

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

(назва кафедри)

Калінін Є.І.

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Розробка гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Сівак І.М.
(ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Колеснік І.В.
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Пархомчук Андрій Іванович
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

д.т.н., професор

(науковий ступінь, вчене ваня) (підпис)

Калінін Є.І.

(ПБ)

“ _____ ” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання дипломного проекту бакалавра студенту

Пархомчук Андрій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проекту бакалавра на тему «Розробка гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля»

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

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 19.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проекту бакалавра Нормативно довідкова література. Види та характеристики ходових систем.

Перелік питань які потрібно розробити

Вступ

1 Технічне обґрунтування об'єкта проектування

1.1 Методи підвищення прохідності транспортних засобів

1.2 Тягові та опорно-зчіпні параметри прохідності

1.3 Способи підвищення тягових і опорних зчіпних параметрів прохідності

1.4 Загальні відомості про машини з гусеничними рушіями

2 Тяговий розрахунок проектного транспортного засобу

2.1 Вихідні дані

2.2 Визначення параметрів автомобіля

2.3 Розрахунок зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

2.4 Визначення передавального числа головної передачі

2.5 Визначення передавальних чисел коробки передач

2.6 Тяговий баланс автомобіля

2.7 Час і шлях розгону автомобіля

2.8 Потужний баланс автомобіля

2.9 Паливно-економічна характеристика транспортного засобу

3 Розробка конструкції ходової системи підвищеної прохідності для автомобіля

3.1 Сучасні методи підвищення прохідності колісних автомобілів

3.2 Огляд конструкцій гусеничних рушіїв

3.3 Розробка структурної схеми гусеничного рушія для автомобіля

3.4 Конструкторські розрахунки розроблюваного гусеничного рушія

4 Охорона праці та безпека об'єкта проектування

4.1 Характеристика об'єкта проектування (технологічного процесу складальних робіт)

4.2 Ідентифікація професійних ризиків

- 4.3 Методи та засоби зниження професійних ризиків
- 4.4 Забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкта
- 4.5 Забезпечення екологічної безпеки технічного об'єкта

Висновки

Список використаних джерел

Перелік графічного матеріалу

1. Загальні характеристики ходових систем.
 2. Конструкція ходових систем.
 3. Тяговий розрахунок проектного транспортного засобу.
 4. Розробка конструкції ходової системи підвищеної прохідності для автомобіля.
 5. Розробка структурної схеми гусеничного рушія для автомобіля.
 6. Конструкторські розрахунки розроблюваного гусеничного рушія.
 7. Висновки
-

Дата видачі завдання «__» _____ 2024 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра

_____ (підпис)

Колеснік І.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Пархомчук А.І.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Загальний обсяг роботи становить 59 сторінку, що включають 24 рисунків, 6 таблиць, 22 літературних джерел, додаток

Тема випускної роботи: «Розробка гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля». Актуальність теми зумовлена зростанням кількості транспортних засобів, які призначені для роботи у важких дорожніх умовах. У зв'язку з цим, необхідно розробити специфічний вид гусеничного рушія для транспортного засобу підвищеної прохідності, призначений для дооснащення серійних автомобілів.

Структура дипломної роботи складається з чотирьох розділів, змісту, вступу, висновку, списку літератури, що містить іноземні джерела та додатків. У розрахунково-пояснювальній записці робота ілюстрована малюнками, основні розрахунки та дані зведені в таблиці.

Ключовим значенням проєкту є розробка конструкції гусеничного рушія для автомобіля підвищеної прохідності.

Метою роботи є розробка конструкції гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля з можливістю швидкого монтажу. Це дасть змогу суттєво розширити експлуатаційні можливості цього автомобіля.

У першому розділі дипломного проєкту було проведено аналіз історії появи гусеничних рушіїв та їх застосування на легкових автомобілях. Виявлено та проаналізовано зразки, що застосовуються на іноземній техніці.

У другому розділі дипломного проєкту було виконано тяговий розрахунок транспортного засобу, який узято як базовий. Виконаний тяговий розрахунок підтверджує можливість використання його в дорожніх умовах із пропонованими доробками. Виконано розрахунок окремих вузлів і деталей, силові та міцнісні розрахунки конструкції гусеничних рушіїв .

У третьому розділі дипломного проєкту було проведено аналіз гусеничних рушіїв і виконано розрахунок елементів конструкції. Відповідно

до конструкції пристрою було розроблено карту монтажу гусеничного рушія на автомобіль.

У четвертому розділі були проведені розрахункові роботи з безпеки життєдіяльності. Виявлено небезпечні та шкідливі виробничі фактори і запропоновано шляхи їх нейтралізації.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Технічне обґрунтування об'єкта проектування	11
1.1 Методи підвищення прохідності транспортних засобів	11
1.2 Тягові та опорно-зчіпні параметри прохідності	16
1.3 Способи підвищення тягових і опорних зчіпних параметрів прохідності..	18
1.4 Загальні відомості про машини з гусеничними рушіями	20
2 Тяговий розрахунок проектного транспортного засобу	23
2.1 Вихідні дані	23
2.2 Визначення параметрів автомобіля	23
2.3 Розрахунок зовнішньої швидкісної характеристики двигуна	27
2.4 Визначення передавального числа головної передачі	29
2.5 Визначення передавальних чисел коробки передач	32
2.6 Тяговий баланс автомобіля	31
2.7 Час і шлях розгону автомобіля	34
2.8 Потужний баланс автомобіля	37
2.9 Паливно-економічна характеристика транспортного засобу	38
3 Розробка конструкції ходової системи підвищеної прохідності для автомобіля.....	39
3.1 Сучасні методи підвищення прохідності колісних автомобілів.....	39
3.2 Огляд конструкцій гусеничних рушіїв	39
3.3 Розробка структурної схеми гусеничного рушія для автомобіля	41
3.4 Конструкторські розрахунки розроблюваного гусеничного рушія.....	44
4 Охорона праці та безпека об'єкта проектування	47
4.1 Характеристика об'єкта проектування (технологічного процесу складальних робіт)	49
4.2 Ідентифікація професійних ризиків	50
4.3 Методи та засоби зниження професійних ризиків	52
4.4 Забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкта	54
4.5 Забезпечення екологічної безпеки технічного об'єкта	55

Висновок	56
Список використаних джерел	58
Додатки.....	59

ВСТУП

Метою випускної кваліфікаційної роботи є максимально повне розкриття студентом практичних знань, отриманих у процесі навчання, та можливості застосування отриманих знань для вирішення практичних завдань. Актуальність теми дипломного проекту визначається спектром завдань, що стоять перед економікою та промисловістю. В даний час на ринку транспортних засобів гостро стоїть питання про застосування транспортних засобів підвищеної прохідності та розробку пристроїв, здатних значно підвищити прохідність транспортного засобу без значної доробки трансмісії та підвіски автомобіля.

Тема дипломного проекту «Розробка гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля». В рамках випускної кваліфікаційної роботи проведено розробку конструкції гусеничного рушія, що застосовується на повнопривідному автомобілі. Цей пристрій відповідає актуальності виконання дипломного проекту і здатний підвищити прохідність транспортного засобу, не піддаючи його трансмісію і ходову частину значній доробці.

Для опису передбачуваних робіт розглянемо об'єкт дипломного проектування з точки зору декомпозиції на складові частини.

Автомобіль складається з трьох основних частин: двигуна, шасі та кузова.

Шасі становить основу автомобіля і складається з трансмісії, ходової частини та механізмів управління [1].

Ходова система (частина) автомобіля - це комплекс вузлів, призначений для переміщення автомобіля по дорозі. Механізми ходової частини дозволяють водієві і пасажиром рухатися з певним ступенем комфорту і безпеки.

Ходова частина автомобіля складається з основних вузлів: рама (для сучасних легкових автомобілів - несучий кузов), балки мостів, підвіски коліс (передня і задня), колеса і шини. Кожен з цих елементів, виконуючи певні

функції, в результаті дозволяє людям в автомобілі в незначній мірі відчувати різні механічні коливання, пересуватися в авто в комфортних умовах, а засоби активної та пасивної безпеки забезпечують відносну безпеку здоров'я і життя людей в аварійних ситуаціях [2].

Для такої країни, як наша, з тривалими сніжними зимами на значній частині її території, з великими просторами, які ще не мають навіть ґрунтових доріг, нарешті, з пустельними і степовими масивами в південних районах транспорт підвищеної прохідності відіграє величезну роль. Автомобілі для експлуатації на ґрунтових дорогах або шосе створювати значно простіше, ніж позашляхові. Труднощі полягають у тому, що болотистий ґрунт, сніг, пісок за своїми фізичними властивостями, зокрема здатністю сприймати вертикальне навантаження і чинити опір прикладеному до ґрунту тяговому зусиллю, дуже різноманітні. Швидше за все, немає можливості створити універсальну для всіх ґрунтів машину, яка рухалася б за допомогою зчеплення двигуна з ґрунтом [21].

Основним конструктивним фактором, що відповідає за прохідність транспортного засобу, є конструкція його ходової частини.

Прохідність автомобіля є експлуатаційною властивістю, що має важливе значення для будь-яких автомобілів, особливо тих, які працюють в умовах бездоріжжя. Прохідність в таких умовах експлуатації визначає середню швидкість руху і істотно впливає на продуктивність автомобіля.

Прохідність автомобіля оцінюють габаритними, тяговими і опорно-зчіпними параметрами, а також комплексним фактором прохідності.

Одним з основних способів підвищення прохідності автомобілів в умовах відсутності доріг є застосування напівгусеничного і гусеничного ходів (напівгусеничних і гусеничних рушіїв) [3].

Гусениця - замкнута суцільна стрічка або ланцюг з шарнірно з'єднаних ланок, що застосовується в гусеничному ході. На внутрішній поверхні гусениці є поглиблення або виступи, з якими взаємодіють ведучі колеса машини. Зовнішня поверхня гусениці забезпечена виступами (шпорами), які

забезпечують зчеплення з ґрунтом. Гусениці можуть бути металевими, гумово-металевими і гумовими. Найбільшого поширення набули металеві гусениці з розбірними або нерозбірними ланками. Для підвищення зносостійкості і терміну служби гусениці їх ланки, а також з'єднувальні елементи (пальці, втулки) виготовляють зі спеціальної високомарганцовистої сталі і піддають термічній обробці [1].

Гусениця забезпечує рух транспортного засобу в умовах бездоріжжя насамперед за рахунок своєї гнучкості та еластичності. Важливою властивістю гусениці, як рушія, є здатність витримувати значні навантаження як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку, при цьому маючи властивість самоочищення від бруду та снігу. Також гусениця забезпечує зчеплення з дорожнім покриттям більше, ніж колісні рушії. Перш за все це досягається за рахунок багаторазово більшої площі контакту. Також транспортні засоби на гусеничному ході мають краще співвідношення потужності і витрати палива за рахунок малих механічних втрат на перемотування гусениці. Завдяки великій площі контакту на нестабільних ґрунтах транспортний засіб не провалюється, оскільки в цьому випадку питомий тиск рушія на ґрунт нижче, ніж у випадку з колісним рушієм.

Таким чином, мета дипломного проекту може бути сформульована наступним чином. Метою дипломного проекту буде підвищення прохідності автомобіля шляхом розробки гусеничного рушія і технології для швидкої заміни колісного рушія на гусеничний. Досягнення поставленої мети вимагає вирішення ряду взаємопов'язаних завдань в рамках випускної кваліфікаційної роботи:

- виконати аналіз факторів, що впливають на прохідність транспортних засобів і оцінити вплив кожного з них;
- провести аналіз факторів, що впливають на прохідність транспортних засобів поза дорогами загального користування;
- виявити можливі способи збільшення прохідності транспортних засобів;

- зробити аналіз різних типів ходових частин для транспортних засобів підвищеної прохідності, включаючи гусеничні;
- зробити тяговий розрахунок автомобіля, взятого за базовий;
- розробити конструкцію швидкокомтованих гусеничних ходових механізмів для автомобіля підвищеної прохідності;
- виконати розрахунок міцності та силових характеристик вузлів і деталей розробленої конструкції;
- здійснити розробку технологічного процесу складання гусеничного рушія;
- в рамках технологічного процесу провести розробку технологічної карти;
- здійснити розробку безпеки виробництва робіт і провести аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- виконати розрахунок собівартості виготовлення гусеничного рушія;

Виконання поставлених завдань буде підставою для того, щоб вважати випускну кваліфікаційну роботу завершеною.

1 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Методи підвищення прохідності транспортних засобів

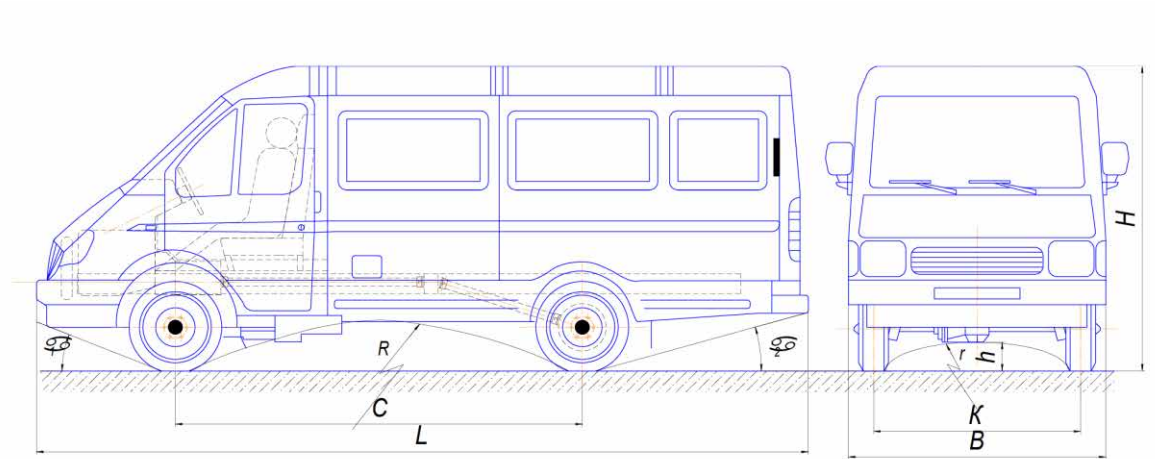
Розглянемо геометричні показники, що характеризують прохідність автомобіля у вертикальній площині.

Дорожній просвіт - це відстань h між найнижчою точкою автомобіля і площиною дороги (рисунок 1), яка характеризує можливість руху автомобіля без зачіпання зосереджених перешкод (каменів, пнів тощо).

Значення дорожнього просвіту залежить від типу автомобіля, типу головної передачі та умов експлуатації. Так, наприклад, для вантажних автомобілів обмеженої прохідності (колісна формула 4x2) дорожній просвіт становить 245...290 мм, а для автомобілів підвищеної та високої прохідності (4x4, 6x4, 6x6) - 315...400 мм. [4].

Збільшення дорожнього просвіту може бути досягнуто збільшенням діаметра коліс автомобіля, а також зменшенням розмірів головної передачі. Однак збільшення діаметра коліс призводить до підвищення центру ваги автомобіля, в результаті може погіршитися його стійкість. Тип головної передачі істотно впливає на дорожній просвіт. Серед одинарних головних передач найменші розміри має черв'ячна головна передача. Причому при верхньому розташуванні черв'яка значно збільшується дорожній просвіт під ведучим мостом автомобіля [7].

Геометрична прохідність є найбільш популярним і простим з конструкторської точки зору методом підвищення прохідності транспортного засобу. Досягається насамперед за рахунок збільшення дорожнього просвіту. Однак застосування цього методу обмежене вимогами безпеки, оскільки центр ваги також зміщується вгору, що знижує стійкість автомобіля.



α_1 - кут в'їзду; α_2 - кут з'їзду; R - поздовжній радіус прохідності; C - база автомобіля; h - дорожній просвіт; K - колія; r - радіус поперечної прохідності

Рисунок 1 - Основні геометричні параметри, що впливають на профільну прохідність автомобіля

Конічна і гіпоїдна головні передачі мають невеликі габаритні розміри. Однак при однаковому передавальному числі гіпоїдна передача може бути виконана з меншою кількістю зубців і, отже, менших розмірів. При цьому при верхньому гіпоїдному зміщенні значно збільшується дорожній просвіт автомобіля.

З усіх одинарних головних передач найменший дорожній просвіт забезпечує циліндрична головна передача, яка розміщується в загальному картері з коробкою передач і зчепленням.

Серед подвійних головних передач найбільший дорожній просвіт автомобілю забезпечує рознесена головна передача з одинарними планетарними колісними редукторами, в якій конічні шестерні знаходяться в центрі ведучого моста, а циліндричні шестерні - в колісних редукторах. [10]

Передній α_1 і задній α_2 кути прохідності, а також передній l_{ni} і задній l_3 , звиси характеризують прохідність автомобіля по нерівних дорогах при в'їзді на перешкоду або при з'їзді з неї, наприклад, у випадках наїзду на горб, переїзду через канави тощо. Для визначення кутів α_1 і α_2 проводяться дотичні

до зовнішніх окружностей шин передніх і задніх коліс і до найвіддаленіших точок передньої і задньої частин автомобіля.

Поздовжній R і поперечний r радіуси прохідності визначають обриси перешкоди, яку, не зачіпаючи, може подолати автомобіль. Радіуси прохідності дорівнюють радіусам окружностей, проведених дотично до зовнішніх окружностей шин і найнижчої точки автомобіля, в межах бази B або колії K . Чим менше поздовжній і поперечний радіуси прохідності, тим краща прохідність автомобіля. Зменшуючи, наприклад, базу автомобіля, можна зменшити радіус R [3].

У таблиці 1 наведено радіуси R поздовжньої прохідності для деяких типів транспортних засобів.

Таблиця 1 - Радіуси R поздовжньої прохідності для деяких типів автомобілів

Тип приводу	Типи автомобілів	Значення, м
2 x 1	Легкові	3,2...8,3
2 x 1	Вантажні	2,7...5,5
2 x 2, 3 x 2, 3 x 3	Вантажні	1,9...3,6

Відстань від найнижчих точок автомобіля до поверхні дороги у більшості легкових автомобілів становить 180-250 мм, а у вантажних - 250-325 мм (таблиця 2).

Для збільшення дорожнього просвіту з метою підвищення прохідності, виникає можливість застосовувати рознесену головну передачу, яка дозволяє розділити крутний момент, і тим самим, розвантажити диференціал і піввісь від підвищеного моменту, збільшуючи прохідність.

Різна здатність автомобілів долати глибокі канави з крутими стінками. Так, при ширині канави більше 0,8...0,9 діаметра колеса, дво- і тривісні автомобілі не зможуть її подолати [12].

Таблиця 2 - Середні величини основних геометричних показників прохідності автомобілів

Дорожній просвіт (у мм)	Марки автомобілів	Радіус поздовжньої прохідності в метрах	Кут у градусах	
			передній	задній
150-220	Легкові	3-8	20-30	15-20
250-350	Вантажні	2,5-6	40-60	25-45
220-300	Автобуси	4-9	10-40	6-20

Чотиривісні ж автомобілі долають такі перешкоди і навіть більші без труднощів (малюнок 2). Профільна прохідність і величина дорожнього просвіту значною мірою визначаються діаметром колеса. Чим більший діаметр колеса, тим більші нерівності - канави, горби, уступи може подолати автомобіль [4].

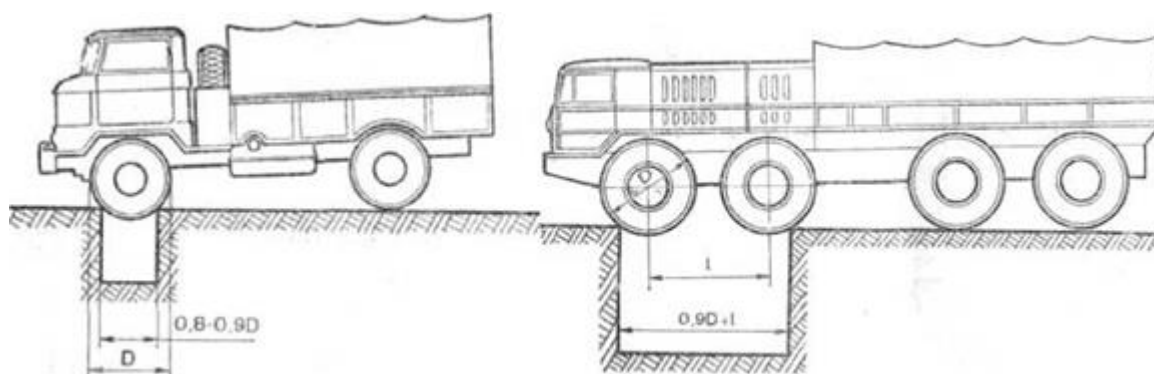


Рисунок 2 - Здатність автомобіля до подолання перешкод залежно від компонування шасі

До оцінки прохідності відносяться і такі вимірювачі, як вага автомобіля і його розподіл по осях, висота центру ваги, габарити, висота розташування механізмів, що обмежують глибину долаємого броду, можливість подолання перешкод: вертикальних стінок, ровів тощо [5].

Наведеними вище вимірювачами властивість прохідності автомобіля не вичерпується повністю, але вже в достатній мірі визначає її.

Властивість автомобіля повертати на мінімальній площі називають маневреністю. Ця властивість характеризує прохідність автомобіля в горизонтальній площині.

Показники маневреності автомобіля наступні (малюнок 3): мінімальний радіус повороту зовнішнього переднього колеса R_H , ширина смуги руху A , яку займає автомобіль при повороті, і максимальний вихід окремих частин автомобіля за межі траєкторій руху зовнішнього переднього і внутрішнього заднього коліс (відстані a і b) [20].

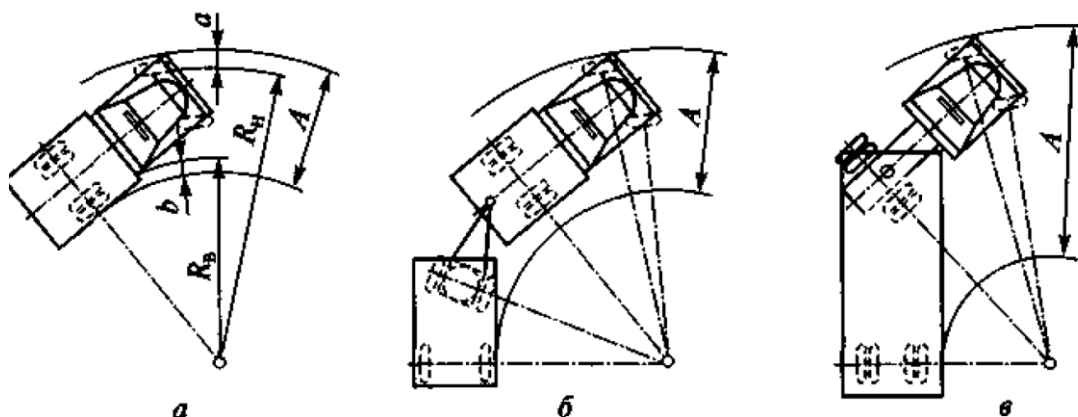
Максимальну ширину смуги руху (в метрах) визначають за формулою:

$$A = R_H - R_B + a + b \quad (1)$$

де R_B - мінімальний радіус повороту внутрішнього заднього колеса, м.

Найменший радіус повороту приблизно становить подвоєну довжину бази автомобіля: $R_{MIN} \approx 2L$ і зазвичай виражається в метрах.

Найбільш маневрені одиночні автомобілі з усіма керованими колесами. При буксируванні причепів маневреність автомобіля дещо погіршується, оскільки при поворотах автопоїзда причіп і напівпричіп зміщуються до центру повороту (рисунки 3.3, б і в), і ширина смуги руху збільшується. Ширина смуги руху автопоїзда збільшується із збільшенням кількості буксированих причепів, бази причепа і довжини дишла [22].



а - одиночного автомобіля; б - тягача з причепом; в - тягача з напівпричепом

Рисунок 3 - Показники маневреності

У всіх автомобілів граничний кут повороту напрямних коліс дорівнює приблизно 30° .

1.3 Способи підвищення тягових і опорно-зчіпних параметрів прохідності

Прохідність автомобіля – це показник, що являє собою сукупність ряду факторів. Найбільш значущими слід вважати конструктивні та експлуатаційні фактори. «Ведуче колесо долає вертикальну перешкоду краще, ніж ведене. Це відбувається тому, що ведуче колесо прагне подолати вертикальну перешкоду, а ведене колесо тільки впирається в неї.

Дослідженнями встановлено, що для переднього веденого колеса висота долаємої вертикальної перешкоди $h_k=2/3$ гк. При висоті перешкоди $h_{np}=z_k$ переднє ведене колесо не може подолати її навіть при дуже великій силі поштовху P_x [3].

Зазвичай колії передніх і задніх коліс не збігаються у автомобілів з передніми односкатними і задніми двоскатними колесами.

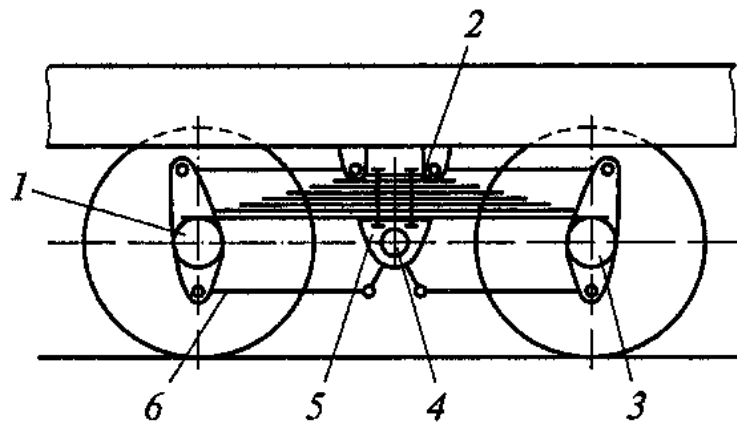
Незбіг колії можливий і у автомобілів з усіма односхилими колесами. Для таких автомобілів різниця в ширині колії передніх і задніх коліс не повинна перевищувати 25...30% ширини шини, інакше прохідність істотно погіршиться [1].

При русі по пересіченій місцевості автомобілів з колісними формулами бх4 і бх6 виключення відриву коліс від ґрунту забезпечує балансірна (рисунок 7) або незалежна підвіска. При використанні таких підвісок колеса краще пристосовуються до нерівностей поверхні, і прохідність автомобіля підвищується.

Застосування гідропередач і роздавальних коробок з понижувальними передачами істотно підвищує прохідність автомобіля, особливо по м'яких і вологих ґрунтах. Завдяки їх застосуванню досягається мінімальна швидкість руху (0,5...1,5 км/год) і її плавна зміна. Це забезпечує безперервний рух у

важких дорожніх умовах, що дуже важливо, оскільки автомобіль часто зупиняється в момент перемикання передач [3].

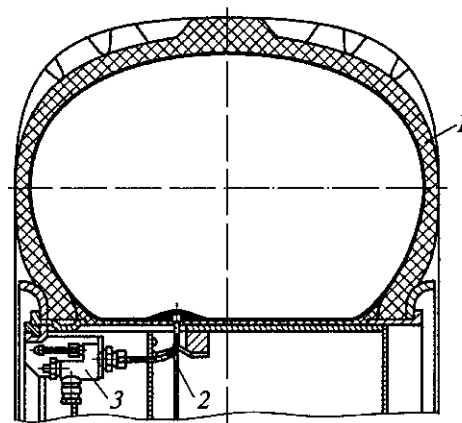
Конічний симетричний диференціал зменшує прохідність автомобіля, оскільки розподіляє порівну між ведучими колесами крутний момент, а тягова сила на них визначається колесом з меншим зчепленням. Це диференціал малого тертя. При використанні конічного диференціала сумарна тягова сила на ведучих колесах зростає за рахунок тертя на 4...6% [3].



1, 3 - ведучі мости; 2 - ресора; 4 - вісь; 5 - маточина; 6 - штанга

Рисунок 7 - Схема балансірної підвіски коліс автомобіля

Черв'ячний і кулачковий диференціали збільшують прохідність автомобіля. Вони є диференціалами підвищеного тертя. У разі їх застосування сумарна тягова сила на ведучих колесах зростає на 10...15% [3].

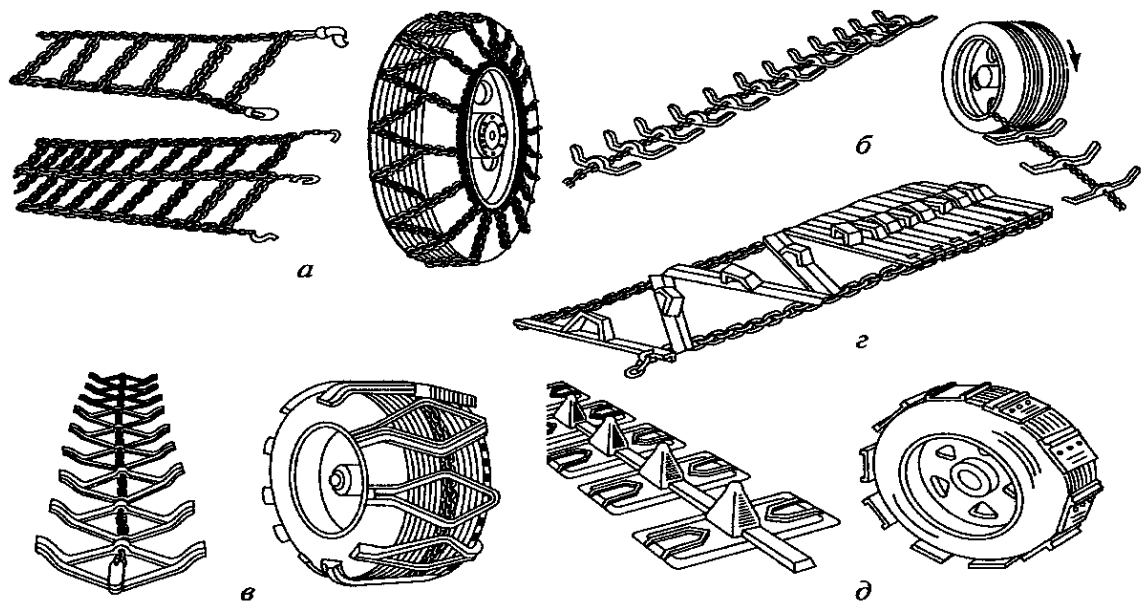


1 - широкопрофільна шина; 2 - вентиль камери; 3 - запірний кран колеса

Рисунок 8 - Колесо з регулюванням тиску повітря в шині

Блоковані диференціали ще більше збільшують прохідність автомобіля. При використанні таких диференціалів сумарна тягова сила на ведучих колесах зростає на 20...25% [3].

Завдяки регулюванню тиску повітря в шинах (рисунок 8) істотно підвищується прохідність автомобілів у важких дорожніх умовах і по бездоріжжю. Залежно від дорожніх умов тиск повітря в шинах може змінюватися в межах 0,05...0,35 МПа. Тому прохідність автомобіля, обладнаного шинами з регульованим (змінним) тиском повітря, в окремих випадках наближається до прохідності гусеничних машин [2].



а - дрібноланкові; б - з прямими траками; в - з ромбоподібними траками; г - браслетні; д - з широкими траками

Рисунок 9 - Ланцюги проти ковзання

Застосування самовитяжних пристроїв (лебідки з приводом від коробки відбору потужності, лебідки самовитягування, що монтується на ведучі колеса, та ін.) дозволяють значно підвищити прохідність автомобіля при подоланні особливо важких ділянок дороги.

Ланцюги проти ковзання слід використовувати тільки для тимчасового підвищення прохідності автомобіля на важких ділянках шляху. При русі на твердих дорогах їх необхідно знімати [10].

1.4 Загальні відомості про машини з гусеничними рушіями

Гусеничні рушії розвивалися повільнішими темпами. Але завдяки тому, що гусениці мають велику площу контакту з ґрунтом і здатні розвивати високу силу тяги, трактори з таким двигуном здавна стали застосовуватися як база тягових або навантажувальних машин для роботи на снігу, вологих ґрунтах, зокрема, з низькою несучою здатністю.

Традиційно гусеничні рушії зазвичай використовуються на території колишнього радянського союзу, в США, а потім – в Канаді, Новій Зеландії, Австралії та Великобританії. Це були лісогосподарські трактори або спеціальні машини на базі екскаваторів.

Гусеничний рушій – рушій самохідних машин, в якому тягове зусилля створюється за рахунок перемотування гусеничних стрічок, що складаються з окремих ланок – траків. Гусеничний рушій забезпечує підвищену прохідність. Велика площа контакту гусениць з ґрунтом дозволяє забезпечити низький тиск – 31...122 кН/м², тобто менше тиску ноги людини. Таким чином гусеничний рушій захищається від глибокого занурення в ґрунт. [1] Основна частина гусеничного рушія – це гусенична стрічка.

Гусенична стрічка (гусениця) – замкнута суцільна стрічка або ланцюг з шарнірно-з'єднаних ланок (траків), що застосовується в гусеничному рушії. На внутрішній поверхні гусениці є западини або виступи, з якими взаємодіють ведучі колеса машини. Зовнішня поверхня гусениці забезпечена виступами (ґрунтозачепами), які забезпечують зчеплення з ґрунтом. Для збільшення зчеплення гусениці на ґрунтах з низькою несучою здатністю використовуються знімні шпори.

Гусениці можуть бути металевими, гумово-металевими і гумовими. Найбільшого поширення набули металеві гусениці з розбірними або

нерозбірними ланками. Для підвищення зносостійкості і терміну служби гусениці їх ланки, а також з'єднувальні елементи (пальці, втулки) виготовляють зі спеціальної високомарганцевої сталі і піддають термічній обробці, а також використовують гумово-металеві шарніри, шарніри з голчастим підшипником та ін.

У розділі проведено аналіз різних факторів, що впливають на прохідність транспортного засобу. Виявлено як геометричні параметри, так і фактори, пов'язані з особливістю конструкції ходової частини транспортного засобу. Зокрема, визначено, що на прохідність транспортного засобу значний вплив має геометрична прохідність. Однак, при русі по нестабільних ґрунтах можливе провалювання транспортного засобу, в результаті чого величина кліренсу нівелюється глибиною провалювання. У разі повного провалювання і опори транспортного засобу днищем на ґрунт, транспортний засіб втрачає прохідність повністю, оскільки втрачається зчеплення рушія з ґрунтом. Таким чином, можна зробити висновок, що одним із способів підвищення прохідності буде зниження питомого тиску на ґрунт, щоб уникнути провалювання і зменшення кліренсу. Засобом, що дозволяє значно знизити питомий тиск транспортного засобу на ґрунт, буде гусеничний рушій. Розробка рушія такого типу буде проводитися в рамках конструкторської частини випускної кваліфікаційної роботи.

2 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Основою тягового розрахунку транспортного засобу буде перелік вихідних даних, які визначають хід подальшого розрахунку. Як вихідні дані беремо параметри, що відповідають повнопривідному автомобілю:

- тип: легковий автомобіль підвищеної прохідності;
- компонування: повнопривідний
- клас автомобіля: 3 (третій);
- число місць пасажирів n_p : 5;
- споряджена маса m_0 , кг: 1250;
- максимальна швидкість V_{max} км м : 140; 38,9;
- коефіцієнт опору коченню f_k : 0,01;
- максимальний об'єм, що долається на I передачі α_{max} : 0,22;
- лобова площа A_a , м²: 2,24 [14].

2.1 Рівняння руху автомобіля

Оцінку тяговий-швидкісних властивостей автомобіля проводять, вирішуючи рівняння його руху. Рівняння руху автомобіля зв'язує силу, рушійну автомобіль, з силами опору і дозволяє визначити характер прямолінійного руху автомобіля, тобто в кожен момент часу знайти прискорення, швидкість, час руху і пройдений автомобілем шлях.

Окружна сила на приводних колесах при русі автомобіля витрачається на подолання сил опору повітря, коченню, підйому і розгону автомобіля, тобто

$$P_e - P_w - P_\psi - P_j = 0; \quad (2.1)$$

Рішення рівняння руху автомобіля в загальному вигляді аналітичними методами практично неможливо, оскільки невідомі точні функціональні залежності, що зв'язують сили, що діють на автомобіль, з його швидкістю. Тому рівняння руху автомобіля (2.1) вирішують чисельними методами на

ЕОМ або приблизно, використовуючи графоаналітичні методи. Найбільшого поширення набули метод силового (тягового) балансу, метод потужностного балансу і метод динамічної характеристики.

2.2 Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

Швидкісна характеристика може бути побудована розрахунковим шляхом по емпіричних залежностях, або по даним, отриманим в результаті стендових випробувань двигуна. У даному проекті для отримання швидкісної характеристики ми використовуємо емпіричні залежності.

Побудова кривих швидкісної характеристики ведеться в інтервалі частот обертання колінчастого валу від $n_{min} = 600 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$ до $n_{max} = n_p = 2300 \text{ хв}^{-1}$ (для дизельного двигуна), тут n_p - частота обертання колінчастого валу при номінальній потужності.

Визначимо інтервал частот обертання колінчастого валу для двигуна. Мінімальні стійкі обороти автомобіля $n_p = 600 \dots 800$, а частота обертання колінчастого валу при номінальній потужності $n_N = 2300 \text{ хв}^{-1}$, тоді $n_{max} = n_N = 2300 \text{ хв}^{-1}$. Для зручності розрахунків приймемо $n_{min} = 600 \text{ хв}^{-1}$, а $n_{max} = 2300 \text{ хв}^{-1}$.

Розрахункові точки кривої ефективної потужності визначаються по формулі Лейдермана через кожних 340 хв^{-1} від n_{min} до n_{max} .

$$N_e^{\dot{n}} = N_{max}^{\dot{n}} \cdot \left[A_1 \cdot \frac{n_e}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 - \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right] \quad (2.2)$$

де N_e^{cm} - ефективна потужність (кВт);

N_{max}^{cm} - номінальна ефективна потужність (кВт);

n_e - частота обертання колінчастого валу при номінальній потужності (хв^{-1});

n_N - частота обертання колінчастого валу в шуканій точці швидкісної характеристики (хв^{-1}).

Проводимо обчислення значень ефективної потужності двигуна для вибраних частот обертання колінчастого валу. Результати обчислень зводимо в таблицю розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики (див. табл. 2.2).

Розрахункові точки кривої ефективного крутного моменту, визначаються через кожних 340 хв.⁻¹ від, n_{min} до n_{max} . Формула має вигляд:

$$M_{\dot{a}}^{no} = 9550 \frac{N_e}{n_e}, H \cdot i \quad (2.3)$$

де M_e^{cm} - ефективний крутний момент ($H \cdot i$).

Проводимо обчислення значень ефективного моменту двигуна, що крутить, для вибраних частот обертання колінчастого валу. Результати обчислень зводимо в таблицю розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики (див. табл. 3.2).

Умови роботи двигуна, встановленого на автомобілі, відрізняються від стендових: двигун працює з іншими впускними і випускними системами, на нім встановлюються додаткові механізми, на привід яких витрачається певна потужність, двигун працює при іншому температурному режимі. Тому потужність двигуна, встановленого на автомобілі, декілька менше потужності, отриманої при стендових випробуваннях.

При використанні для тягово-швидкісних розрахунків стендової зовнішньої швидкісної характеристики, значення потужності зменшують шляхом множення на коефіцієнт, залежний як від конструктивних особливостей і умов експлуатації автомобіля, так і від особливостей стандарту, по якому була знята зовнішня швидкісна характеристика.

Отже, потужність і момент, що передаються в трансмісію автомобіля, визначаються по виразах:

$$N_e = N_e^{cm} \cdot k_{cm} \quad (2.4)$$

$$M_e = M_e^{cm} \cdot k_{cm} \quad (2.5)$$

У наближених розрахунках можна приймати $k_{cm} = 0,93 \dots 0,96$.

Великі значення відносяться до двигунів легкових автомобілів.

Залежності потужностей, і моментів, двигуна, встановленого на автомобілі, від частоти обертання колінчастого валу, наносяться на графік зовнішньої швидкісної характеристики (рис. 2.2).

Результати розрахунків зводяться в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Показники зовнішньої швидкісної характеристики.

n_e , об/хв	N_e^{cm} , кВт	N_e , кВт	M_e^{cm} , Н·м	M_e , Н·м
600	56,7	52,7	902,5	839,3
940	93,1	86,5	945,4	879,2
1280	127,3	118,4	949,9	883,4
1620	155,4	144,5	916,0	851,9
1960	173,2	161,0	843,7	784,6
2300	176,5	164,2	732,9	681,6

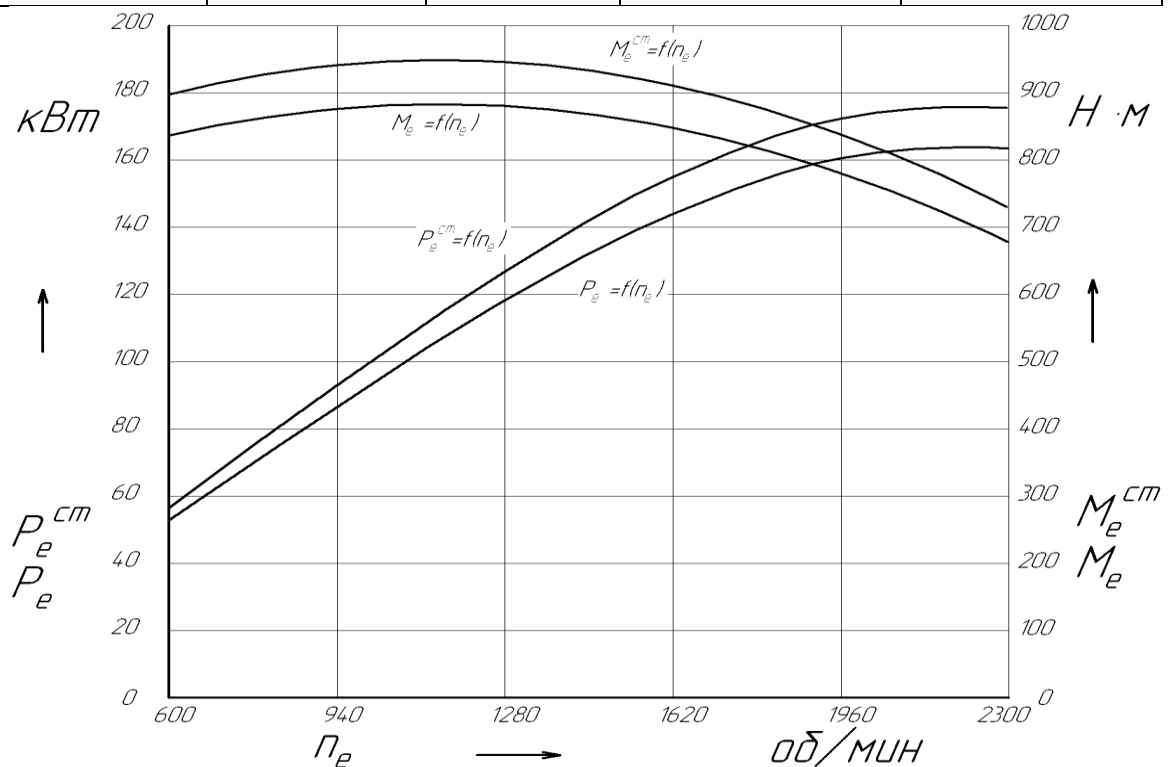


Рисунок 2.1 – Графік зовнішньої швидкісної характеристики.

2.3 Тягова характеристика автомобіля

2.3.1 Радіус кочення

Для визначення рушійної сили автомобіля необхідно знати величину радіусу кочення провідного колеса. Оскільки на колесах автомобіля

встановлені еластичні пневматичні шини, то величина радіусу кочення коліс під час руху змінюється.

Радіус кочення характеризує шлях, пройдений колесом за один оборот. Він відповідає радіусу такого фіктивного жорсткого колеса, яке за відсутності пробуксовування і прослизань має однакову з дійсним колесом кутову і поступальну швидкості кочення.

Радіус кочення колеса залежить від нормального навантаження, внутрішнього тиску повітря в шині, окружної сили, коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою і поступальної швидкості руху колеса при його коченні.

Розрахунковий радіус кочення обчислюється за формулою:

$$r_0 = (d / 2) + \Delta \cdot \hat{a} \quad (2.6)$$

де d – внутрішній діаметр шини;

\hat{a} – ширина профілю шини (ці розміри можна визначити по цифрах позначення шин);

Δ – коефіцієнт, що враховує співвідношення h/\hat{a} (h – висота і \hat{a} – ширина профілю шини)

$$r_c = (d / 2) + \Delta \cdot \hat{a} \cdot \lambda \quad (2.7)$$

де λ – коефіцієнт деформації шини;

$\lambda = 0,85 - 0,9$ для шин вантажних автомобілів, автобусів;

$\lambda = 0,8 - 0,85$ для радіальних шин легкових автомобілів.

Розрахунковий радіус кочення перевищує статичний на 2...3 % залежно від швидкості руху автомобіля (великі значення відносяться до швидкостей порядку 100 км/год).

2.3.2 Розрахунок кінематичної швидкості автомобіля по передачах

Кінематична швидкість автомобіля є функцією від кутової швидкості колінчастого валу двигуна, і визначається виразом:

$$V_i = \frac{n_e \cdot r_0}{9,55 \cdot u_{\hat{a}} \cdot u_i} \quad (2.8)$$

де V_i - кінематична швидкість автомобіля при русі на i -той передачі (м/с);

R_0 - радіус колеса (м);

u_2 - передавальне число головної передачі;

u_i - передавальне число i -той передачі.

Радіус колеса $r_0=0,471$ (м).

Передавальне число головної передачі $u_2 = 7,79$.

Передавальні числа кожної передачі коробки беремо також з табл. 1.1

Тепер проводимо розрахунок значень кінематичної швидкості автомобіля для кожної кутової швидкості колінчастого валу двигуна на кожній з передач.

Розрахунок проводимо по формулі (2.9). Результати зводимо в таблицю (див. табл. 2.2).

2.3.3 Коефіцієнт корисної дії трансмісії.

При визначенні коефіцієнта корисної дії (ККД) трансмісії враховують гідравлічні втрати, викликані збовтуванням і розбризкуванням масла в картерах коробки передач і провідного моста, і механічні втрати, пов'язані з тертям між зубами шестерень, в підшипникових вузлах і в карданних шарнірах.

У загальному випадку ККД трансмісії визначається по формулі:

$$\eta_m = \eta_{\dot{\alpha}} \cdot \eta_{\dot{\epsilon}} \cdot \eta_{\dot{\epsilon}} \cdot \eta_{\dot{\alpha}} \quad (2.9)$$

де $\eta_{зч}$, $\eta_{кп}$, $\eta_{к}$, $\eta_{г}$ – ККД відповідно зчеплення, коробки передач, карданної передачі і головної передачі відповідно.

У розрахунках приймають: $\eta_{зч} = 0,980 \dots 0,985$; $\eta_{кп} = 0,85$; $\eta_{к} = 0,960 \dots 0,975$; $\eta_{г} \eta_{г} = 0,990$.

При роботі трансмісії з повним навантаженням, тобто при роботі двигуна по зовнішній швидкісній характеристиці, ККД трансмісії має наступні значення: легкові автомобілі $\eta_{г} - 0,90 \dots 0,92$;

вантажні автомобілі і автобуси $\eta_{г} - 0,83 \dots 0,86$;

вантажні автомобілі підвищеної прохідності η_{δ} - 0,80 ... 0,85.

Великі значення ККД трансмісії відносяться до прямої передачі в коробці передач автомобіля.

Приймаємо $\eta_{\delta} = 0,85$.

2.3.4 Розрахунок дотичної сили тяги на приводних колесах автомобіля

Дотична сила тяги на провідних колесах автомобіля визначається виразом, Н:

$$F_e = \frac{M_e \cdot u_i \cdot u_{\lambda} \cdot \eta_{\delta}}{r_0} \quad (2.10)$$

де η_{δ} - ККД трансмісії (приймаємо $\eta_{\delta} = 0,85$).

Проводимо розрахунок значень дотичної сили тяги на провідних колесах автомобіля по формулі (2.13) для кожної з передач. Результати зводимо в таблицю 2.3. На графіці будемо криві залежно від швидкості (рис 2.2)

Таблиця 2.3 – Кінематична швидкість і дотична сила тяги.

n_e , об/хв	1-передача		2-передача		3-передача		4-передача	
	V_1 , км/год	$F_{k,H}$	V_2 , км/ч	$F_{k,H}$	V_3 , км/ч	$F_{k,H}$	V_4 , км/ч	$F_{k,H}$
600	6,971	23150	9,829	16417,6	13,663	11811,2	19,243	8386
940	10,921	24249,7	15,399	17197,5	21,405	12372,3	30,148	8784,3
1280	14,871	24366,9	20,969	17280,6	29,147	12432,1	41,052	8826,8
1620	18,821	23495,9	26,539	16662,9	36,889	11987,7	51,957	8511,3
1960	22,771	21641	32,109	15347,4	44,632	11041,3	62,862	7839,3
2300	26,721	18798,9	37,679	13331,9	52,374	9591,3	73,766	6809,8

2.3.5 Сила опору дороги

Сила опору коченню коліс автомобіля при русі автомобіля по горизонтальній дорозі визначається в Н по формулі:

$$P_{\alpha} = G \cdot f \quad (2.11)$$

де G - сила тяжіння автомобіля.

Коефіцієнт опору коченню визначається експериментально і, в основному, залежить від матеріалу і конструкції шин, тиску повітря в них, твердості і стану дорожнього покриття, опори підвіски деформаціям при перекочуванні коліс через нерівності дороги і режиму руху автомобіля.

Коефіцієнт змінюється в широких межах: від $f = 0,007 \dots 0,012$ на асфальтобетонному або цементобетонном покритті у хорошому стані до $f = 0,15 \dots 0,30$ на сухому піску.

Коефіцієнт при збільшенні швидкості автомобіля зростає. При номінальних навантаженнях на колесо і тиску повітря в шині зростання коефіцієнта стає помітним при $V = 15 \dots 20$ м/с (54...72 км/год).

Значення коефіцієнта опору коченню залежно від швидкості руху автомобіля може бути визначено по емпіричній формулі:

$$f = f_0 + k_f \cdot V^2, \quad (2.12)$$

де f_0 – коефіцієнт опору коченню при невеликій швидкості;

V – швидкість руху автомобіля.

У тих випадках, коли дійсне значення k_f невідоме, рекомендується приймати $k_f = 7 \cdot 10^{-6}$.

2.3.6 Сила опору повітря.

Сила опору повітря в Н розраховується по формулі:

$$P_w = 0,5 \cdot c_x \cdot \rho \cdot F \cdot V^2 \quad (2.13)$$

де c_x – коефіцієнт аеродинамічного (лобового) опору;

ρ – щільність повітря (при температурі 15°C і барометричному тиску 1000 Па приймають $c = 1,225$ кг/м³);

F – лобова площа, площа проекції автомобіля, що є, на площину перпендикулярну до його подовжньої осі;

V – швидкість руху автомобіля.

Значення заносимо в табл. 2.4.

Криву сили опору повітря руху автомобіля будують, відкладаючи значення цієї сили вгору від значень сили, для відповідних швидкостей руху автомобіля (рис. 2.2). Крива сумарного опору визначає величину окружної сили, необхідної для руху автомобіля з постійною швидкістю $V = \text{const}$.

Таблиця 2.4 – Сила опору дороги і сила опору повітря.

V , км/год	P_{ψ} , Н	P_w , Н	P_w+P_{ψ} ,Н	f
1	2	3	4	5
0	2180,8	0	2180,8	0,009
5	2182,7	9,8	2192,5	0,009
10	2188,6	39,4	2228	0,009
15	2198,4	88,5	2286,9	0,009
20	2212,2	157,4	2369,6	0,009
25	2229,8	245,9	2475,7	0,009
30	2251,4	354,2	2605,6	0,009
35	2276,9	482,1	2759	0,009
40	2306,4	629,6	2936	0,01
45	2339,7	796,9	3136,6	0,01
50	2377	983,8	3360,8	0,01
55	2418,2	1190,4	3608,6	0,01
60	2463,4	1416,7	3880,1	0,01
65	2512,5	1662,6	4175,1	0,01
70	2565,4	1928,2	4493,6	0,011
75	2622,4	2213,5	4835,9	0,011
80	2683,2	2518,5	5201,7	0,011

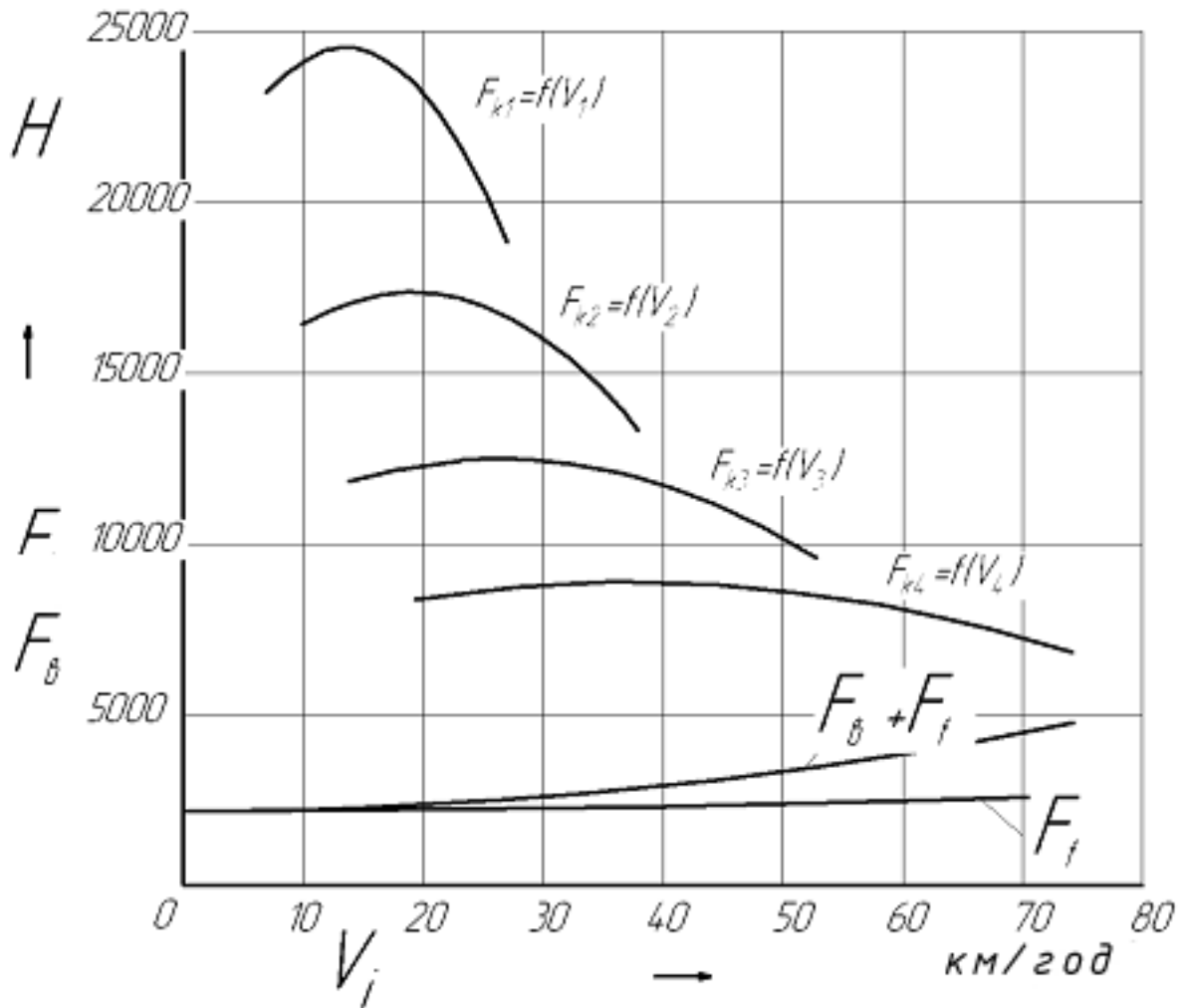


Рисунок 2.2 - Тягова характеристика автомобіля.

2.4 Потужнісна характеристика автомобіля

Розраховуємо потужність, що підводиться від двигуна до приводних коліс автомобіля:

$$P_{\dot{e}} = P_f + P_{\alpha} + P_w \quad (2.14)$$

Заносимо дані у відповідні рядки табл. 2.4 і будуємо залежність для (рис. 2.3).

Розраховуємо потужності сили повітря і сили опору дорожнього покриття, що витрачаються на подолання:

$$P_{\dot{a}} = F_w \cdot V_i \quad (2.15)$$

$$P_{\Psi} = F_{\Psi} \cdot V_i \quad (2.16)$$

Заносимо дані у відповідні рядки табл. 2.4 і будуємо залежності, для рис. 2.3.

Відношення потужності, необхідної для рівномірного руху автомобіля до потужності, яку розвиває автомобіль при тій же швидкості і повній подачі палива називають ступенем використання потужності двигуна і позначають K_n .

$$K_n = \frac{P_e + P_{\psi}}{P_k} \quad (2.17)$$

Значення ступеня використання потужності двигуна K_n також заноситься в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Показники потужнісної характеристики.

V , км/год	N_e , кВт	P_k , кВт	P_f , кВт	P_E , кВт	K_n
600	19,2	52,73	56,70	48,195	11,8
940	30,1	86,54	93,05	79,0925	18,9
1280	41,1	118,41	127,32	108,222	26,4
1620	52,0	144,50	155,38	132,073	34,5
1960	62,9	161,03	173,15	147,1775	43,5
2300	73,8	164,15	176,50	150,025	53,4

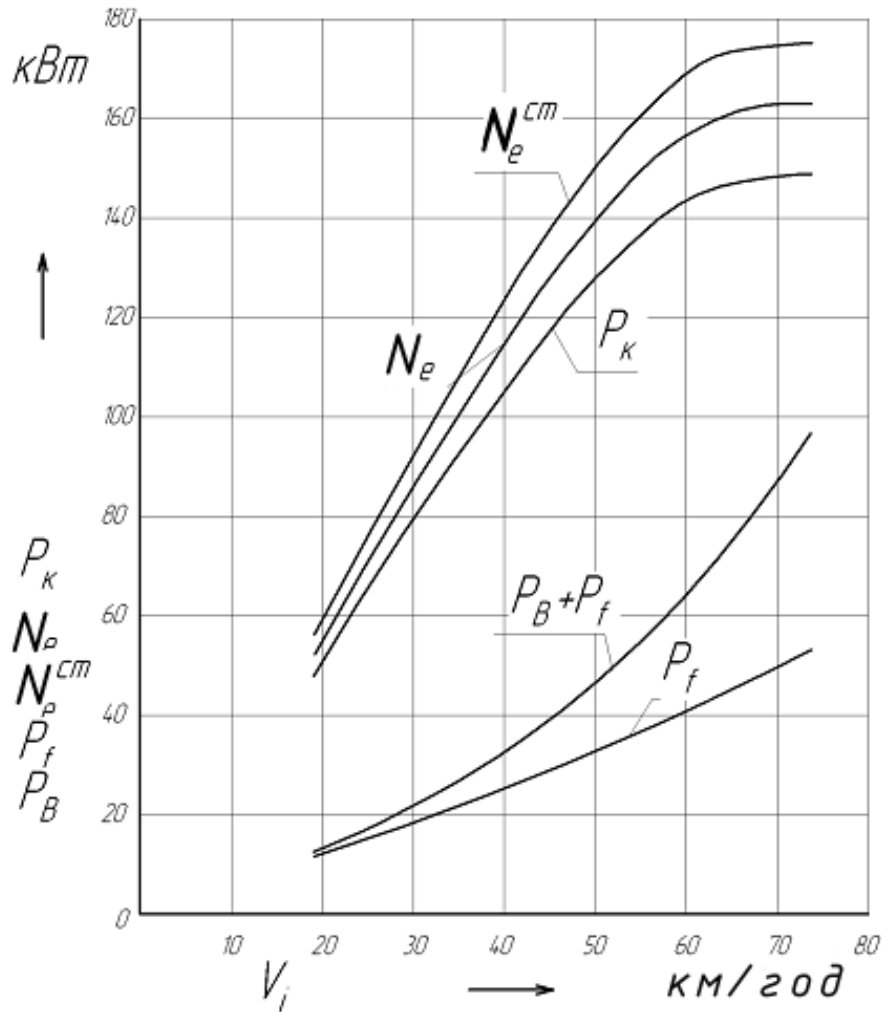


Рисунок 2.3 – Графік потужнісної характеристики.

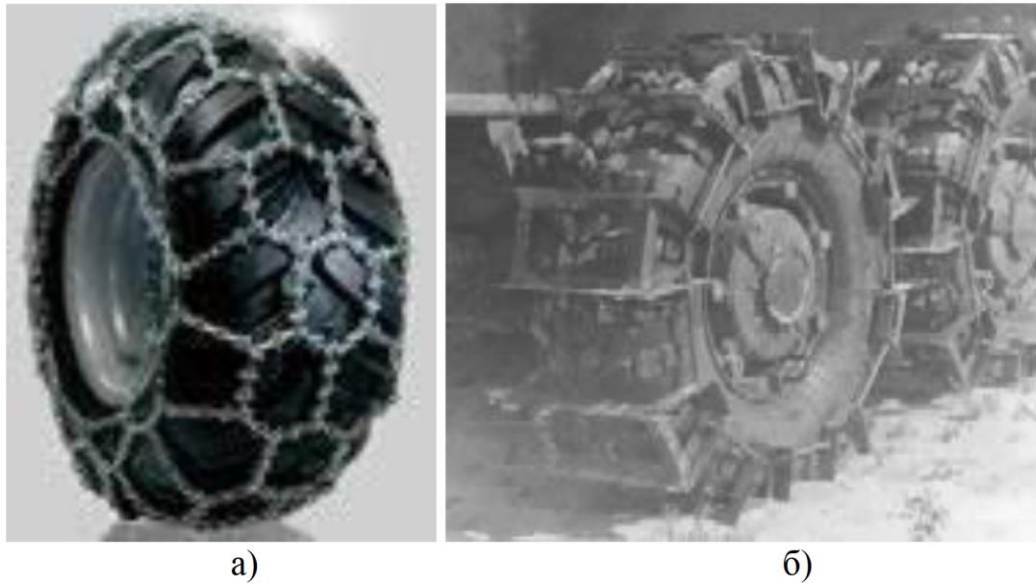
Результатом виконання розділу стало виконання тягового розрахунку повнопривідного автомобіля. Розраховано потужність і крутний момент двигуна на різних обертах. Проведено розрахунок динаміки розгону і прискорень, виходячи з передавальних чисел коробки передач і головної передачі. Проведено розрахунок силового балансу і визначено максимальну швидкість транспортного засобу. Виходячи з визначених раніше параметрів, визначено шлях і час розгону. Розраховано паливну економічність транспортного засобу. Результати тягового розрахунку у вигляді графіків винесені на аркуш графічної частини і відображені в додатку А розрахунково-пояснювальної записки.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ХОДОВОЇ СИСТЕМИ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ ДЛЯ ПОВНОПРИВІДНОГО АВТОМОБІЛЯ

3.1 Сучасні методи підвищення прохідності колісних автомобілів

У даному розділі розглянуто різні шляхи збільшення прохідності колісних автомобілів. Існує велика кількість різноманітних прийомів і методів, спрямованих на збільшення прохідності за рахунок зниження питомого тиску на ґрунт, про що говорилося раніше, при проведенні аналізу в першому розділі дипломного проекту. Головним чином, огляд проводиться для колісних транспортних засобів, прохідність яких може бути збільшена за рахунок застосування різних конструкцій. Підвищення прохідності колісних машин при русі по опорних поверхнях з низькою несучою здатністю може бути досягнуто монтажем на штатні пневмоколісні рушії ланцюгів проти ковзання, браслетів і скоб, протибуксувальних колодок, розширювачів різних конструкцій, додаткових (подвійних) коліс, установкою спеціальних шин низького тиску або інших типів рушіїв замість штатних пневмоколісних рушіїв тощо.

В даний час найширше поширення отримали ланцюги проти ковзання різних конструкцій, включаючи дрібноланкові, тракові та пліцеві ланцюги (рисунок 10). Вони істотно збільшують зчеплення колеса з опорною поверхнею при русі по ґрунтових, обмерзлих і засніжених дорогах. При цьому сила тяги, що реалізується рушієм, зростає на 24...66% [16].



а) дрібноланкові ланцюги проти ковзання; б) пліцеві ланцюги проти ковзання конструкції НГТУ

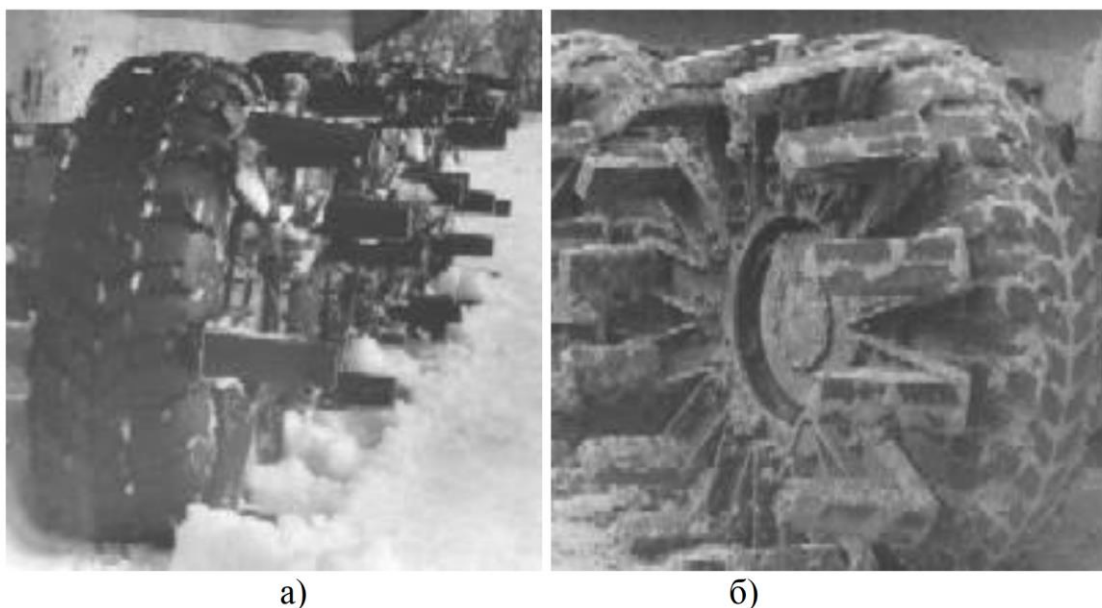
Рисунок 10 – Різні конструкції ланцюгів проти ковзання

Дещо інша картина спостерігається при експлуатації колісних машин з ланцюгами проти ковзання в умовах сніжної цілини.

Експериментальні дослідження показали, що при висоті снігу більше $0,6$ радіуса колеса (R_k), поряд з приростом сили тяги в $1,3...1,5$ рази має місце процес інтенсивного збільшення глибини колії і зростання сили опору руху в $1,6...1,8$ рази. Відчутний ефект підвищення прохідності спостерігається лише при глибині снігу до $0,5 \cdot R_k$, при цьому відбувається підвищення тягово-зчіпних властивостей машини (сила тяги збільшується в середньому на 30%) і не істотне зростання опору руху (сила опору зростає на $10...15\%$) [18]. Одним із способів підвищення прохідності колісних машин є застосування дискретних розширювачів (рисунок 11).

Експериментальна перевірка ефективності цих розширювачів показала, що установка на колеса машини типу 8×8 семи розширювачів не дає ефекту.

Збільшення кількості розширювачів до 14 забезпечує зниження сили опору руху на 30% , приріст сили тяги – на 18% . При цьому висота снігового покриву, що долається, збільшилася на 25% [7].



а) 7 розширювачів; б) 14 розширювачів

Рисунок 11 – Дискретні розширювачі конструкції

Застосування стрічкового розширювача (рисунок 12), що представляє собою дві гумово-тканинні стрічки, з'єднані металевими ґрунтозачепами і одягаються аналогічно ланцюгам проти ковзання, збільшує тягові зусилля колісної машини на сніжній цілині на 20...25% і знижує опір руху на 30%. Однак застосування розширювачів збільшує габаритну ширину машини, а при поворотах ці розширювачі мають велику схильність до спадання [4].

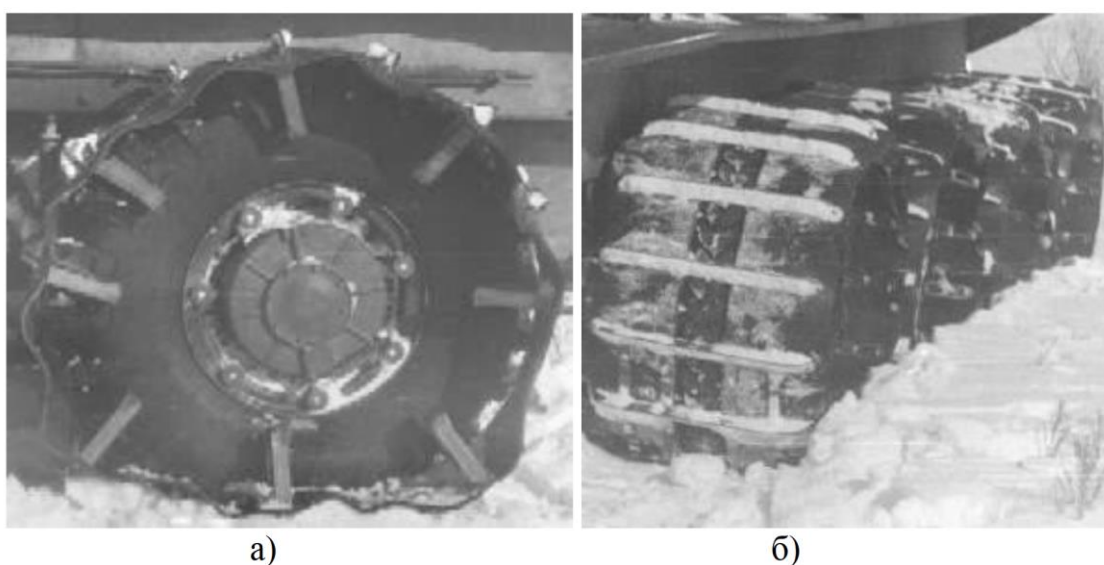


Рисунок 12 - Стрічкові розширювачі на ходовому макеті ГПШ-3901: а) вид збоку; б) вид спереду

Також можливе збільшення прохідності транспортного засобу шляхом установки на ведучу вісь здвоєних коліс, як показано на рисунку 13.

З огляду на викладене, подальшим напрямком підвищення прохідності колісних машин стало застосування високоеластичних пневмоколісних рушіїв наднизького тиску на базі існуючих широкопрофільних шин. Останнє спрощує створення нових конструкцій шин і дозволяє використовувати діюче обладнання шинних заводів [24]

Приклади колісних машин на шинах наднизького тиску наведені на рисунку 14.



Рисунок 13 – Всюдихідний транспортний засіб

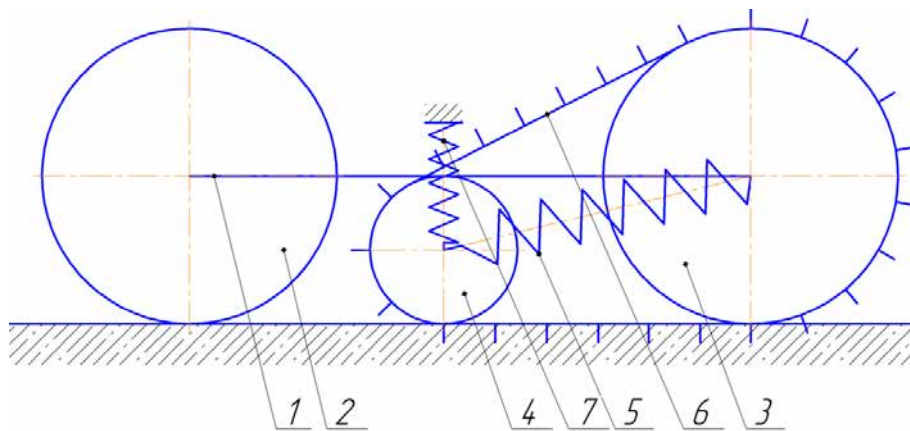
Транспортні засоби на пневматичних шинах низького тиску мають хороші показники прохідності, головним чином за рахунок того, що розвинена поверхня шини знижує питомий тиск на ґрунт. Однак, подібні рушії мають низьку стійкість за рахунок високої еластичності боковин шини, що викликає підвищену розгойдливість при русі по нерівностях на високій швидкості. Крім цього, колеса мають більший радіус в порівнянні зі штатними, що призводить до підйому центру ваги і збільшення ризику перекидання автомобіля.

3.2 Огляд конструкцій гусеничних рушіїв

При розробці конструкції гусеничного рушія зробимо огляд наявних конструкторських рішень в цій галузі техніки. Головним чином, проводиться

огляд різних технічних рішень в області застосування гусеничних рушіїв на колісній техніці. Одним з найпростіших і легко виготовлюваних є напівгусеничний хід, зображений на рисунку 15. Конструкція досить проста і практична. Додатковим елементом в конструкції автомобіля є колесо 4 з натягувачем 5 і конструкцією підвіски 7. У даному випадку на заднє велике 3 колесо і на мале 4 надягається рушій, найчастіше гумовий, можна також і ланцюговий. При обертанні заднього ведучого моста обертаються колеса 3. Рушій також набуває переміщення.

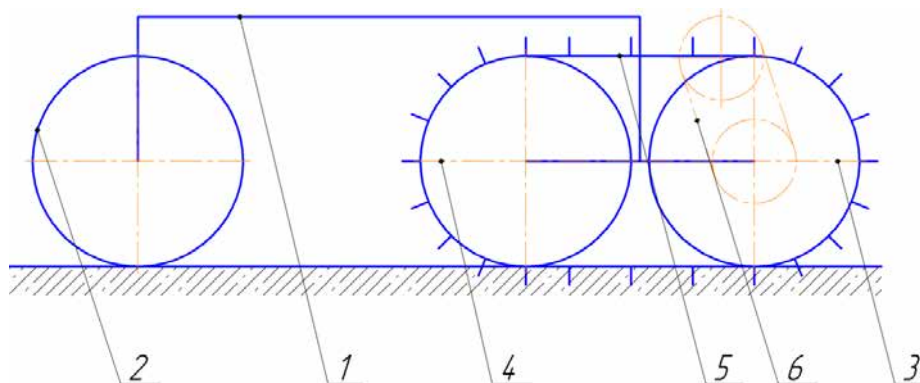
Мінус у даній конструкції один – низька надійність [7].



1 – шасі автомобіля; 2 – переднє колесо; 3 – заднє колесо; 4 – колесо мале; 5 – натягувач рушія; 6 – рушій; 7 – підвіска малого колеса

Рисунок 15 – Напівгусеничний хід з гумовим рушієм

Наступний тип напівгусеничного ходу підходить тільки для автомобілів, що мають 3 мости (рисунки 16).



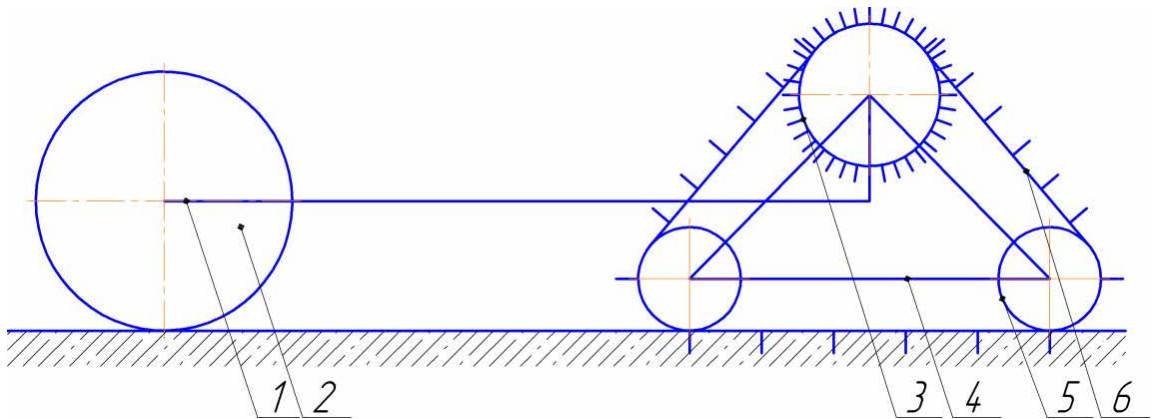
1 – шасі автомобіля; 2 – переднє колесо; 3 – ведуче колесо; 4 – заднє колесо; 5 – рушій; 6 – передача

Рисунок 16 – Напівгусеничний хід двомостового

Рушій 5 в даній схемі (рисунок 17) одягається з натягом на два сусідні колеса. Рушій в даній схемі також повинен бути еластичним.

При обертанні ведучого колеса 3 в роботу втягується і рушій 5.

Недоліки даної конструкції наступні: неможливість регулювання натягу рушія (регулюється тиском в шинах коліс 3 і 4); низька надійність. [7] Наступна конструкція напівгусеничного ходу передбачає використання, як еластичних рушіїв, так і тракових ланцюгів (рисунок 17).



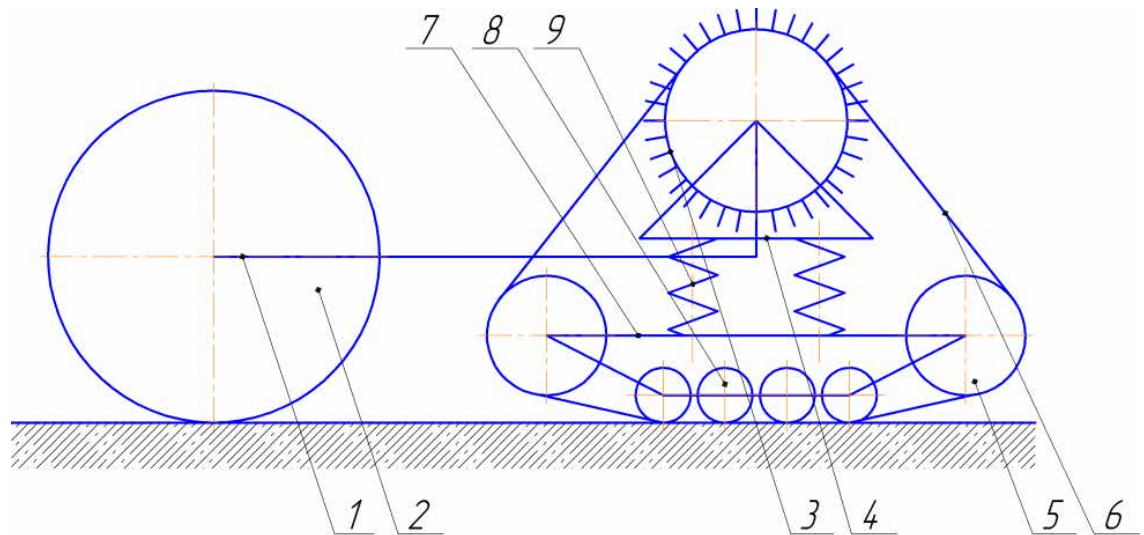
1 – шасі автомобіля; 2 – переднє колесо; 3 – ведуче колесо; 4 – трикутник; 5 – ведене колесо; 6 – рушій

Рисунок 17 – Напівгусеничний хід з невідвіреною підвіскою

У даній конструкції (рисунок 17) трикутник 4 може обертатися навколо осі колеса 3, що в свою чергу підвищує прохідність автомобіля.

Дана конструкція напівгусеничного ходу передбачає використання, як еластичних рушіїв, так і тракових ланцюгів. Натяг рушія може здійснюватися розведенням ведених коліс 5 на трикутнику 4.

Мінусом даної конструкції є слабка плавність ходу через відсутність підвіски. [7] Наступна схема (рисунок 18) виключає недоліки раніше розглянутої конструкції (рисунок 17).



1 – шасі автомобіля; 2 – переднє колесо; 3 – ведуче колесо; 4 – трикутник;
5 – ведене колесо; 6 – рушій; 7 – балка; 8 – ролик; 9 – пружина

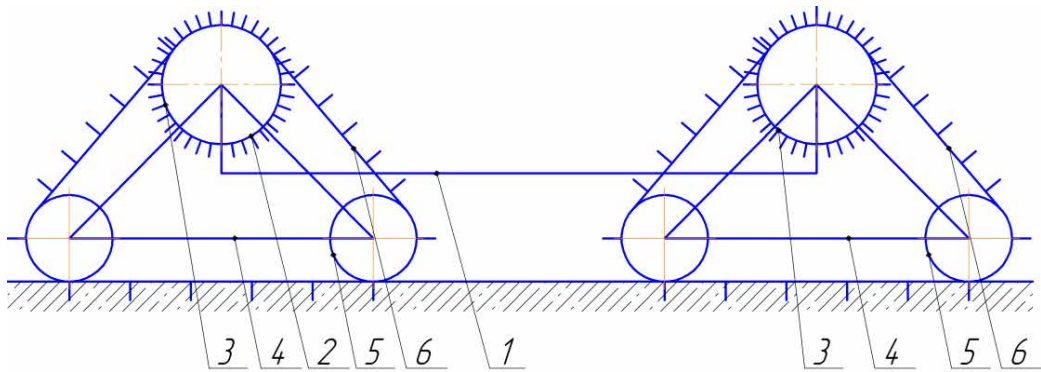
Рисунок 18 – Напівгусеничний хід з підресореною підвіскою

Підресорення здійснюється пружинами 9 за допомогою балки 7 і роликів 8. Плавність ходу при цьому значно поліпшується. Дана конструкція напівгусеничного ходу передбачає використання як еластичних рушіїв, так і тракових ланцюгів. Натяг рушія може здійснюватися розведенням ведених коліс 5 на балці 7 [7].

У даній конструкції (рисунок 19) трикутник 4 може обертатися навколо осі колеса 3, що в свою чергу підвищує прохідність автомобіля. «Однією з наступних перспективних на сьогоднішній день конструкцій гусеничного ходу є схема, зображена на рисунку 19.

У даній конструкції (рисунок 19) трикутники 4 можуть обертатися навколо осі коліс 2 і 3, що в свою чергу підвищує прохідність автомобіля. Дана конструкція гусеничного ходу передбачає використання, як еластичних рушіїв, так і тракових ланцюгів.

Натяг рушія може здійснюватися розведенням ведених коліс 5 на трикутнику 4. Мінусом даної конструкції є слабка плавність ходу через відсутність підвіски. Також дана схема можлива тільки для повнопривідної трансмісії автомобіля. [7].



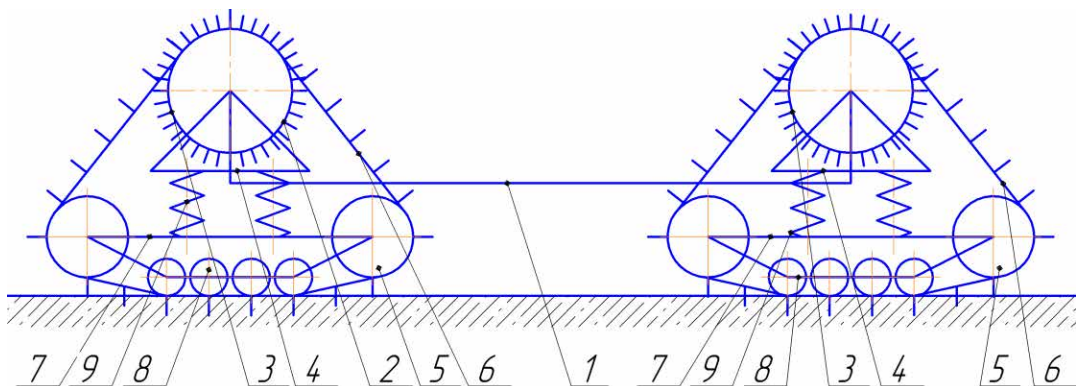
1 – шасі автомобіля; 2 – переднє ведуче колесо; 3 – заднє ведуче колесо;
4 – трикутники; 5 – ведені колеса; 6 – рушії

Рисунок 19 – Гусеничний хід з непідресореною підвіскою

Для усунення недоліків схеми (рисунок 19) ми пропонуємо наступну конструкцію (рисунок 20). Одним з основних недоліків, які ми усунули, є: підресорювання здійснюється пружинами 9 за допомогою балки 7 і роликів 8. Плавність ходу при цьому значно поліпшується. Дана конструкція гусеничного ходу передбачає використання як еластичних рушіїв, так і тракових ланцюгів.

Натяг рушіїв може здійснюватися розведенням ведених коліс 5 на балці 7.

У даній конструкції (рисунок 20) трикутники 4 можуть обертатися навколо осей коліс 2 і 3, що в свою чергу підвищує прохідність автомобіля. [7] Як показали дослідження, конструкція, зображена на рисунку 3.14, є найбільш перспективною, її розробкою ми займемося далі.



1 – шасі автомобіля; 2 – переднє ведуче колесо; 3 – заднє ведуче колесо;
4 – трикутники; 5 – ведені колеса; 6 – рушії; 7 – балки; 8 – ролики; 9 – пружини

Рисунок 20 – Гусеничний хід з підресореною підвіскою

Подібні рушії знаходять своє застосування на різних видах сучасних автомобілів, що показано на рисунку 21. Опосередковано це свідчить про правильно обраний напрямок розробки, оскільки даний рушій є універсальним і може застосовуватися на різних типах техніки, що і показано на рисунку.

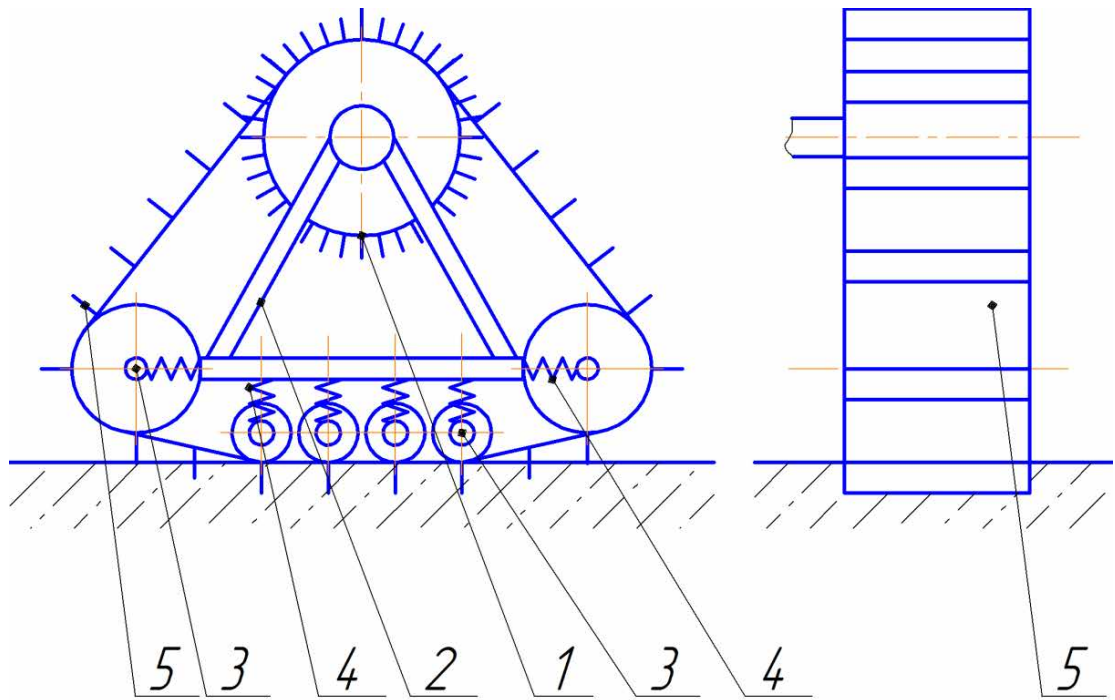
Головним чином, подібний рушій знаходить своє застосування для обладнання легкових автомобілів підвищеної прохідності для пересування по сніжній цілині в зимовий період.



Рисунок 21 – Встановлення гусеничних рушіїв на різні моделі серійних автомобілів

3.3 Розробка структурної схеми гусеничного рушія для повнопривідного автомобіля

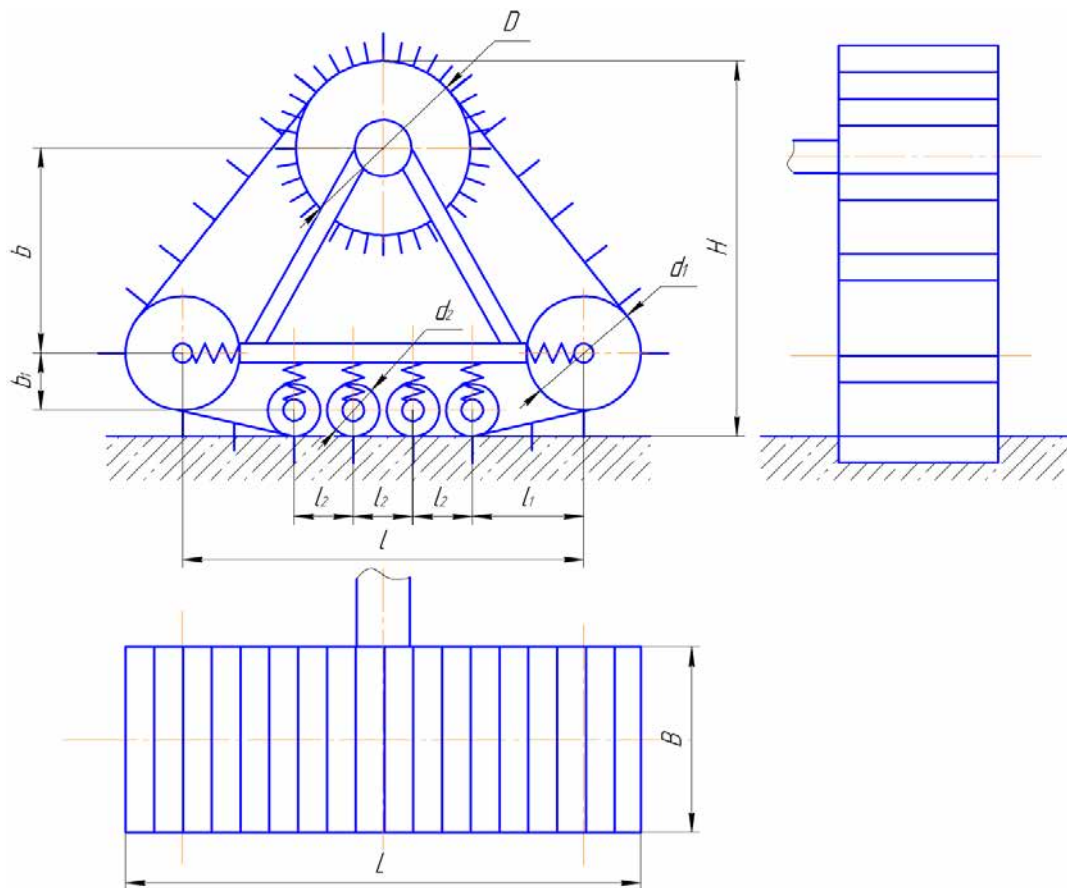
Проведені раніше нами дослідження показали, що найбільш перспективною схемою гусеничних рушіїв є схема, зображена на рисунку 22. Відмінність нашої конструкції гусеничного ходу лише в тому, що кожен ролик буде підпружинюватися окремо, тим самим підвищується плавність ходу автомобіля (рисунок 23) [18].



1 – ведуче колесо; 2 – трикутник; 3 – пружні ролики; 4 – пружини; 5 – рушій (гусениця)

Рисунок 22 – Схема розроблюваного гусеничного рушія

Дана структурна схема передбачає використання наступних елементів: 1 – колесо ведуче; 2 – трикутник; 3 – пружні ролики; 4 – пружини; 5 – рушій (гусениця). Відмінність нашої схеми в тому, що кожен ролик пружний окремо і конструкція симетрична.



L – довжина; B – ширина; H – висота; D – діаметр ведучого колеса; l – відстань між веденими колесами; l_1 – відстань між веденим колесом і першим роликом; l_2 – відстань між сусідніми роликами; d_1 – діаметр веденого колеса; d_2 – діаметр ролика; b – відстань між осями ведучого і веденого коліс по вертикалі; b_1 – відстань між осями ведених коліс і роликів по вертикалі

Рисунок 23 – Структурна схема гусеничного ходу для визначення основних геометричних параметрів

Гусеничний хід буде монтуватися на місце чотирьох коліс.

Конструкція має такі параметри: L – довжина; B – ширина; H – висота; D – діаметр ведучого колеса; l – відстань між веденими колесами; l_1 – відстань між веденим колесом і першим роликом; l_2 – відстань між сусідніми роликами; d_1 – діаметр веденого колеса; d_2 – діаметр ролика; b – відстань між осями ведучого і веденого коліс по вертикалі; b_1 – відстань між осями ведених коліс і роликів по вертикалі.

За діаметром посадочного місця 45,0 мм і характером навантаження вибираємо радіальні кулькові підшипники 7000107 ГОСТ 8338-75, діаметр посадочного місця 45,0 мм. $C_r = 12,40$ кН, $C_{or} = 6,95$ кН [13].

Результатом виконання розділу став аналіз конструкції різних типів гусеничних рушіїв. Виявлено переваги та недоліки кожної з конструкцій. На підставі проведеного аналізу було обрано гусеничну схему з підресореними масами, що встановлюються на осі ведучих і ведених коліс. Відповідно до обраної конструкторської схеми була визначена розрахункова схема найбільш навантажених вузлів. Виконано розрахунок осей котків, як тих, що сприймають навантаження від ваги автомобіля і зусиль, що передаються дорожніми нерівностями.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

4.1 Характеристика об'єкта проектування (технологічного процесу складальних робіт)

У розділі безпеки та охорони праці розглядається технологічний процес проведення складальних робіт. В якості технологічного процесу приймається складання та монтаж гусеничних рушіїв, розроблених в конструкторській частині. Роботи виконуються на складальному майданчику ділянки монтажу. Складання ведеться на спеціалізованому складальному стапелі. У роботі використовується спеціалізований інструмент і пристосування, а також пресове та підйомне обладнання. Все вищеописане вимагає умов з охорони праці, оскільки їх використання може спричинити ризик отримання травми або втрату працездатності при порушенні правил і вимог до проведення робіт.

4.2 Ідентифікація професійних ризиків

Ідентифікація професійних ризиків проводиться відповідно до нормативних документів та державних стандартів. Згідно з ДСТУ 12.0.003-2015 ССБТ «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Класифікація» можна виділити наступні виробничі ризики, характерні для даної ділянки.

Шкідливі виробничі фактори за впливом на організм працюючої людини, на ділянці можна відзначити:

- фактори, що призводять до хронічних захворювань, в тому числі ті, що посилюють вже наявні захворювання, за рахунок тривалого відносно низькоінтенсивного впливу;

- фактори, що призводять до гострих захворювань (отруєнь, уражень) або травм за рахунок короткочасного відносно високоінтенсивного впливу [6].

Небезпечні виробничі фактори за впливом на організм працюючої людини, на ділянці можна відзначити:

- фактори, що призводять до смертельних травм (летального результату, смерті);

- фактори, що призводять до нелетальних травм.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером свого походження, на дільниці можна відзначити:

- фактори, що породжуються фізичними властивостями і характеристиками стану матеріальних об'єктів виробничого середовища;

- фактори, що породжуються хімічними і фізико-хімічними властивостями використовуваних або знаходяться в робочій зоні речовин і матеріалів;

- фактори, що породжуються соціально-економічними та організаційно-управлінськими умовами здійснення трудової діяльності (погана організація робіт, низька культура безпеки тощо);

- фактори, що породжуються психічними та фізіологічними властивостями та особливостями людського організму та особистості працівника (погане самопочуття працівника, перебування працівника в стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння або абстиненції, втрата концентрації уваги працівниками тощо) [8].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх зміни в часі поділяють, на дільниці можна відзначити:

- на постійні, в тому числі квазіпостійні;

- змінні, в тому числі періодичні;

- імпульсні, в тому числі регулярні та випадкові [6].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером їх дії в часі поділяють на:

- постійно діючі;

- періодично діючі, в тому числі інтермітуючі;

- аперіодично діючі, в тому числі стохастичні.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за безпосередністю свого впливу поділяють:

- на такі, що безпосередньо впливають на організм зайнятої людиною;
- опосередковано впливають на організм зайнятої людиною через інші породжувані ними і безпосередньо впливають на організм зайнятої людиною фактори.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори виробничого середовища за джерелом свого походження поділяють:

- на природні (включаючи кліматичні та погодні умови на робочому місці);
- техніко-технологічні;
- ергономічні (тобто пов'язані з фізіологією організму людини).

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори виробничого середовища за характером їх впливу на організм працюючої людини поділяють:

- на фактори, вплив яких має фізичну природу;
- фактори, вплив яких має хімічну природу;
- фактори, вплив яких має біологічну природу. [17].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають властивості фізичного впливу на організм працюючої людини, поділяють на такі типові групи:

- небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з силами та енергією механічного руху, у тому числі в полі тяжіння:
 - дія сили тяжіння в тих випадках, коли вона може спричинити падіння працівника, що стоїть на опорній поверхні, на цю ж опорну поверхню;
 - дія сили тяжіння в тих випадках, коли вона може спричинити падіння працівника з висоти;
- нерухомі ріжучі, колючі, обдираючі, розриваючі (наприклад, гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів і обладнання) частини твердих об'єктів, що впливають на працівника при контакті з ним, а також жала комах, зуби, кігті, шипи та інші частини тіла живих організмів, що використовуються ними для захисту або нападу, включаючи укуси;

- небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з механічними коливаннями твердих тіл та їх поверхонь і характеризуються підвищеним рівнем загальної вібрації; підвищеним рівнем локальної вібрації;

- небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з акустичними коливаннями в виробничому середовищі і характеризуються підвищеним рівнем та іншими несприятливими характеристиками шуму; підвищеним рівнем інфразвукових коливань (інфразвуку);

- відсутність або недостатність необхідного природного освітлення;

- відсутність або недоліки необхідного штучного освітлення;

- підвищена яскравість світла;

- знижена світлова та колірна контрастність;

- пряма та відбита блискучість;

- підвищена пульсація світлового потоку [6].

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають властивості психофізіологічного впливу на організм людини, поділяють:

- на фізичні перевантаження, пов'язані з важкістю трудового процесу;

- нервово-психічні перевантаження, пов'язані з напруженістю трудового процесу.

Фізичні перевантаження поділяють:

- на статичні, пов'язані з робочою позою;

- динамічні навантаження, пов'язані з масою вантажу, що піднімається і переміщується вручну;

- динамічні навантаження, пов'язані з повторенням стереотипних робочих рухів.

Фізичні перевантаження організму працюючого, пов'язані з важкістю трудового процесу, з метою оцінки умов праці, розробки та прийняття заходів щодо їх поліпшення характеризуються такими показниками, як:

- фізичне динамічне навантаження;

- маса вантажу, що піднімається і переміщується вручну;

- стереотипні робочі рухи; - статичне навантаження;

- робоча поза;
- нахили корпусу тіла працівника;
- переміщення в просторі.

Нервово-психічні перевантаження поділяють:

- монотонність праці, що викликає монотонність;
- емоційні перевантаження [6].

Виявлені професійні ризики є характерними для складального виробництва та тих умов праці, в яких виконується робота. Отже, зазначені ризики є в застосуванні засобів і методів охорони праці для нейтралізації негативних наслідків.

4.3 Забезпечення екологічної безпеки технічного об'єкта

Розглянута ділянка не відноситься до категорії виробництв, що представляють підвищену антропогенну небезпеку для навколишнього середовища. Проте ділянка, як і будь-яке виробництво, утворює відходи, що виникають у результаті своєї діяльності, які можуть виступати в ролі забруднювачів, тому потрібно їх визначення. До забруднюючих відходів слід віднести наступне:

- відходи складального виробництва кузовів (обрізки листового металу, обрізки деревини, обрізки пластику);
- змив з рук робітників мастильних матеріалів і розчинників;
- металевий і абразивний пил, окалина, що утворюються в результаті обробки елементів кузова;
- ганчір'я та обтиральні матеріали, що залишаються після протирання деталей і очищення рук працівників складальної ділянки.

В якості заходів, що забезпечують вимоги екологічної безпеки, приймаються наступні:

- утилізація відходів відповідно до класів небезпеки;
- очищення стічних вод перед зливом їх в каналізаційний колектор від залишків ПММ і розчинників;

- дотримання вимог, що пред'являються до розміщення, будівництва та експлуатації потенційно небезпечних об'єктів, а також до здійснення потенційно небезпечної діяльності [9]

У розділі було проведено аналіз діяльності на складальній ділянці підприємства, що здійснює складання гусеничних рушіїв для автомобіля. Виявлено шкідливі та небезпечні виробничі фактори, проведено їх класифікацію. Відповідно до виявлених факторів розроблено заходи щодо зниження їх впливу на працівників або їх повної нейтралізації.

Розроблено заходи щодо зниження пожежної безпеки відповідно до виявлених класів пожежної безпеки.

Розроблено заходи щодо зниження антропогенного впливу підприємства на навколишнє середовище.

ВИСНОВОК

Результати досягнення поставлених завдань у рамках виконання випускної кваліфікаційної роботи відображені у пов'язаних між собою розділах розрахунково-пояснювальної записки та в додатках.

У першому розділі дипломного проекту проведено аналіз різних факторів, що впливають на прохідність транспортного засобу. Виявлено як геометричні параметри, так і фактори, пов'язані з особливістю конструкції ходової частини транспортного засобу. Зокрема, визначено, що на прохідність транспортного засобу значний вплив має геометрична прохідність. Однак, при русі по нестабільних ґрунтах можливе провалювання транспортного засобу, в результаті чого величина кліренсу нівелюється глибиною провалювання. У разі повного провалювання і опори транспортного засобу днищем на ґрунт, транспортний засіб втрачає прохідність повністю, оскільки втрачається зчеплення рушії з ґрунтом. Таким чином, можна зробити висновок, що одним із способів підвищення прохідності буде зниження питомого тиску на ґрунт, щоб уникнути провалювання і зменшення кліренсу. Засобом, що дозволяє значно знизити питомий тиск транспортного засобу на ґрунт, буде гусеничний рушій. Розробка рушійю такого типу буде проводитися в рамках конструкторської частини випускної кваліфікаційної роботи.

Результатом виконання другого розділу стало виконання тягового розрахунку автомобіля. Розраховано потужність і крутний момент двигуна на різних оборотах. Проведено розрахунок динаміки розгону і прискорень, виходячи з передавальних чисел коробки передач і головної передачі. Проведено розрахунок силового балансу і визначено максимальну швидкість транспортного засобу. Виходячи з визначених раніше параметрів, визначено шлях і час розгону. Розраховано паливну економічність транспортного засобу. Результати тягового розрахунку у вигляді графіків винесені на аркуш графічної частини і відображені в додатку А розрахунково-пояснювальної записки.

Результатом виконання розділу став аналіз конструкції різних типів гусеничних рушіїв. Виявлено переваги та недоліки кожної з конструкцій. На підставі проведеного аналізу було обрано гусеничну схему з підресореними масами, що встановлюються на осі ведучих і ведених коліс. Відповідно до обраної конструкторської схеми була визначена розрахункова схема найбільш навантажених вузлів. Виконано розрахунок осей котків, як сприймаючих навантаження від ваги автомобіля і зусиль, що передаються дорожніми нерівностями.

У розділі було проведено аналіз діяльності на складальній ділянці підприємства, що здійснює складання гусеничних рушіїв для автомобіля. Виявлено шкідливі та небезпечні виробничі фактори, проведено їх класифікацію. Відповідно до виявлених факторів розроблено заходи щодо зниження їх впливу на робітників або їх повної нейтралізації. Розроблено заходи щодо зниження пожежної небезпеки відповідно до виявлених класів пожежної небезпеки. Розроблено заходи щодо зниження антропогенного впливу підприємства на навколишнє середовище.

В економічному розділі було проведено розрахунок собівартості виготовлення конструкції гусеничного рушія. Визначено витрати за основними статтями витрат. Визначено найбільш витратні статті витрат на виробництво конструкції. На підставі проведеного розрахунку можна зробити висновок, що розроблена конструкція знаходиться в ринковому ціновому сегменті, а розроблена конструкція гусеничних рушіїв буде конкурентоспроможною за ціною.

На підставі всього викладеного, вважаємо поставлені в рамках випускної кваліфікаційної роботи завдання виконаними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богатирьов, А. В. Автомобілі: підручник / А.В. Богатирьов, Ю.К. Есеновський-Лашков, М.Л. Насоновський ; за ред. проф. А.В. Богатирьова. – 3-тє вид., стереотип. 2019. – 655 с. – (Вища освіта: Бакалаврат). – www.dx.doi.org/10.12737/2530. - ISBN 978-5-16-101092-1.
2. Березіна, Є. В. Автомобілі: конструкція, теорія і розрахунок: Навчальний посібник / Є.В. Березіна. - НіЦ Інфра, 2012. - 320 с.:іл.; . ISBN 978-5-98281-309-1. - Текст: електронний.
3. Вахламов, В. К. Автомобілі: Основи конструкції: підручник для студ. вищ. навч. закладів/ В.К. Вахламов – Видавничий центр «Академія», 2008. – 528 с.
4. Провідні мости тракторів і автомобілів: Навчальний посібник / Кобозєв А.К., Швецов І.І., Койчев В.С. - «Агрус», 2016. -64 с.
5. Височкіна, Л. І. Автомобілі: конструкція, розрахунок і споживчі властивості [Електронний ресурс]: навчально-методичний посібник з курсового проектування / уклад. Л.І. Височкіна, М.В. Данилов, В.Х. Малієв та ін. 2013. - 68 с.
6. ДСТУ 12.0.003-2015 ССБТ «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація» за технологічною операцією, видами робіт, обладнанням, виробничим цехом, дільницею»
7. Карташевич А.Н. «Трактори та автомобілі. Конструкція» / А.Н. Карташевич, А.В. Понталев, А.В. Гордеєнко // навчальний посібник, Вид-во Інфра-М, 2013 – 313 с.
8. Корнієнко, Євген. Інформаційний сайт з безпеки життєдіяльності [Електронний ресурс] / Є. Корнієнко. – Електрон. текстові дані. – 2018. – Режим доступу http://www.kornienko-ev.com/teoria_auto/page233/page276/index.html.

9. Лукаш, Ю. А. Економічні розрахунки в бізнесі [Електронний ресурс] : великий практичний довідник / Ю. А. Лукаш. - Флінта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.
10. Огороднов, С.М. Конструкція автомобілів і тракторів : підручник / С.М. Огороднов, Л.Н. Орлов, В.Н. Кравець. - Інфра-Інженерія, 2019. - 284 с. - ISBN 978-5-9729-0364-1.
11. Ремонт автомобілів [Електронний ресурс] – Режим доступу <http://automend.com/>
12. Савич, Є. Л. Системи безпеки автомобілів : навчальний посібник/ Є.Л. Савич, В.В. Капустін. –: Нове знання ; ІНФРА-М, 2020. – 445 с.: іл. – ISBN 978-5-16-104362-2.
13. Сергеєнко, В.А. Перевірочний розрахунок зубчастих передач трансмісії автомобілів / В.А. Сергеєнко. – 2016. – 61 с.
14. Стуканов, В. А. Основи теорії автомобільних двигунів і мотоцикла : навчальний посібник / В.А. Стуканов. – «ФОРУМ» : ІНФРА-М, 2020. – 368 с. - ISBN 978-5-16-101654-1.
15. Тарасик, В. П. Теорія автомобілів і двигунів : навчальний посібник / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – 2-е вид., випр. – Нове знання. ІНФРА-М, 2020. – 448 с. – ISBN 978-5-16-101224-6.
16. Технічне обслуговування та ремонт автомобілів: підручник / В. М. Власов [та ін.] ; за ред. В. М. Власова. - Гриф МО. - Academia, 2003. - 477 с.: іл. - Бібліогр.: с. 473. - Дод.: с. 421-472. - ISBN 5-7595-1150-8 : 191-82.
17. Щелчкова, Н. Н. Практикум з безпеки життєдіяльності. Частина II: навчально-практичний посібник / Н.Н. Щелчкова, Д.В. Натарова, Е.А. Романова. – ІНФРА-М, 2019. – 225 с. - ISBN 978-5-16-108275-1.103
18. Г. А. Ейніке, Згладжування, фільтрування та прогнозування: оцінка минулого, сьогодення та майбутнього (2-е вид.), Prime Publishing, 2019
19. Міллікен, В. Ф. Динаміка гоночних автомобілів / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / В. Ф. Міллікен, Д. Л. Міллікен : SAE International, 1995. – 890 с. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

20. Сінгх, Г. Реват Автомобіль: Підручник для студентів механіків автомобілів / Г. Реват Сінгх: S Chand & Co Ltd, 2004 - 532 с.

21. Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

22. Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Електронний ресурс]/ – Електрон. текстові дані.– ЕБС АСВ, 2019.– 350 с.

ДОДАТКИ