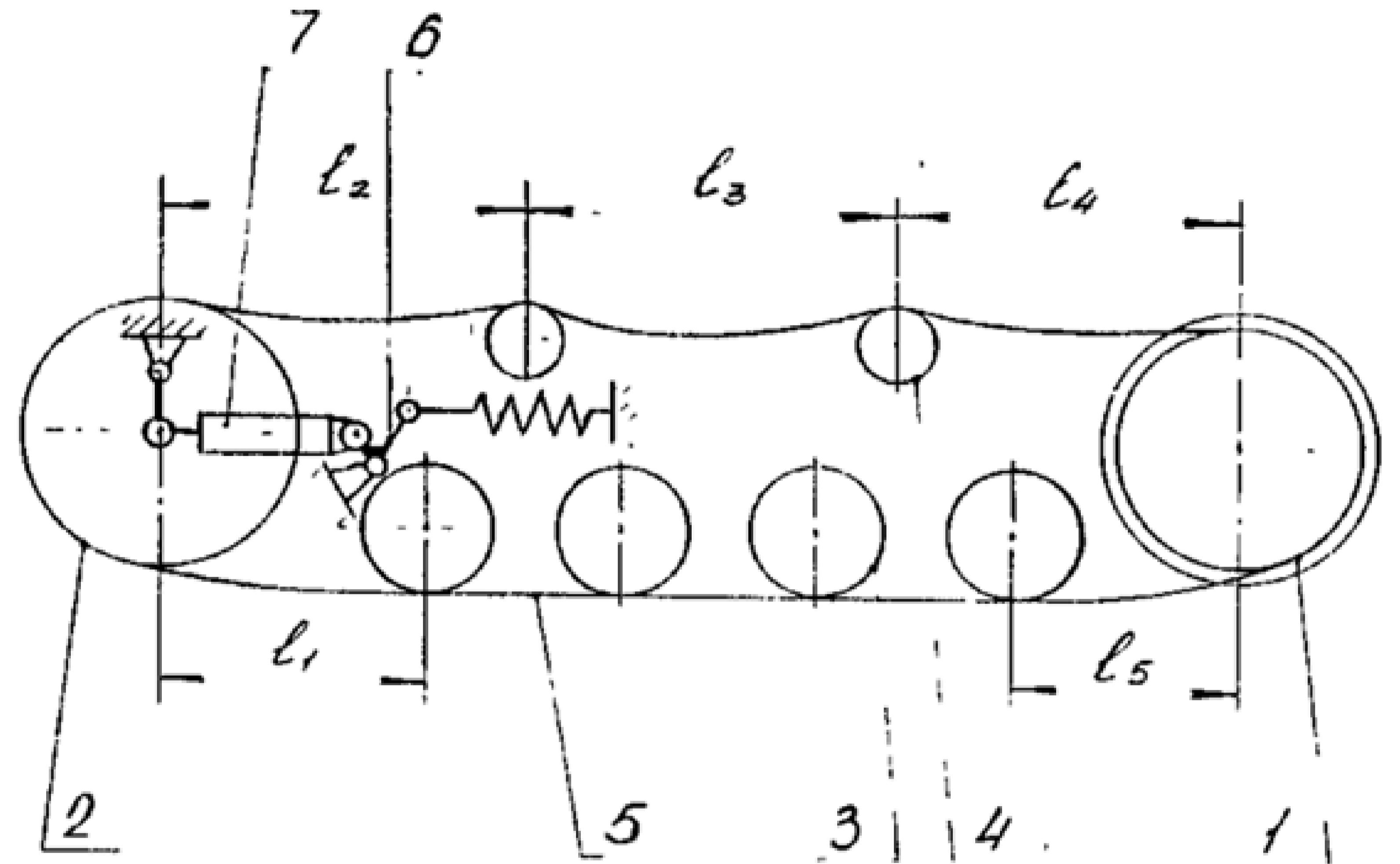
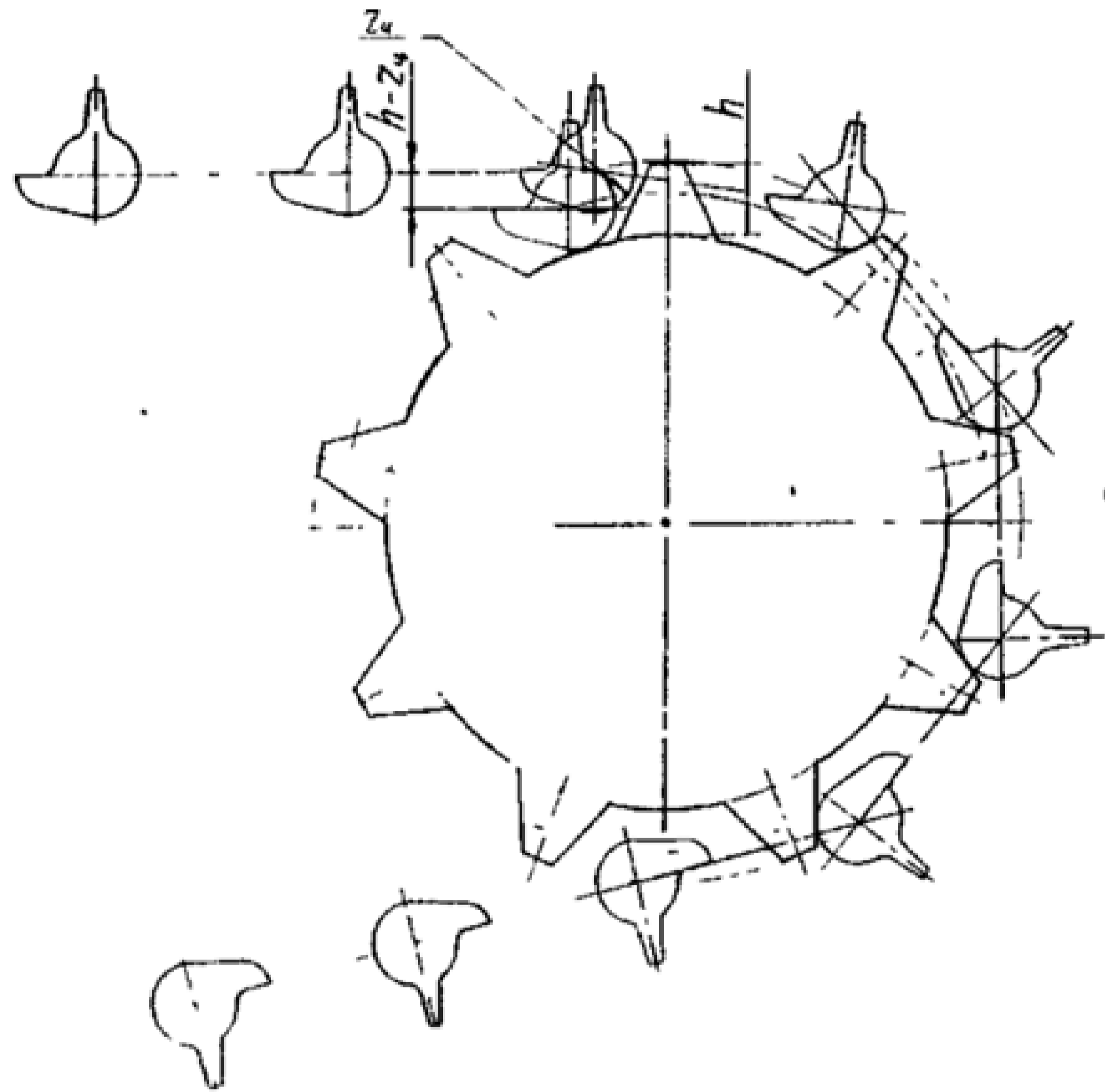
## Наземний роботизований комплекс з пасивно деформованим профілем гусениці



**Переваги:**  
Покращена прохідність: Здатність гусениць змінювати форму покращує зчеплення з поверхнею та дозволяє краще долати нерівні поверхні.  
Зменшення навантажень: Рівномірний розподіл тиску знижує ризик пошкоджень окремих вузлів.  
Амортизація: Підвищені амортизаційні властивості.  
**Недоліки:**  
Обмежена адаптивність: Пасивне деформування не дозволяє адаптуватися до дуже складних або швидко змінюваних умов.  
Менше універсальності: Цей тип не має такої високої маневровості, як активні системи.

Виконав: Жабровець О.А  
Науковий керівник: Струтинський В.Б

# Гусеничний рушії з амортизаційно натяжним механізмом



## Переваги:

1. Зменшення провисання гусеничного ланцюга ризик його зісковзування
2. Зниження ударних навантажень, амортизаційний-натяжний механізм дозволяє уникати сильних ударів під час роботи, що підвищує довговічність

Зуб ведучого колеса виконаний з висотою яка визначається за формулою:

$$h - r_{\text{ц}} = \frac{1}{\pi} \left[ 2S(m+1) + \frac{8}{3} \sum_{i=1}^n \frac{f_i^1}{l_i} \right]$$

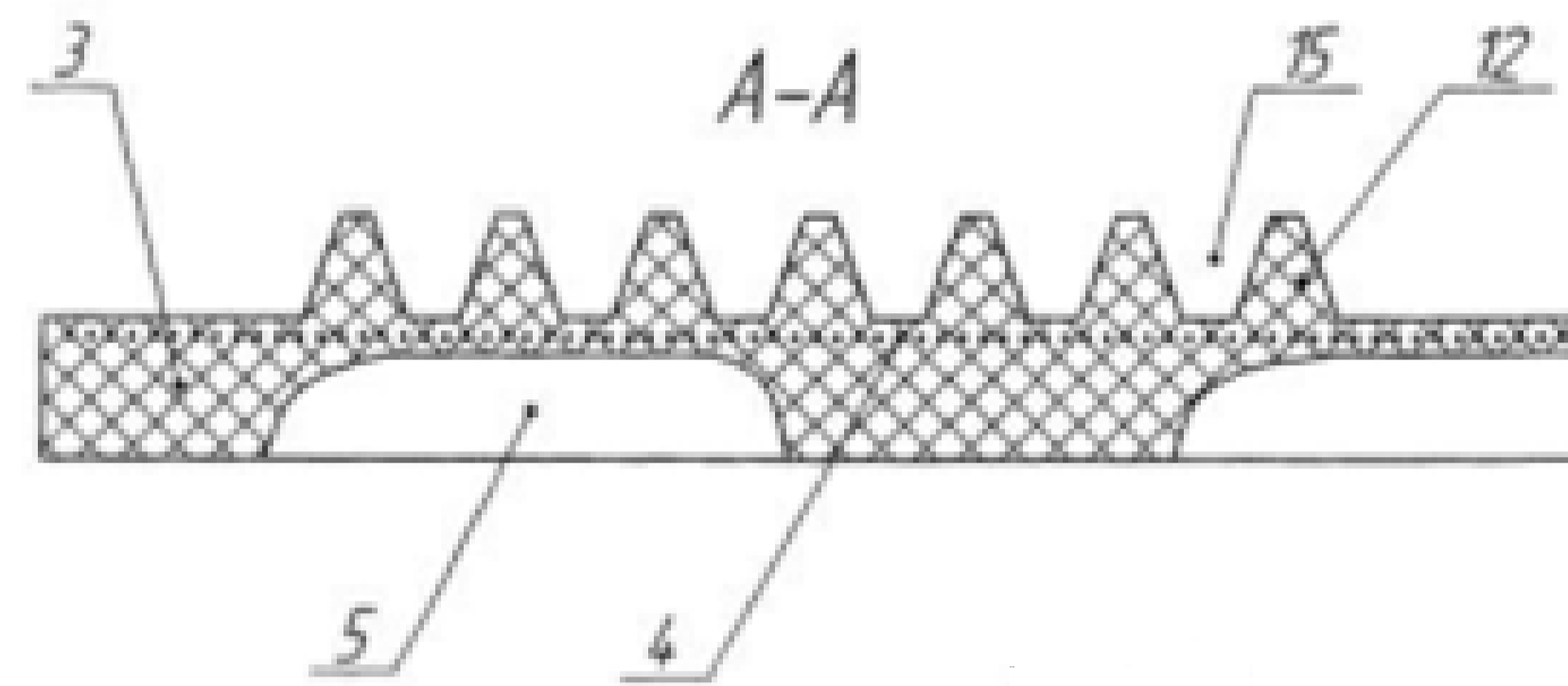
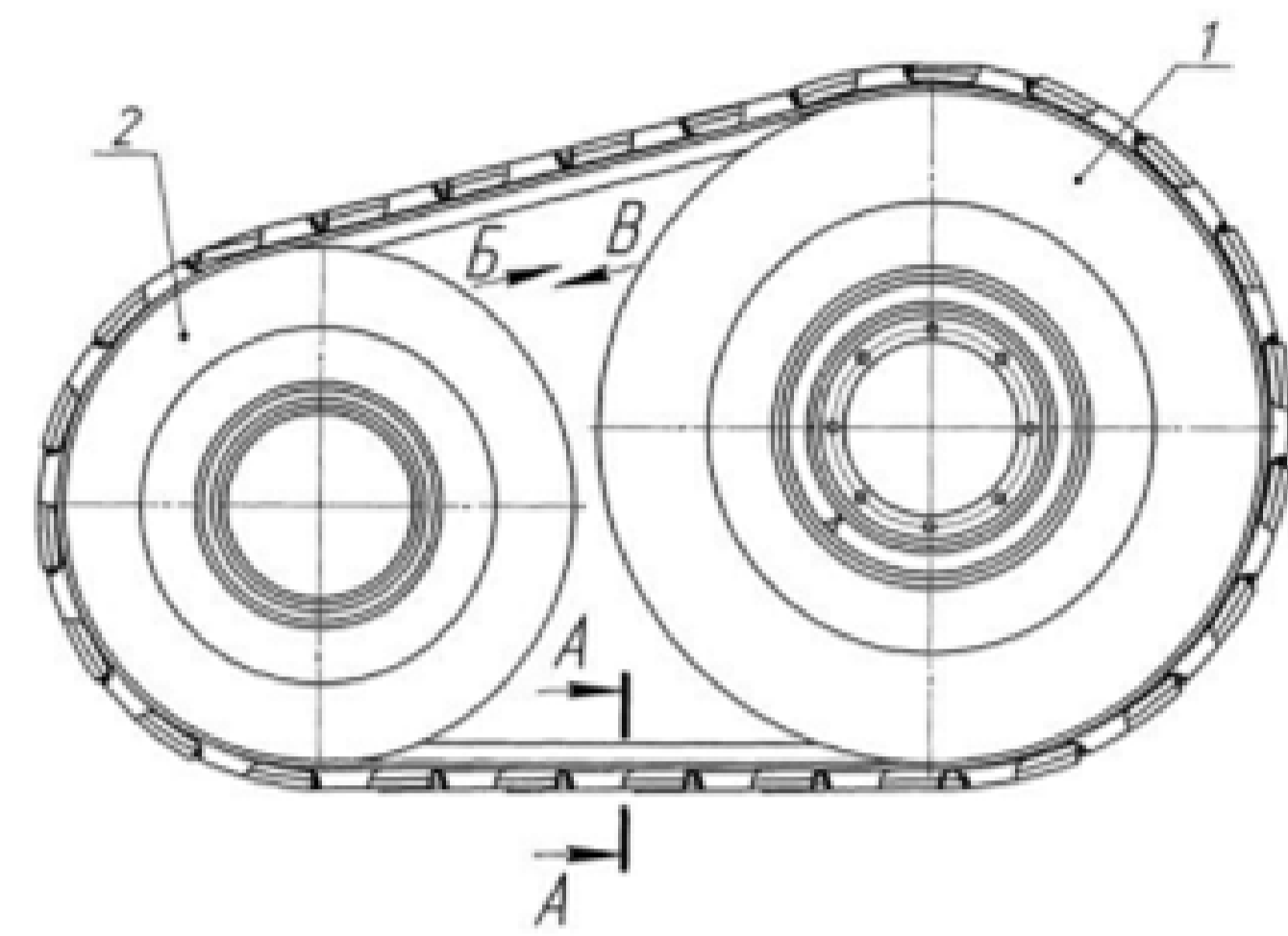
За рахунок провисання довжину гусеничного ланцюга можна визначити за формулою:

$$\sum_{i=1}^n (s_i - l_i) = \frac{8}{3} \sum_{i=1}^n \frac{f_i^1}{l_i}$$

Виконав: Жабровець О.А  
Науковий керівник: Струтинський В.Б

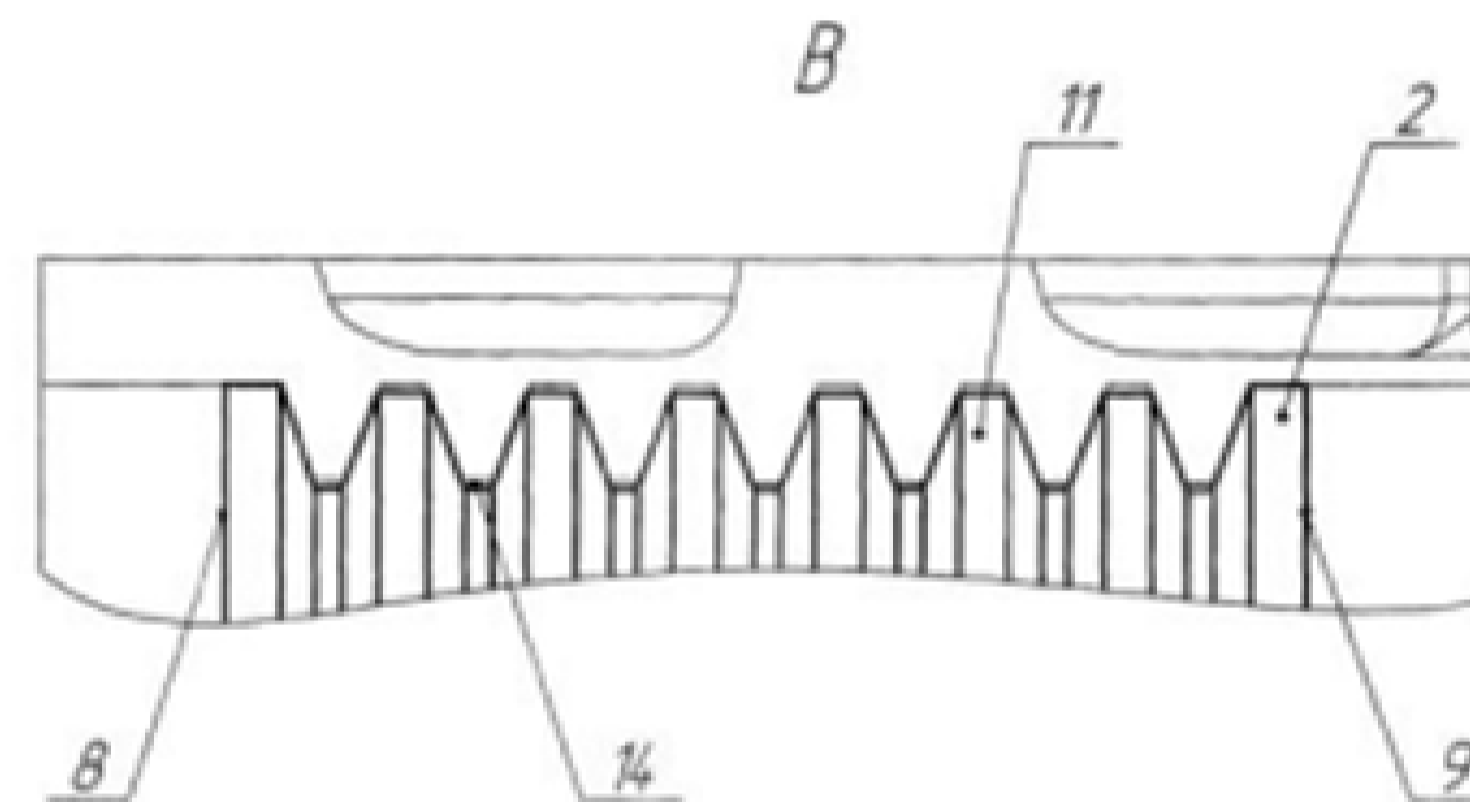
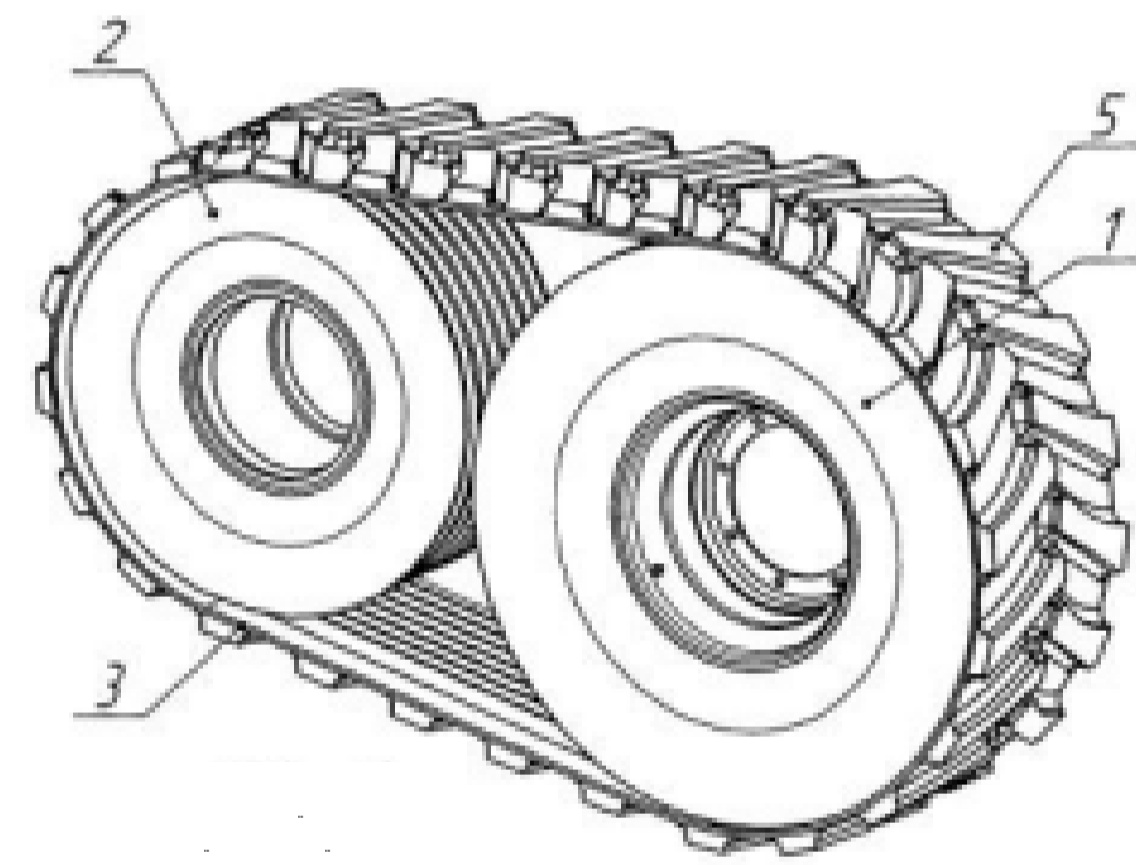
# Гусеничний рушій з еластичною гусеницею

Загальна схема гусеничного рушія



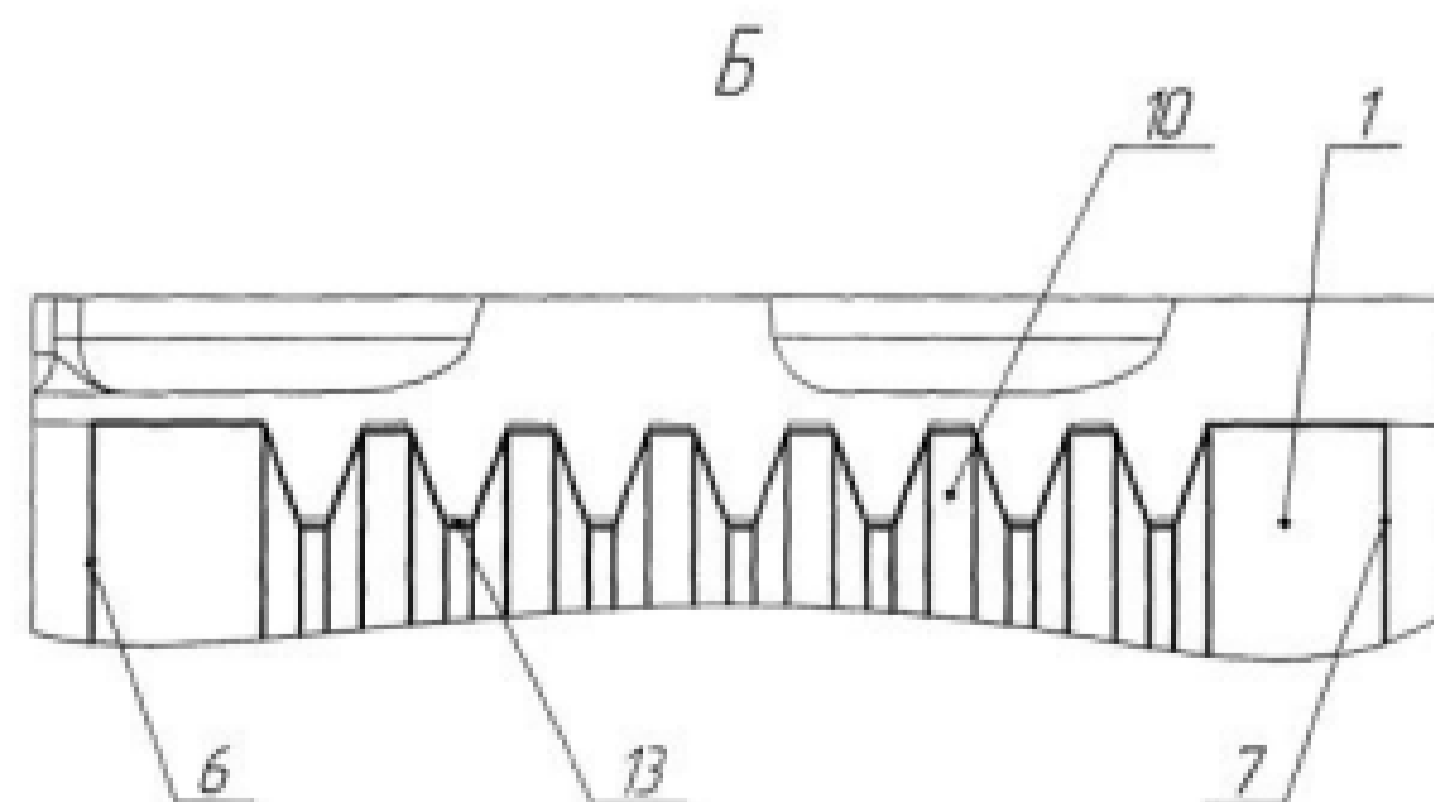
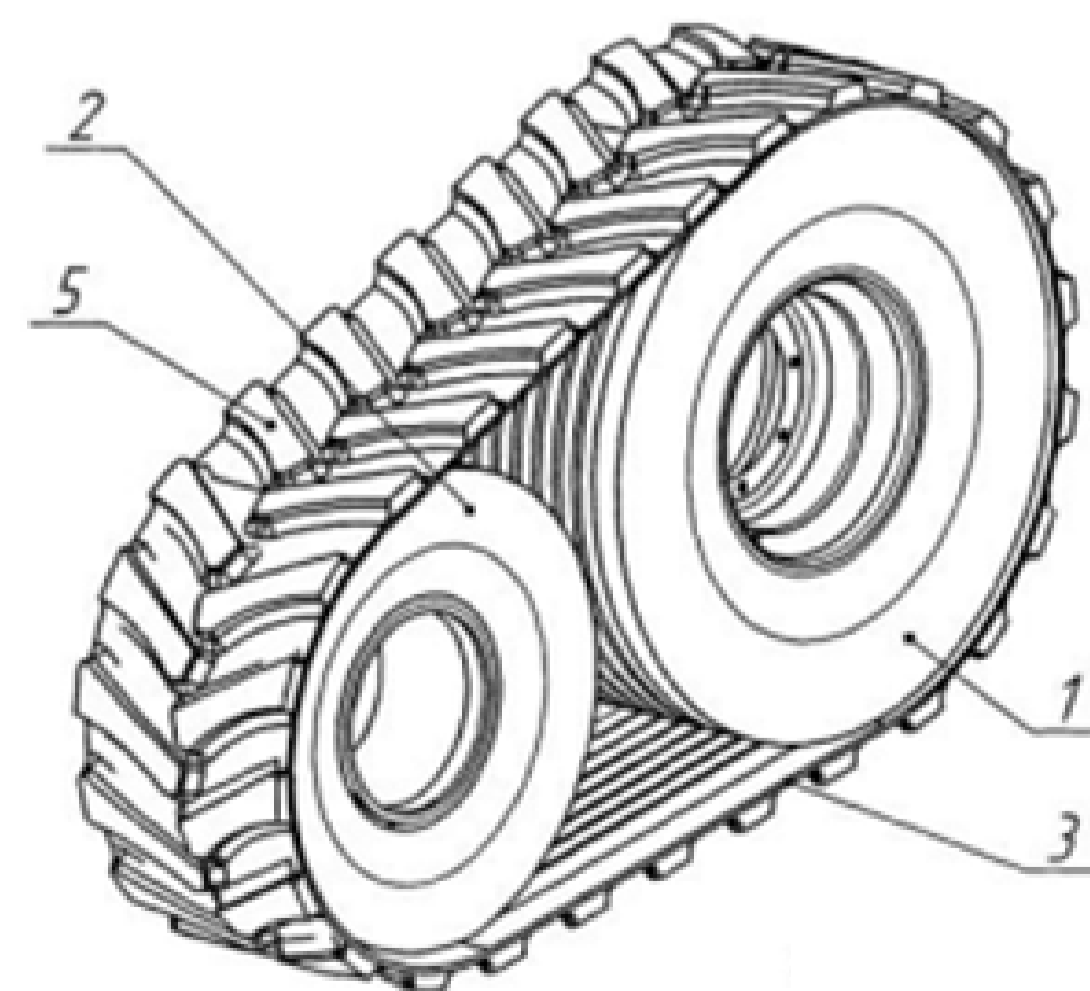
- 1 – колесо
- 2 – напрямне колесо
- 3 – еластична гусениця
- 4 – корд
- 5 – протектор
- 6, 7, 8, 9 – торці
- 10, 11 – кільцеві виступи
- 12 – поздовжні виступи
- 13, 14, 15 – канавки

Загальний вигляд гусеничного рушія



**Переваги:**

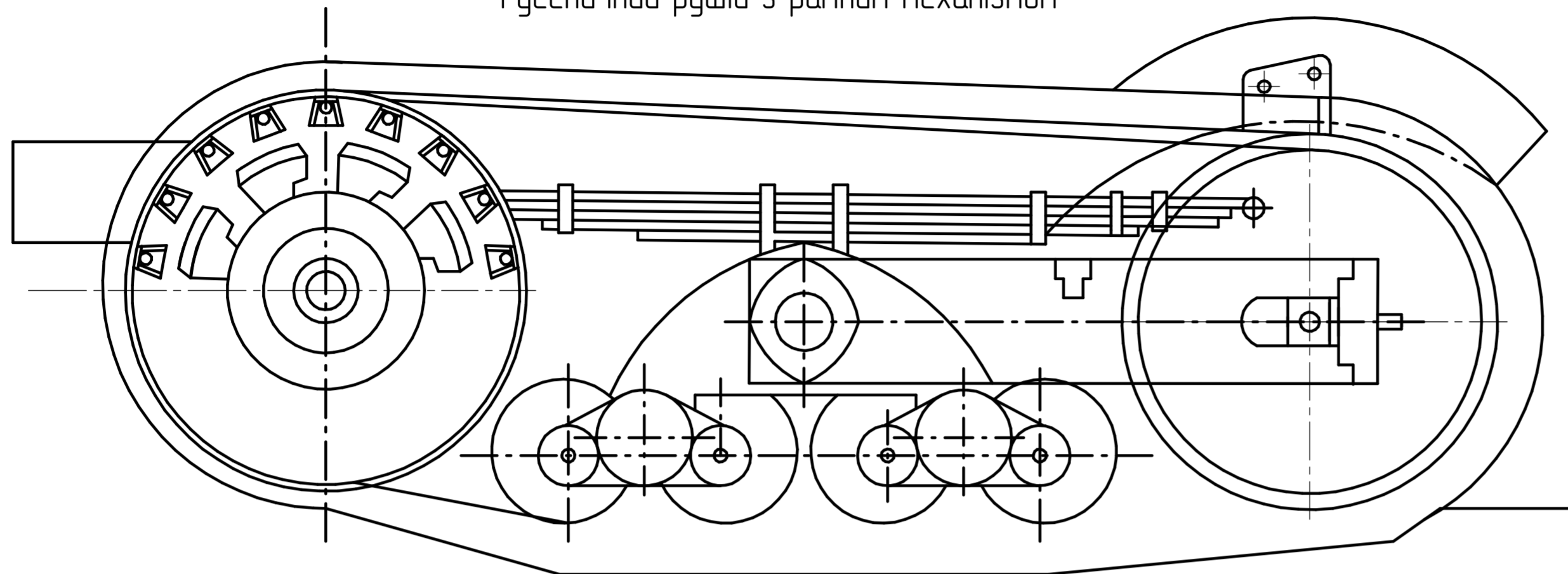
1. Підвищена сила тертя, клиноподібна форма збільшу силу тертя між контактуючими поверхнями ведучого колеса і гусениці, що підвищу тягову здатність
2. Надійна фіксація гусениці, виступи на колесах утримують поздовжні виступи гусениці від поперечного зсуву, зменшуючи ризик її зісковзування.
3. Збільшення зносостійкості, завдяки міцній фіксації гусениці на колесах зменшується зношування системи, що продовжує її експлуатаційний термін.



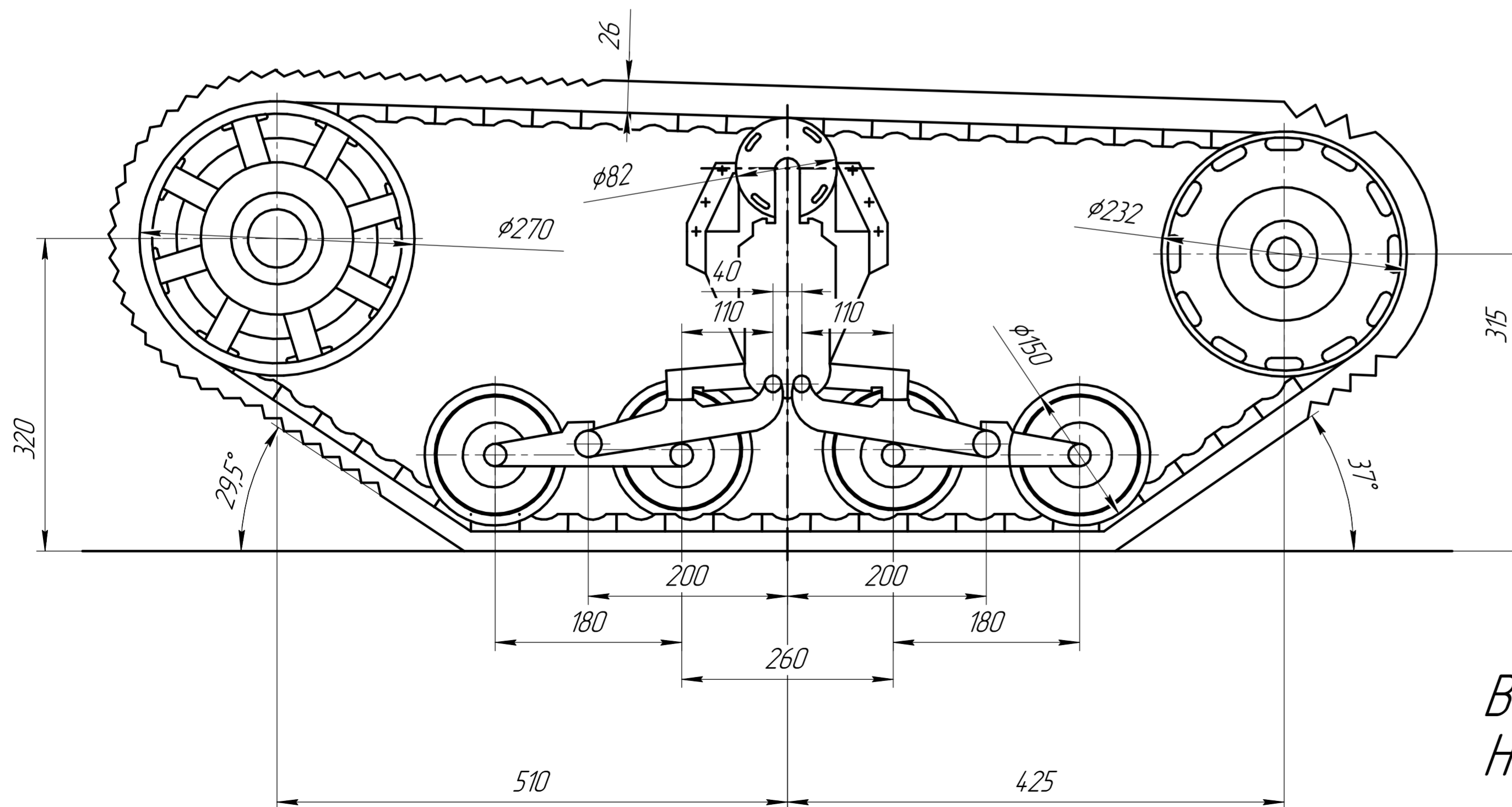
Виконав: Жабровець О.А  
 Науковий керівник: Струтинський В.Б

# Конструкції гусеничних рушіїв для пересування в різних умовах місцевості

Гусеничний рушіїв з рамним механізмом



Гусеничний рушіїв з важільною підвіскою



При конструкції руху необхідно, враховувати призначення комплексу і характеристики

Особливість полотна руху. Найбільш важливі особливості є:

- Підтримуючи здібність, остання визначеність.
- Остання визначеність глибиною вдавлювання полотна в полотно руху рухомої і підтримочною здібністю комплексу

Глибина колісною базою залежить від граничного тиску при русі і від конструкції.

Для ефективної роботи комплексу в умовах бездоріжжя, граничне навантаження під колісно-гусеничною базою повинно бути в зоні 0.3 – 0.35 кг/см<sup>2</sup>, рихлі і слабкі ґрунти допускають навантаження до 0.7 кг/см<sup>2</sup>. Для бездоріжжя граничне навантаження 0.05 до 0.25 кг/см<sup>2</sup> в залежності від стану поверхні.

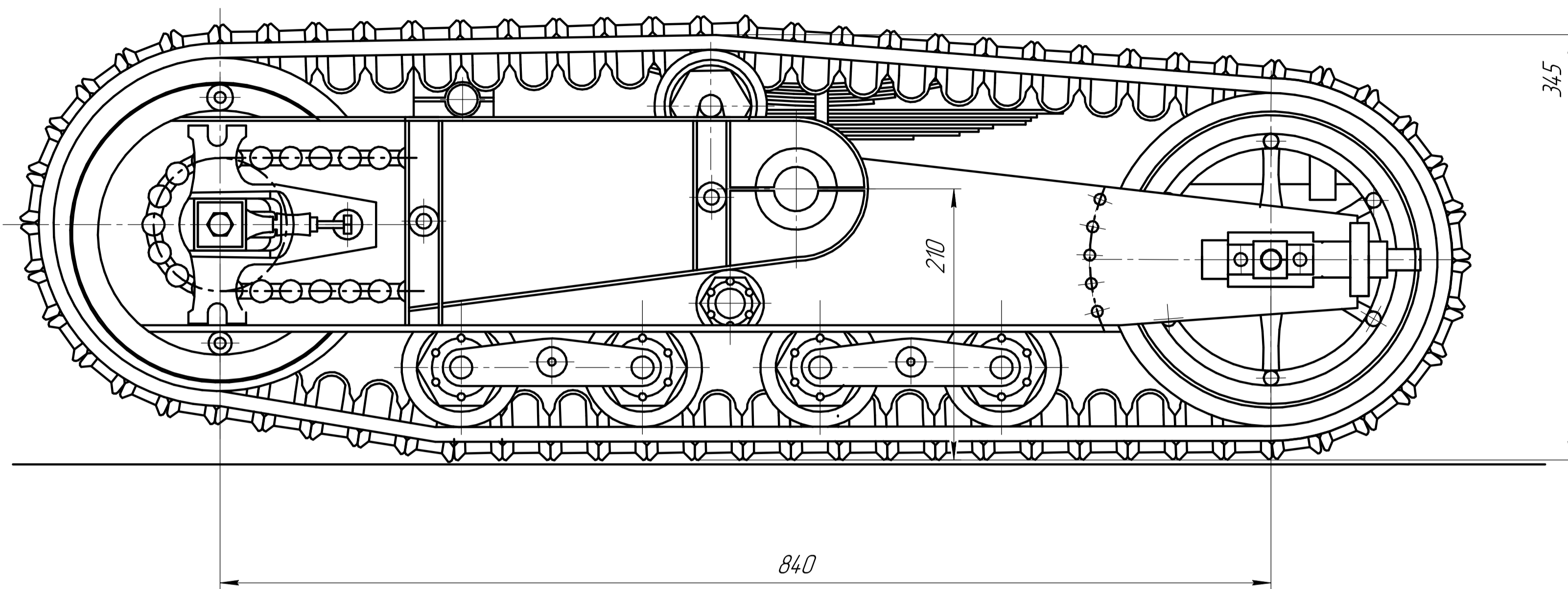
Таблиця 2.1 - Допуск граничного тиску під гусеничної бази наземного комплексу

Тип комплексу	Характеристики полотна руху і прохідності	Граничне навантаження в кг/см <sup>2</sup>
Комплексу із загальною вагою до 8.0 т.	Всі види бездоріжжя. Добра прохідність	0.30 – 0.35
Комплексу із загальною вагою більше 8.0 т.	Вологі і рихлі поверхні ґрунту. Сніг глибиною 500м. Прохідність обмеження	0.45 – 0.60
Наземний роботизований комплекс для пересування по снігу	Сніжна цілина будь-якої глибини і стану. Прохідність нормальна	0.1 – 0.2

Виконав: Жабровець О.А  
 Науковий керівник: Струтинський В.Б

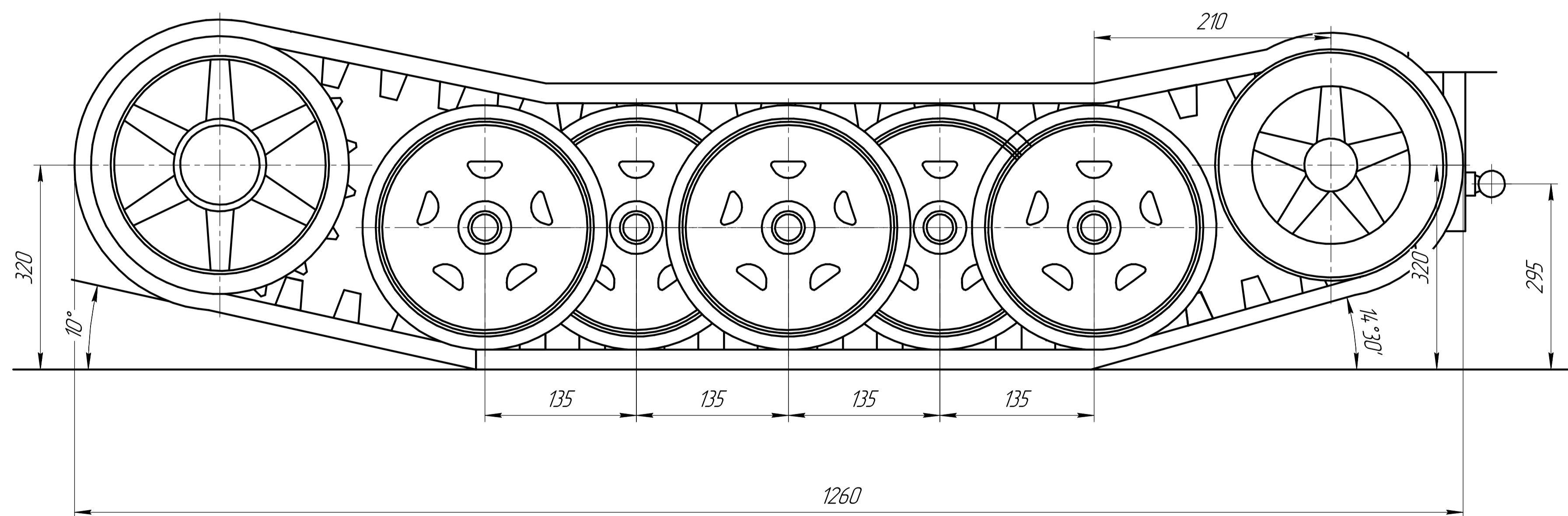
Гусеничні рушії наземного роботизованого комплексу для різних умов експлуатації: балансна та пряма підвіски

Наземний роботизований комплекс з балансною підвіскою рушія



Параметр	Напівгусеничний комплекс з балансною підвіскою	Швидкісний напівгусеничний комплекс з прямою підвіскою
<b>Переваги</b>		
<b>1. Стійкість і прохідність</b>	Забезпечує рівномірний розподіл навантаження завдяки балансирній системі.	Жорстка підвіска забезпечує стабільний рух на рівних поверхнях.
<b>2. Адаптація до рельєфу</b>	Краще пристосовується до нерівностей через можливість вертикального переміщення катків.	Ефективний на рівній місцевості та високих швидкостях.
<b>3. Комфорт руху</b>	Забезпечує плавний хід і знижує вібрації завдяки балансирній підвісці.	Простота конструкції сприяє надійності при невеликих навантаженнях.
<b>Недоліки</b>		
<b>1. Складність конструкції</b>	Більш складна конструкція через балансірну систему.	Не пристосований до роботи на пересіченій місцевості.
<b>2. Вартість</b>	Вища вартість через складніші компоненти.	Економічніший у виробництві завдяки простішій конструкції.
<b>3. Ефективність на рівних поверхнях</b>	Менш ефективний на швидкостях через адаптацію підвіски до рельєфу.	Відсутність прогину знижує адаптацію до нерівностей місцевості.

Наземний роботизований комплекс з прямою підвіскою опорних катків гусеничного рушія



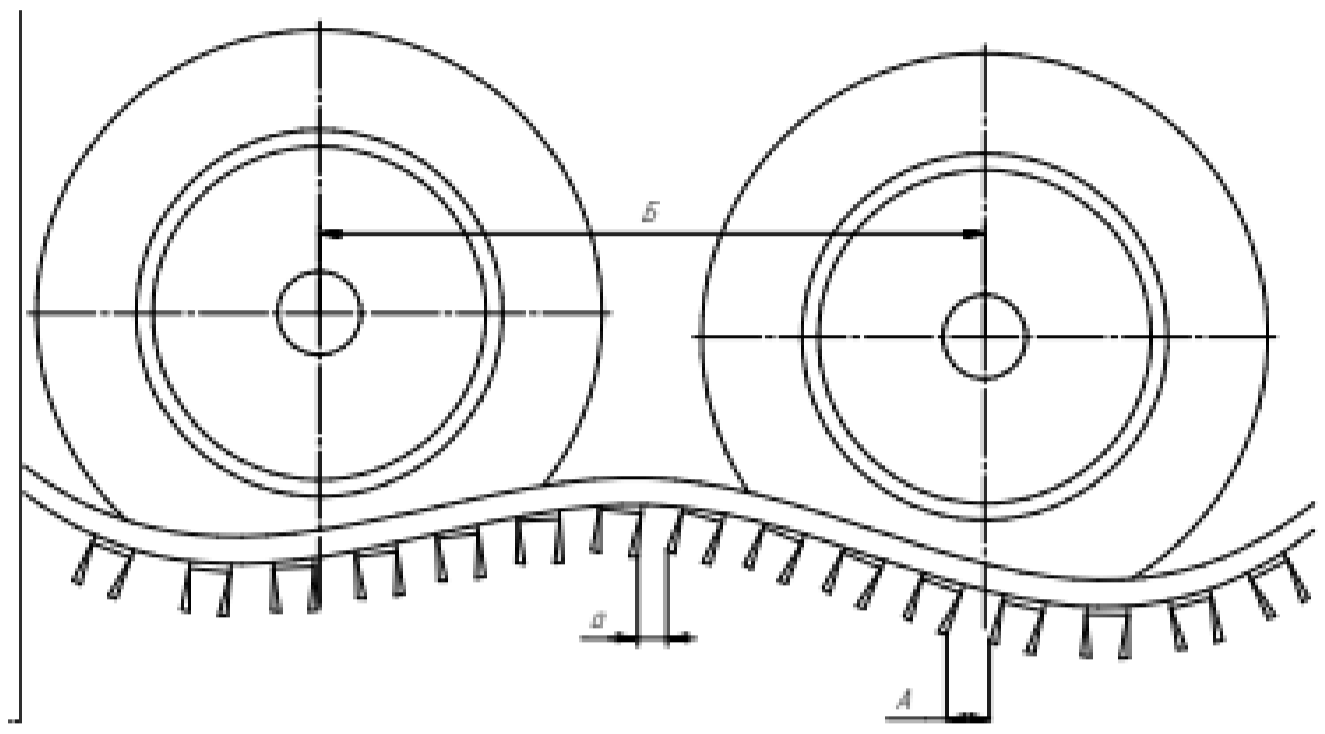
Наземний роботизований комплекс з балансною підвіскою гусеничного рушія рекомендується для використання на складній місцевості: болота, горбистий рельєф або на снігу.

Наземний роботизований комплекс з прямою підвіскою опорних катків гусеничного рушія підходить для рівних поверхонь і використовується на високій швидкості пересування.

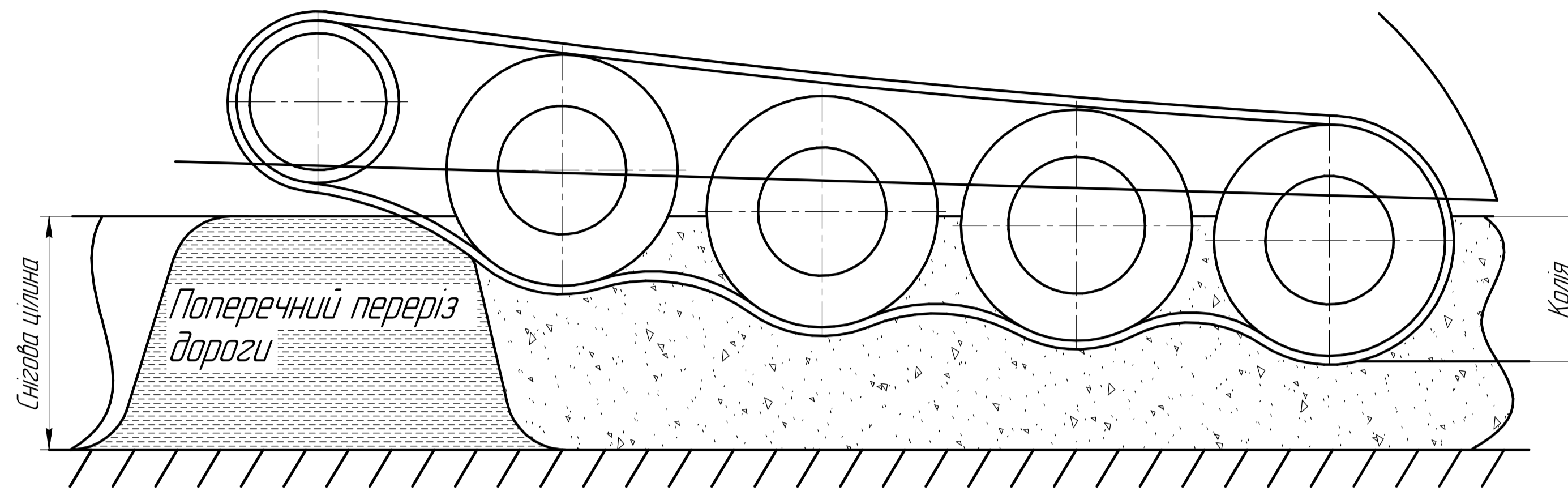
Виконав: Жабровець О.А  
Науковий керівник: Струтинський В.Б

Умови роботи гусеничного рушія наземного роботизованого комплексу в різних конструкціях підвіски.

Пряма підвіска



Пряма підвіска

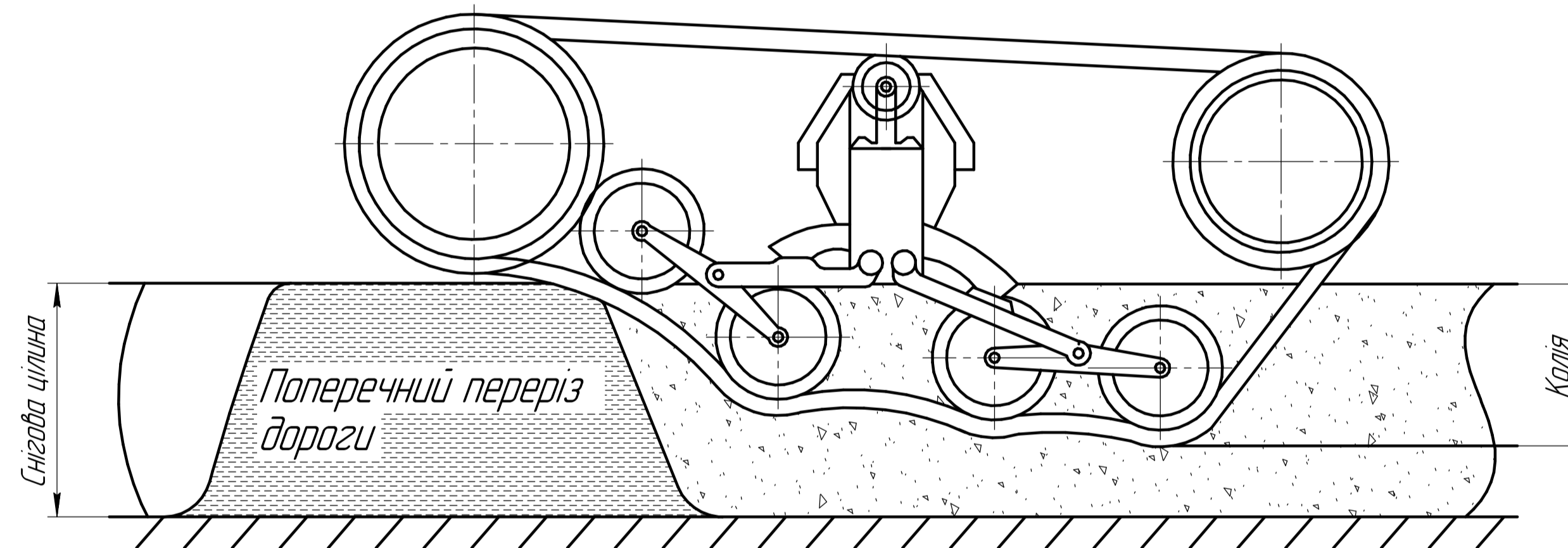
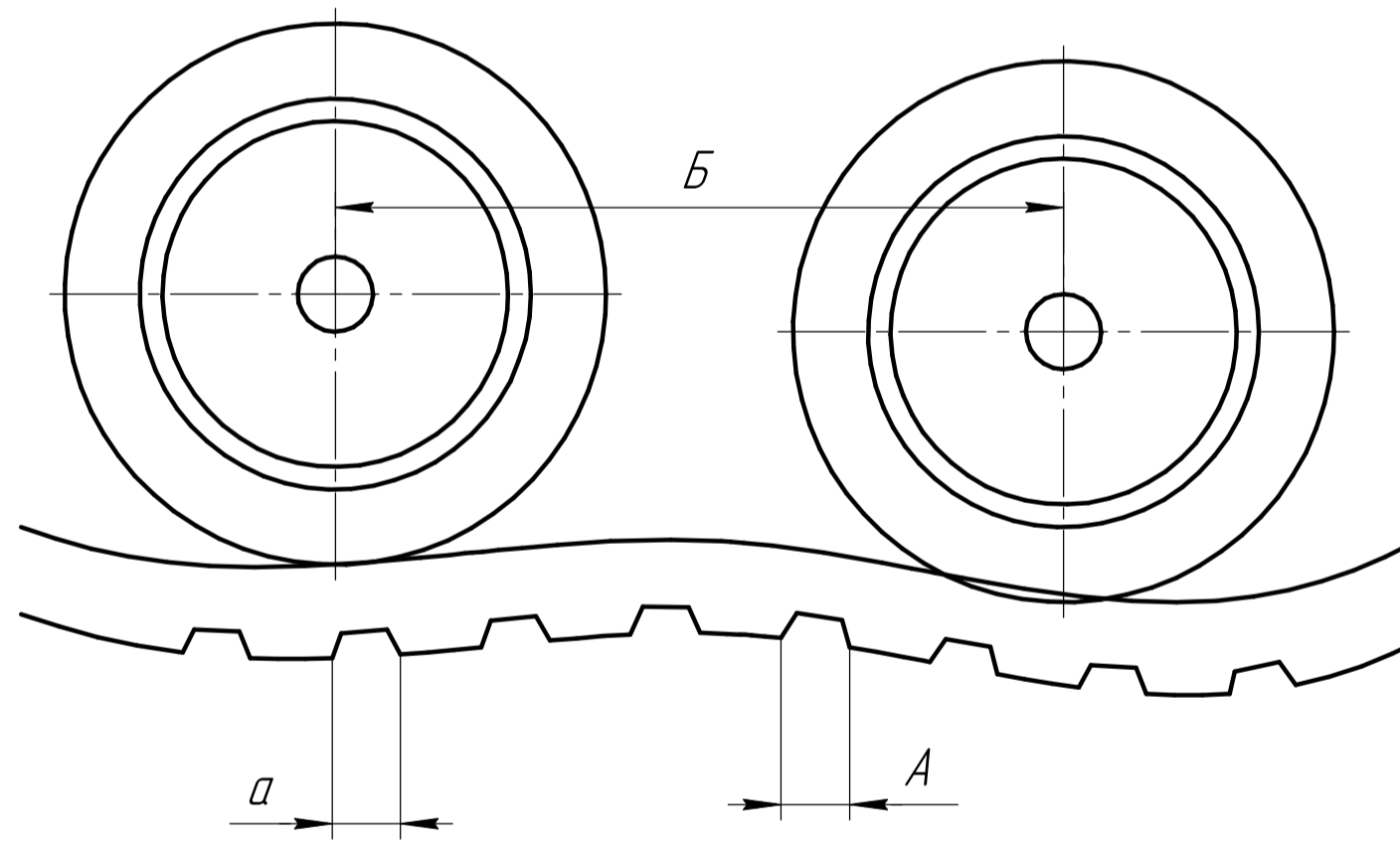


Таблиця 2.2 - Порівняння типів підвісок

Параметри	Пряма підвіска	Маятникова підвіска	Динамічна підвіска
Прогин гусениці	Мінімальний, жорсткий	Залежить від амплітуди балансу	Максимально адаптивний
Крок ведучих накладок	Постійний	Невеликі зміни на нерівностях	Незначні коливання на рельєсах
Прийнятність до рельєфу	Низька	Середня	Висока
Амортизація	Мінімальна	Добра	Максимальна
Знос гусениці	Підвищений на нерівних рельєсах	Середня	Мінімальна

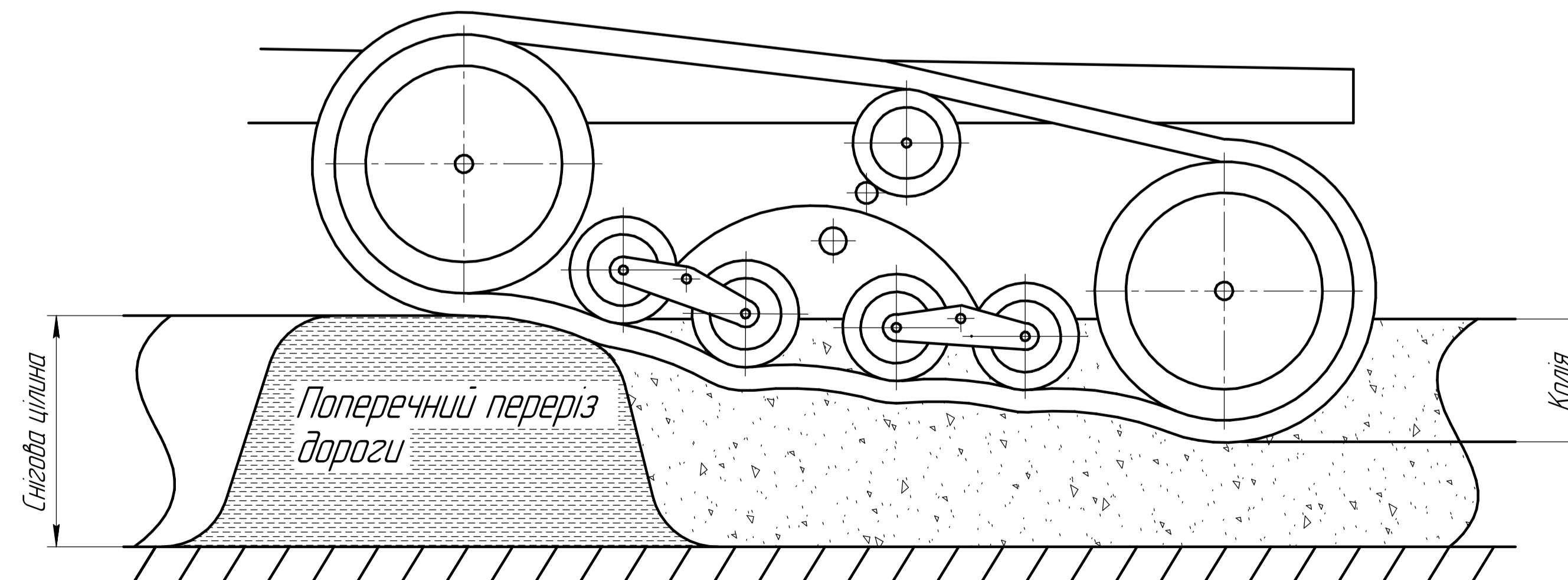
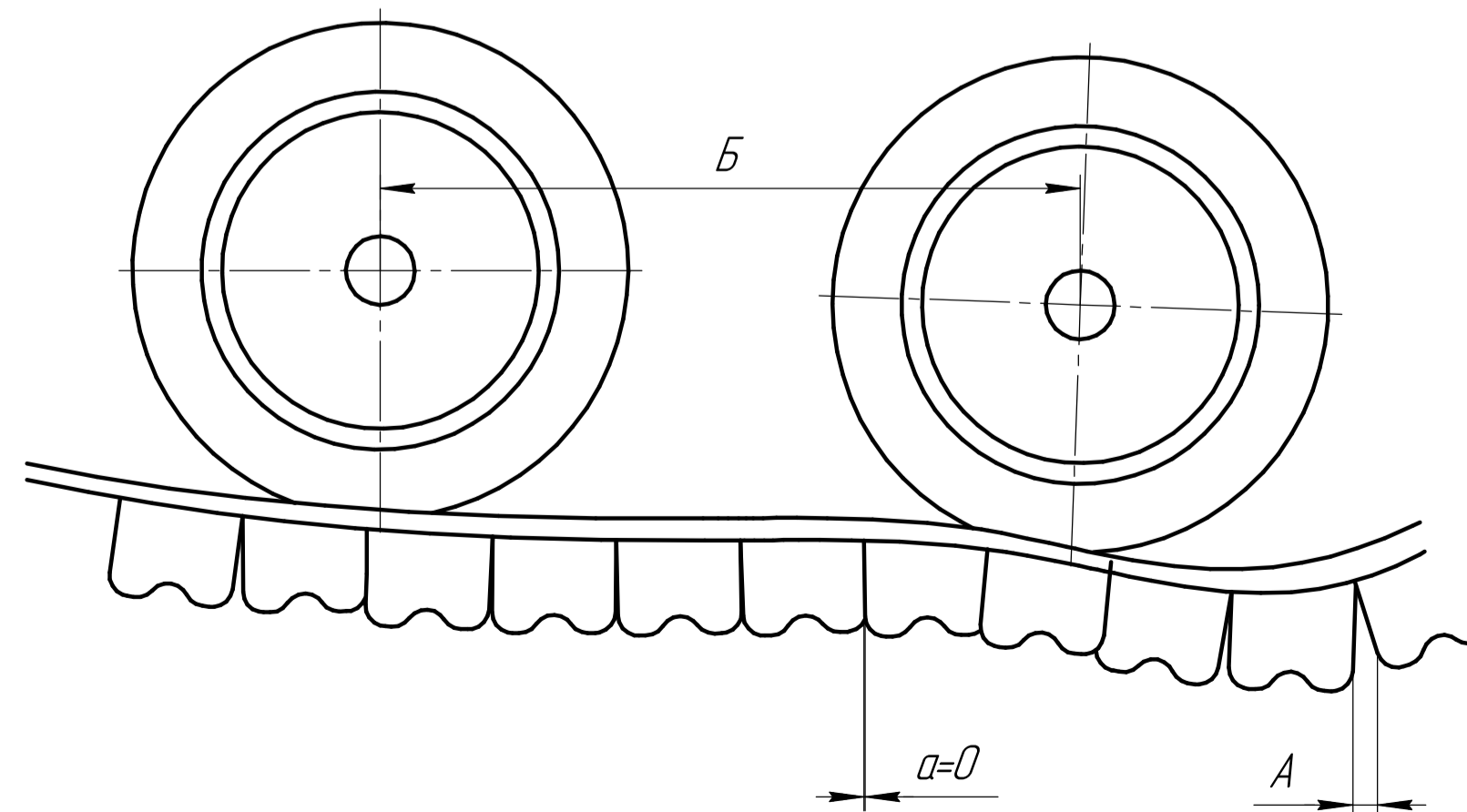
Маятникова підвіска

Маятникова підвіска



Динамічна підвіска

Динамічна підвіска



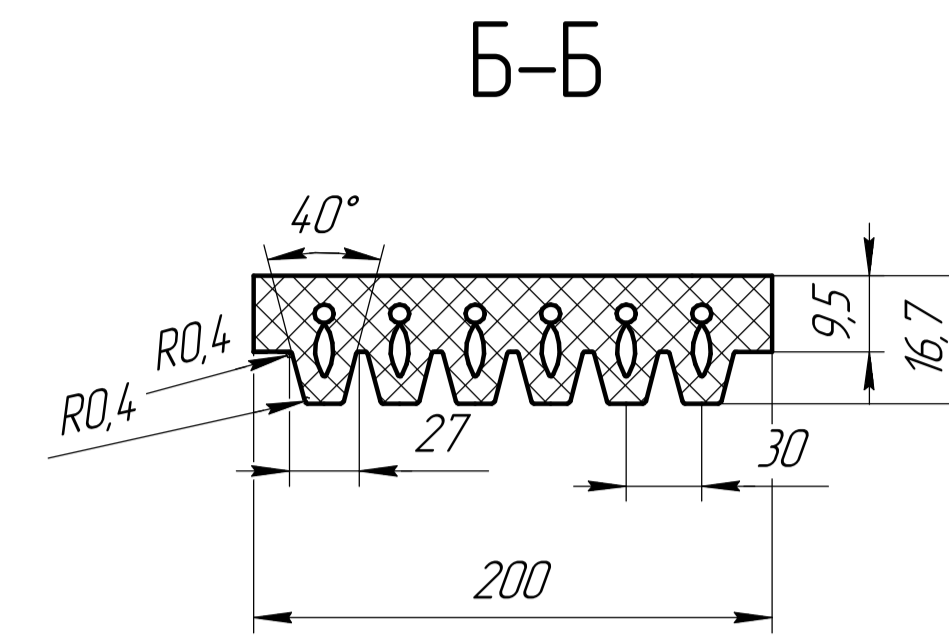
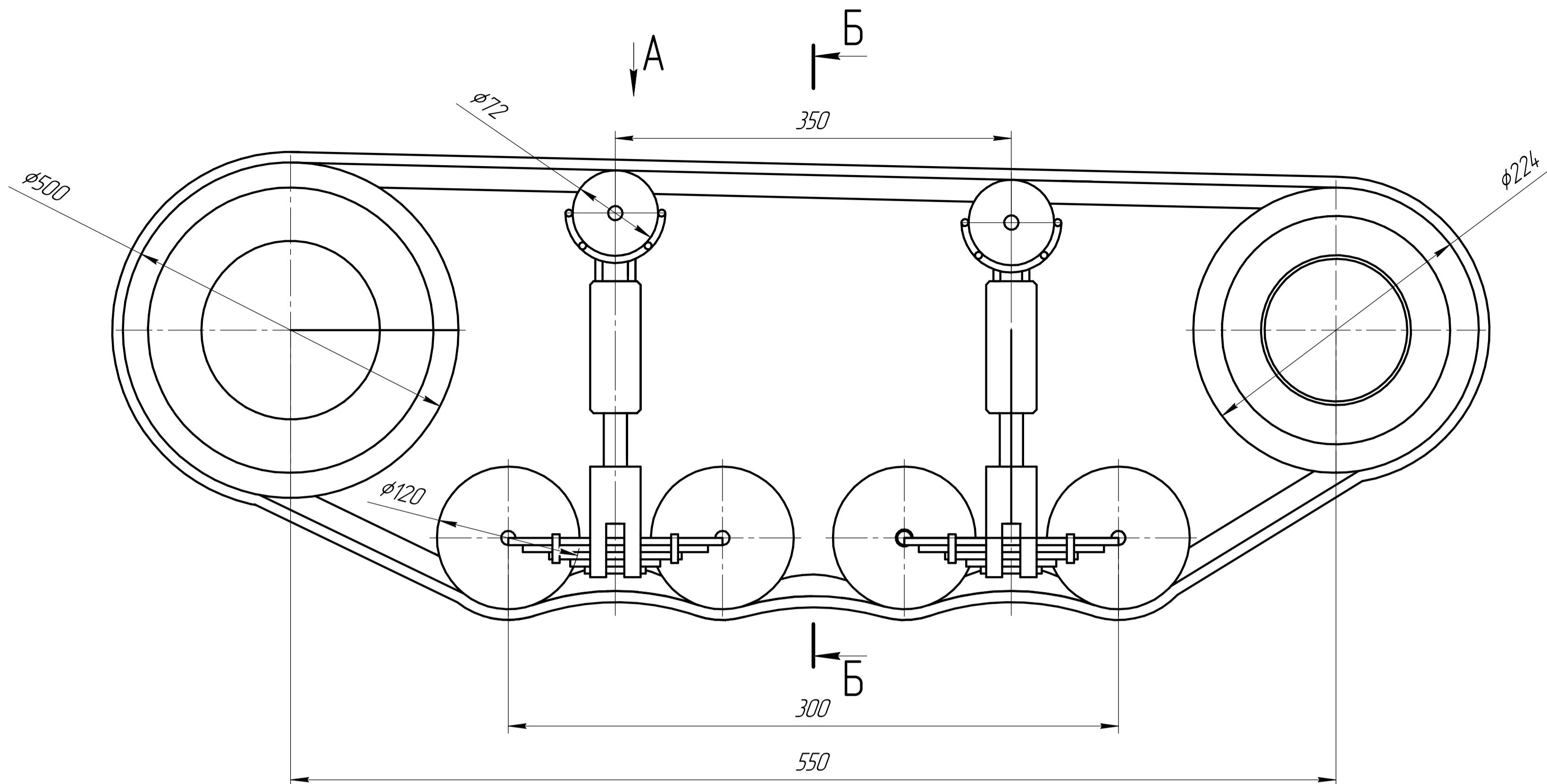
Пряма підвіска краще проходить для рівних поверхонь і використовується там де немає потреби в адаптації до нерівностей, але гусениця може швидше зношуватися при експлуатації на складному рельєфі.

Маятникова підвіска забезпечує кращу адаптацію до нерівностей, дозволяючи системі поглинати коливання і зменшувати навантаження на гусеницю, зберігаючи крок накладок у відносно постійному діапазоні

Динамічна підвіска є найбільш ефективною для рушія по складних рельєсах і при високій швидкості, оскільки забезпечує максимальну амортизацію, а також мінімізує знос гусениці.

Виконав: Жабровець О.А  
Науковий керівник: Струтинський В.Б

# Гусеничний рушій наземного роботизованого комплексу із незалежною підвіскою опорних катків



Визначимо силу тертя:

$$F_{\text{тер}} = \mu * N$$

$$F_{\text{тер}} = 0.7 * 490.5 = 343.35 \text{ H}$$

де  $\mu = 0.7$  для гуми на металі

Сила тяжіння:

$$N = m * g$$

$$N = 50 * 9.81 = 490.5 \text{ H}$$

Визначимо силу опору поверхні.

Опір для піску:

$$R_1 = \delta_1 * N$$

$$R_1 = 0.3 * 490.5 = 147.15 \text{ H}$$

Опір для болотистого ґрунту:

$$R_2 = \delta_2 * N$$

$$R_2 = 0.5 * 490.5 = 245.25$$

де коефіцієнти опору:

пісок  $\delta_1 = 0.3$

болотистого ґрунту  $\delta_2 = 0.5$

Визначимо розрахунок тягової сили, для піску, та для болотистого ґрунту:

Для піску:

$$F_{\text{тяга,пісок}} = F_{\text{тер}} - R_1$$

$$F_{\text{тяга,пісок}} = 343.35 - 147.15 = 196.2 \text{ H} \quad (3.21)$$

Для болотистого ґрунту:

$$F_{\text{тяга,болото}} = F_{\text{тер}} - R_2$$

$$F_{\text{тяга,болото}} = 343.35 - 245.25 = 98.1 \text{ H} \quad (3.22)$$

Діаметри колеса

$$d_1 = (40 \dots 45) \sqrt[3]{T}$$

$$d_1 = (40 \dots 45) \sqrt[3]{145,26} = 210,26 \dots 236,55 \text{ мм}$$

Діаметр веденого колеса

$$d_2 = d_1 u$$

$$d_2 = 224 * 2.26 = 506.24 \text{ мм.}$$

Швидкість паса

$$v = 0.5 \omega_1 d_1 = \frac{\pi n_1 d_1}{60} = \frac{3.14 * 1447 * 0.224}{60} = 16.96 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Колова сила на ведучому колесі

$$F_t = \frac{2T_{1p}}{d_1} = \frac{2 * 182 * 10^3}{224} = 1621 \text{ H}$$

Виконав: Жабровець О.А  
Науковий керівник: Струтинський В.Б

