

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Аналіз та вибір конструктивної схеми пневматичної підвіски вантажного автомобіля з повним приводом»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 27 Транспорт
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма Автомобільний транспорт

Шифр **КвРАТ. 22105.01.20.00**

Виконав студент 4 курсу група АТ-22-1

Підпис

Назар ШВЕЦЬ

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ

Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ

Підпис

Олег БАБАК

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ

10.06.2026р

Дата

Підпис


Олександр ДИХА

Хмельницький, 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 27 Транспорт
Спеціальність 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


15.04 Диха О.В.
2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Швецю Назару Івановичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: **Аналіз та вибір конструктивної схеми пневматичної підвіски вантажного автомобіля з повним приводом.**

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 26)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, робіт, практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Динаміка транспортного засобу та підвіски.

2) Аналіз трансмісії вантажівок.

3) Реалізація концепцій.

4) Результати аналізу, висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 15.04 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Динаміка транспортного засобу та підвіски	28.05.2026	вик
2	Аналіз трансмісії вантажівок	8.06.2026	вик
3	Реалізація концепції	12.06.2026	вик
4	Результати аналізу, висновки.	14.06.2026	вик
5	Захист кваліфікаційної роботи	16.06.2026	

Студент


Підпис

Назар ШВЕЦЬ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Студент групи АТ-22-1: Швець Н.І.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Кваліфікаційна робота на тему: «Аналіз та вибір конструктивної схеми пневматичної підвіски вантажного автомобіля з повним приводом» складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 18 найменувань, розміщених на 2 сторінках, та 2 додатків розміщених на 16 сторінках. Роботу викладено на 70 сторінках, з них 66 сторінки основного тексту, на яких розміщено 57 рисунків і 5 таблиць.


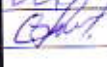


У роботі розглядається питання застосування пневматичної підвіски на вантажних автомобілях з повним та переднім приводом з дотриманням сучасних вимог до комфорту, регулятивності експлуатаційних характеристик. Проаналізовано існуючі конструктивні схеми підвісок вантажних автомобілів та можливості їх трансформації з листової ресорної системи на пневматичну. Проведено порівняльний аналіз альтернативних концепцій пневматичної підвіски з урахуванням силових навантажень, геометричних обмежень і можливостей інтеграції із системами приводу. За результатами дослідження найбільше визначено для короткострокового впровадження концепції, а також окреслено елементи конструкції, які потребують додаткового аналізу та доопрацювання. Отримані результати можуть бути використані під час проектування та модернізації підвісок вантажних автомобілів дорожнього призначення.

Актуальність даної роботи зумовлена зростанням попиту на вантажні автомобілі з підвищеним рівнем комфорту, керованості та адаптивності до різних дорожніх умов. Одночасне впровадження такої системи супроводжується конструктивними обмеженнями та зростанням навантаження на окремі елементи, що потребує науково обгрунтованого вибору схеми підвіски. У зв'язку з цим дослідженням можливість адаптації пневматичної підвіски до вантажних автомобілів з повним приводом є своєчасним і практично значущим.

Ключові слова: ПНЕВМАТИЧНА ПІДВІСКА, ВАНТАЖНИЙ АВТОМОБІЛЬ, ПОВНИЙ ПРИВІД, ПЕРЕДНІЙ ПРИВІД, ШАСІ, СИЛОВІ НАВАНТАЖЕННЯ, КОМФОРТ РУХУ, РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ПРОСВІТУ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ДИНАМІКА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ПІДВІСКИ	8
1.1 Система координат транспортного засобу.	8
1.2 Схема вільного кузова вантажівки 4x4.	9
1.3 Призначення та обмеження підвіски.	12
1.4 Жорсткі осі - схеми підвіски.	13
1.5 Динаміка підвіски.	14
2 АНАЛІЗ ТРАНСМІСІЇ ВАНТАЖІВОК	19
2.1 Типи трансмісій.	19
2.2 Загальні переваги та недоліки систем трансмісії.	21
2.3 Система позначення типу вантажівок та комплектація.	22
2.4 Підвіска із заднім приводом.	30
2.4.1 Передня пневматична підвіска.	30
2.4.2 Задня пневматична підвіска з двома пневматичними сильфонами.	35
2.5 Передньопривідна підвіска.	36
2.5.1 Передня листова підвіска.	36
2.5.2 Задня пневматична підвіска з двома подушками	39
3 РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ	41
3.1 Специфікація вимог	41
3.2 Розробка концепцій	41
3.2.1 Концепція 1 – Гідравлічний передній привід, листові ресори.	43

КвРАТ. 22105.01.20.00				
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
Виконав		Швец		
Перевір.		Посонський		
Н.контр.		Бабак		
Ветвер.		Диха		
Аналіз та вибір конструктивної схеми пневматичної підвіски вантажного автомобіля з повним приводом			Літера	Аркуш
			4	70
ХНУ, АТ-22-1				

3.2.2 Концепція 2 – Гідравлічний передній привід, чотириланкова система зі тягою Панара.	44
3.2.3 Концепція 3 – Гідравлічний передній привід, чотириланкова система	44
3.2.4 Концепція 4 – Гідравлічний передній привід, чотириланкова система з тягою Ватта.	45
3.2.5 Концепція 5 – Механічний передній привід, листові ресори.	46
3.2.6 Концепція 6 – Механічний передній привід, чотириланкова система з тягою Панара.	46
3.2.7 Концепція 7 – Механічний передній привід, чотириланкова система.	47
3.2.8 Концепція 8 – Механічний передній привід, чотириланкова система з тягою Ватта.	48
3.3 Оцінка концепцій.	48
3.4 Порівняльний аналіз концепцій.	52
3.4.1 Аналіз інтерференції.	53
3.4.2 Аналіз сили.	58
3.4.3 Аналіз градієнта крену.	58
4 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ	60
4.1 Пропозиції щодо редизайну: Концепція 5.	60
4.2 Аналіз сил.	65
4.3 Аналіз градієнта крену.	65
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
ДОДАТКИ	70

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Історично вантажівки з повним приводом зазвичай використовувалися у важких позашляхових умовах, таких як військові або гірничодобувні умови. Сьогодні вони також використовуються в менш важких умовах, але з високими вимогами до зчеплення. Це можуть бути, наприклад, дорожні транспортні засоби, лісовози, самоскиди, пожежні машини, вантажівки для аеропортів або важкі вантажівки.

Пневматичні підвіски – це системи, які часто використовуються в пасажирських автомобілях, автобусах та вантажівках. Система підвіски вважається пневматичною, якщо щонайменше 75% пружинного ефекту викликано пневматичною пружиною згідно з [1]. Пневматична підвіска на вантажівках пропонує багато переваг. Вона може забезпечити зниження шуму, менше вібрацій, а отже, кращий комфорт водія, ніж її альтернатива – листові ресори [2]. Пневматична підвіска також дає можливість регулювати висоту шасі залежно від вантажу, який воно перевозить, що забезпечує плавнішу їзду та покращує захист вантажу [3]. Однак, пневматична підвіска зазвичай дорожча за листові ресори з точки зору додаткового обслуговування [4]. Листові ресори також вважаються більш довговічними для важких вантажівок, але гіршими для легкозавантажених вантажівок через вібрації [4].

Наразі Scania пропонує вантажівки з повним приводом з пневматичною підвіскою на задніх осях, але з листовими ресорами на передній осі, або ж повну пневматичну підвіску без переднього приводу. Комбінація пневматичної підвіски з переднім приводом раніше не впроваджувалася, оскільки попит вважався низьким.

Метою роботи є поєднання пневматичної підвіски з повним приводом та дослідження можливості застосування пневматичної підвіски на всіх осях вантажівки з повним приводом.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Завдання роботи:

1. Проаналізувати сучасні конструкції пневматичних підвісок вантажних автомобілів та можливість їх застосування на автомобілях з повним або переднім приводом.

2. Розглянути й порівняти альтернативні концепції модернізації підвіски з позиції конструктивної реалізації та сумісності з існуючими системами.

3. Виконати силовий аналіз елементів підвіски для вибраних концепцій і порівняти отримані навантаження з базовою системою А4х2ЕВ.

4. Визначити критичні елементи конструкції, що знають підвищених навантажень і потребують подальшого аналізу або конструктивної переробки.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ДИНАМІКА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ПІДВІСКИ

Транспортні засоби – це складні системи з багатьма рухомими компонентами. Для покращення продуктивності та комфорту транспортного засобу вкрай важливо контролювати рух цих компонентів під час роботи.

1.1 Система координат транспортного засобу.

Рух транспортного засобу можна описати за допомогою рівнянь руху, де транспортний засіб розглядається як точкова маса. Загально використовувана система координат для рівняння руху, визначена у стандартній термінології динаміки транспортних засобів SAE J670 [8], див. рисунок 1.1.

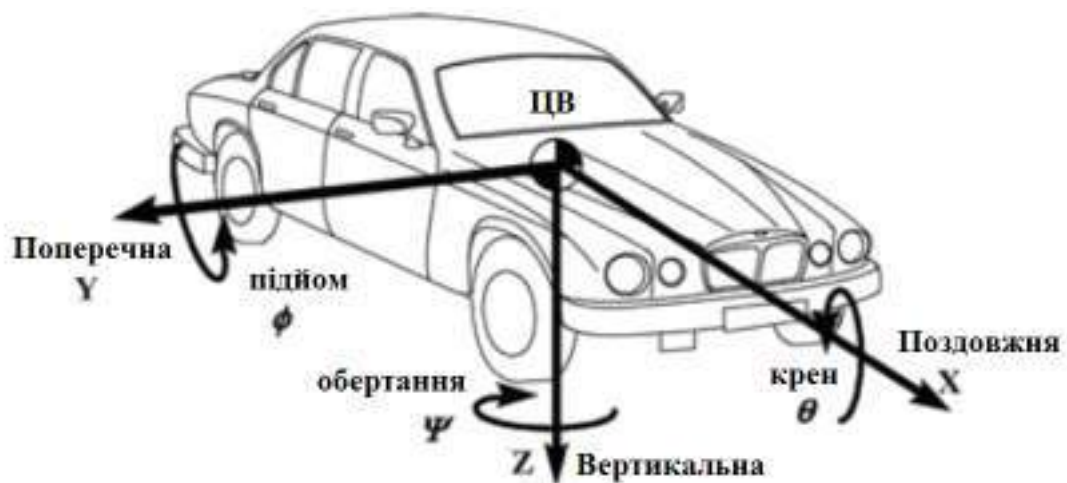


Рисунок 1.1 – Система координат транспортного засобу.

Система координат бере свій початок у центрі ваги транспортного засобу, ЦВ. Три трансляційні координати називаються поздовжньою, поперечною та вертикальною, де поздовжня знаходиться в напрямку руху. Три обертальні координати називаються крен, підйом та обертання.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.2 Схема вільного кузова вантажівки 4x4.

Транспортний засіб піддається різним навантаженням. Додаючи сили інерції до ЦВ (підхід Д'Аламбера), задачу можна розглядати як статичну систему, тобто $\Sigma F=0$ [9], див. рисунки 1.2 – 1.4.

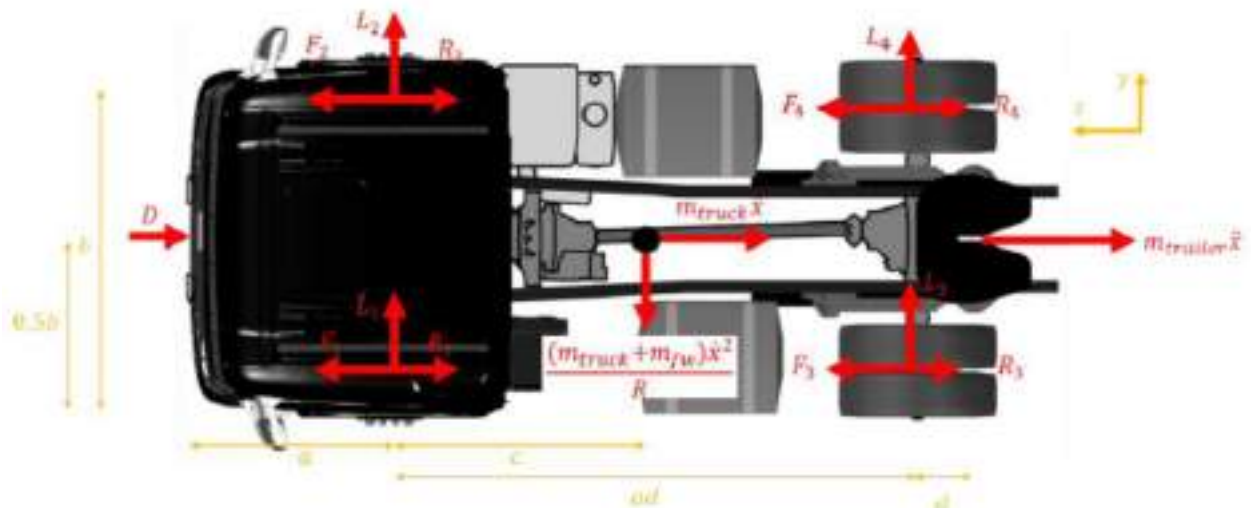


Рисунок 1.2 – Зчленований вантажний автомобіль 4x4, вигляд зверху.

Чотири колеса мають три горизонтальні контактні сили відповідно: силу тяги/гальмування F_i , силу опору коченню R_i та бічну силу L_i . Вантажівка піддається дії сили аеродинамічного опору D та сил інерції від вантажівки та причепа в усіх трьох напрямках. Положення центру ваги включає масу вантажівки m_{truck} , а також частину маси причепа, яку несе п'яте колесо m_{fw} . Загальна маса причепа називається $m_{trailer}$. Зверніть увагу, що вантажівка повинна розганятися з повною вагою причепа $m_{trailer}$, але гальмувати лише вагу m_{fw} , оскільки причіп також має гальма.

Усі чотири колеса також мають вертикальні контактні сили, N_i .

Сила опору коченню була розрахована за формулою:

$$R_i = C_R \cdot N_i . \quad (1.1)$$

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

де C_R – коефіцієнт кочення. Для вантажівки на хорошій дорозі C_R можна оцінити як 0,06 [9].

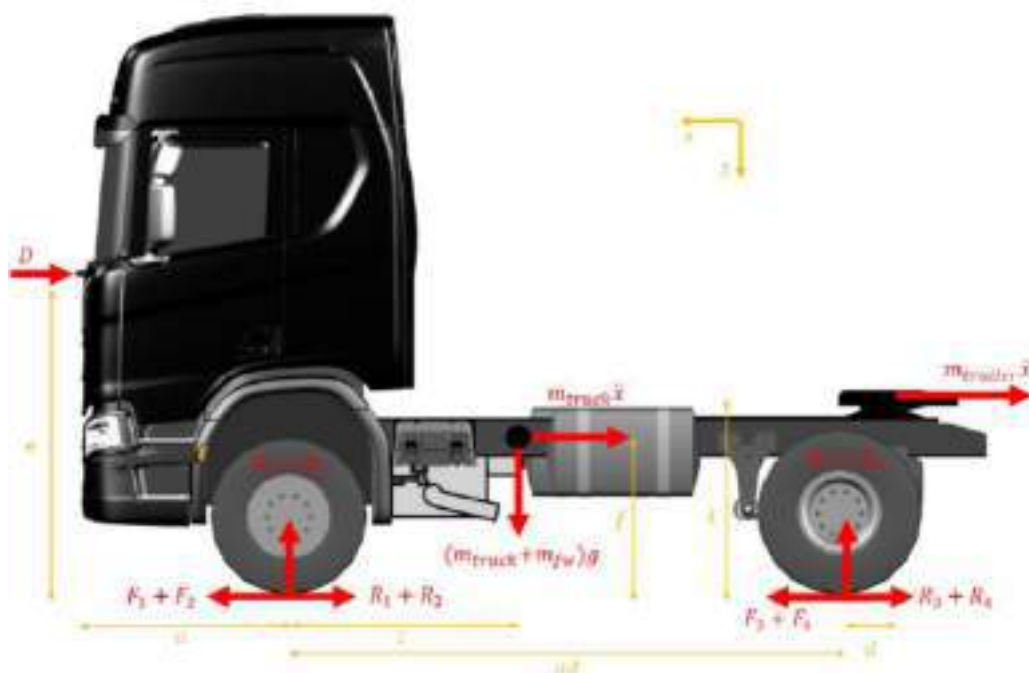


Рисунок 1.3 – Зчленована вантажівка 4x4, вигляд збоку.



Рисунок 1.4 – Зчленована вантажівка 4x4, вигляд спереду.

					КВАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Сила аеродинамічного опору була розрахована за формулою:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A v^2, \quad (1.2)$$

де ρ – густина повітря, C_d – коефіцієнт опору, A – площа лобової частини, а v – відносна швидкість між повітрям і транспортним засобом [9].

Загальну бічну силу інерції, L_{tot} , під час повороту було розраховано за формулою:

$$L_{tot} = \frac{(m_{truck} + m_{fw}) \dot{x}^2}{R}, \quad (1.3)$$

де \dot{x} – швидкість, а R – радіус повороту [9].

Передачу поперечного навантаження на передню частину було розраховано як [9]:

$$\Delta N_{front} = L_{tot} \cdot \frac{ad-c}{ad} \cdot \frac{f}{b}, \quad (1.4)$$

а задню поперечну передачу навантаження як [9]:

$$\Delta N_{rear} = L_{tot} \cdot \frac{c}{ad} \cdot \frac{f}{b} \quad (1.5)$$

Поперечні сили було розраховано за допомогою [9]:

$$L_1 = L_{tot} \cdot \frac{ad-c}{ad} \cdot \frac{N_1}{N_1+N_2} \quad (1.6)$$

$$L_2 = L_{tot} \cdot \frac{ad-c}{ad} \cdot \frac{N_2}{N_1+N_2} \quad (1.7)$$

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$L_3 = L_{tot} \cdot \frac{c}{ad} \cdot \frac{N_3}{N_3+N_4} \quad (1.8)$$

$$L_4 = L_{tot} \cdot \frac{c}{ad} \cdot \frac{N_4}{N_3+N_4} \quad (1.9)$$

1.3 Призначення та обмеження підвіски.

Основне призначення підвіски — максимально підвищити безпеку та комфорт водія. Це досягається шляхом збереження контакту між колесом та дорогою, а також зменшення вібрацій та шуму для водія. Завдяки використанню пружин навантаження транспортного засобу переноситься, але дорога ізолює водія. Крім того, для гасіння коливань використовуються амортизатори. [10]

Крім того, однією з ключових особливостей для досягнення цієї мети є зменшення резонансних піків навколо власних частот для невідресореної маси, а також для відресореної маси та людей у транспортному засобі. Невідресорена маса зазвичай може мати власні частоти близько 10 Гц, а людина – близько 1 Гц, див. рисунок 1.5 [10].

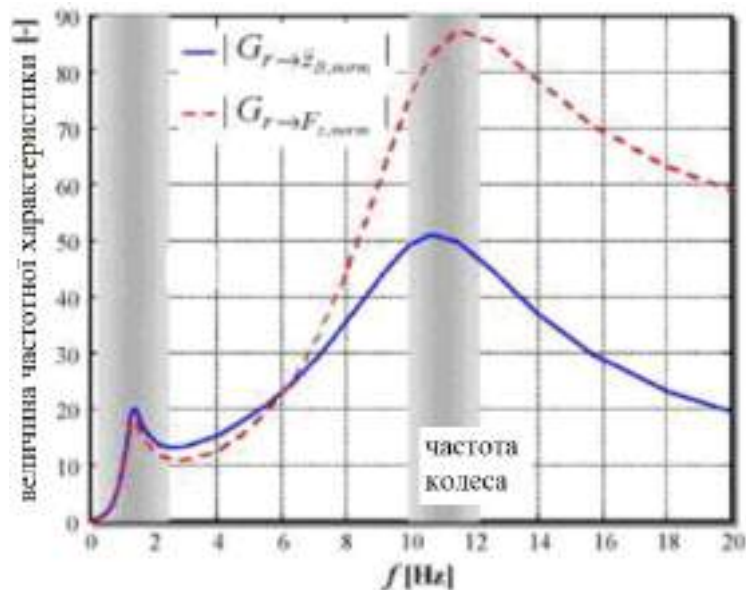


Рисунок 1.5 – Власні частоти.

					КВАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Однак, було доведено, що виконання вимог щодо зчеплення та комфорту є конфліктом. Як правило, м'яке демпфування покращує комфорт, але погіршує зчеплення, і навпаки [10].

Звичайна листові пружина, яку також називають пасивною підвіскою, повинна йти на компроміс між комфортом та безпекою. Маючи підвіску, яка може контролювати коефіцієнт демпфування або жорсткість пружини, що називається напівактивною або активною підвіскою, цей конфлікт можна зменшити. Пневматична пружинна підвіска є прикладом напівактивної пружинної системи, оскільки жорсткість пружини можна регулювати шляхом додавання/видалення повітря до сильфона. Однак ця процедура також впливає на висоту транспортного засобу [10].

1.4 Жорсткі осі - схеми підвіски.

Існує кілька способів кріплення та підвішування жорстких колісних осей, це можна зробити, наприклад, за допомогою конструкцій Гочкіса або чотириланкових конструкцій. Основне завдання конструкцій полягає в жорсткому сприйнятті поздовжніх та поперечних сил, зберігаючи при цьому податливість у вертикальному напрямку. Підвіска Гочкіса використовує листові ресори для виконання всіх цих завдань, іноді з додатковими тягами для бічної підтримки, див. рисунок 1.6 [11].

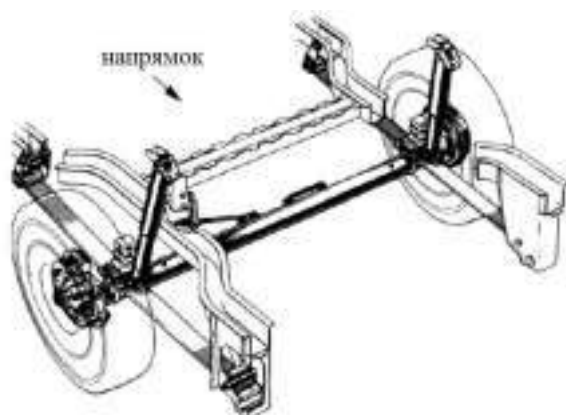


Рисунок 1.6 – Схема Гочкіса.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Чотириважільна схема має чотири ланки, що дозволяють жорсткій осі рухатися майже вертикально, див. рисунок 1.7 [12].

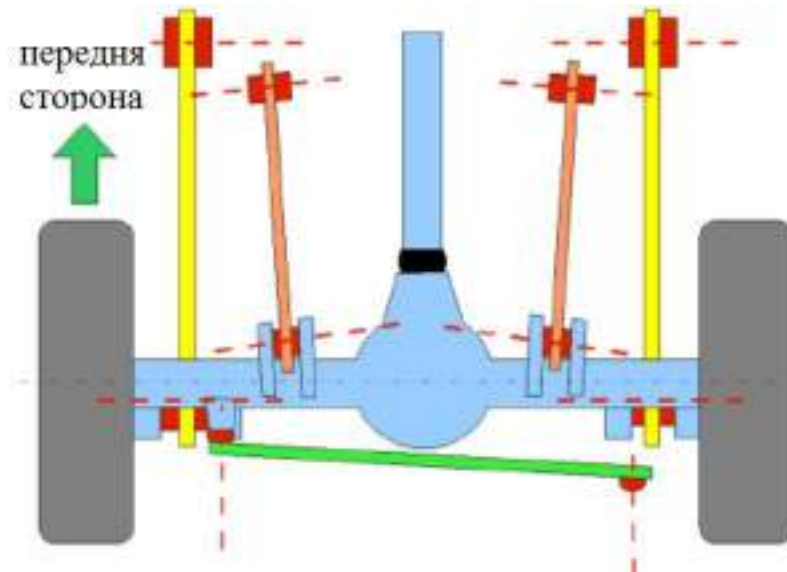


Рисунок 1.7 – Чотириважільна схема.

Оскільки вісь обертається навколо точки кріплення шасі важелів, вона матиме невеликий поздовжній хід колеса. Крім того, чотириважільна підвіска потребує додаткових пружин для сприйняття вертикальних навантажень, наприклад, пневматичних або гвинтових пружин. Чотириважільна схема має бічну підтримку, наприклад, від похилих важелів або від тяги Панара.

1.5 Динаміка підвіски.

Коли автомобіль повертає, кузов починає кренитися, тобто обертатися навколо поздовжнього напрямку. Однією з цілей підвіски є ефективне керування креном, оскільки це суттєво впливає на керованість автомобіля. Характеристики крену описуються теоретичним параметром, який називається віссю центру крену автомобіля. Вісь центру крену визначається

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як вісь від переднього центру крену до заднього центру крену. Приклад осі центру крену на вантажівці 4x4 представлено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Вісь центру крену вантажівки 4x4.

Висота переднього центру крену, FRCH, висота заднього центру крену, RRCH, та вертикальна відстань від центру руху до осі центру крену також показані на рисунку 1.8.

Для жорстких осей на вантажівках рекомендується розміщувати вісь центру крену під нахилом, як показано на рисунку 1.8. Причина цього полягає в тому, що жорстка вісь має низьку підтримку стабілізатора крену, оскільки відстань між пружинами порівняно з шириною колії набагато менша. Відповідно, щоб мати якомога вищу підтримку стабілізатора крену, пружини та стабілізатори поперечної стійкості, ARB, слід встановлювати якомога ближче до коліс [11].

Центр крену на вантажівках бажано має бути високим, оскільки це допомагає зменшити нахил кузова. Якщо вантажівка має листові ресори, центр крену знаходиться на тій самій висоті, що й основний лист, оскільки бічні сили передаються сюди. Тому у вантажівках листові ресори зазвичай

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

встановлені поверх жорстких осей, ліворуч на рисунку 1.9, порівняно з праворуч на рисунку 1.9 легкових автомобілів [11].

Більш конкретно, висота центру крену буде знаходитися на перетині вертикальної осі, що проходить через центр колісної осі, та осі між кріпленнями шасі листової ресори. Див. рисунок 1.10 [9].

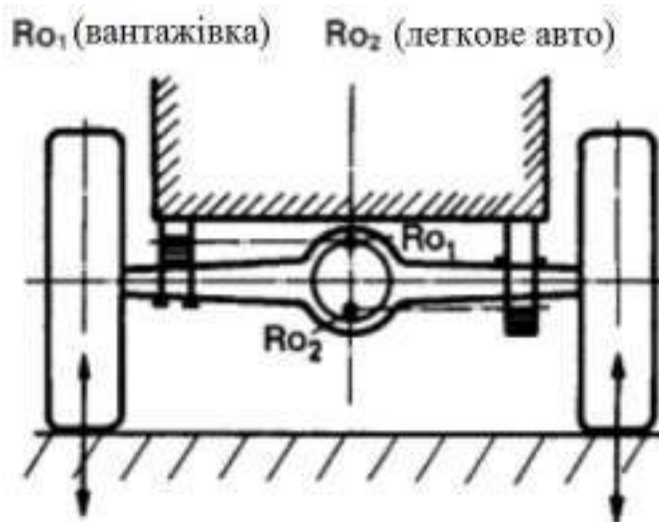


Рисунок 1.9 – Листова ресора з центром крену.

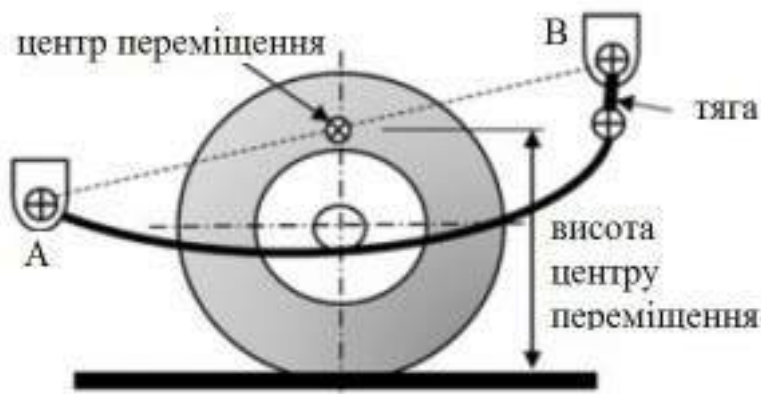


Рисунок 1.10 – Висота листової ресори з центром крену.

Якщо вантажівка має тягу Панара для сприйняття бічних сил, висота центру крену знаходиться на перетині між тягою та центральною лінією вантажівки, див. рисунок 1.11. Це означає, що висота центру крену змінюється під час повороту. Використовуючи тягу Ватта, яка має обертове

кріплення, що діє як центр крену, цього можна уникнути, див. рисунок 1.12 [11].

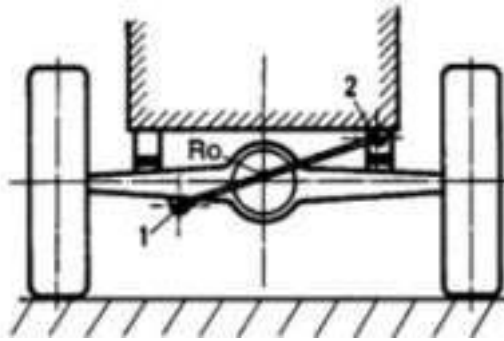


Рисунок 2.11 Тяга Панара.

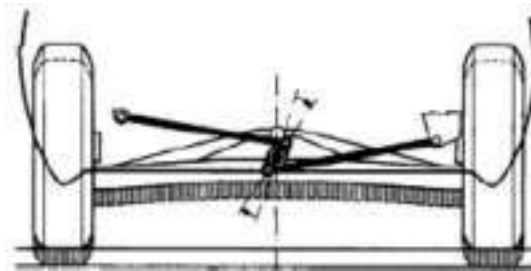


Рисунок 2.12 Тяга Ватта.

Інша конфігурація для сприйняття бічних навантажень на чотириланковій підвісці полягає в використанні А-подібного важеля замість верхніх важелів підвіски, див. рисунок 1.13. У цьому випадку центр крену знаходиться в точці кріплення А-подібного важеля на осі.

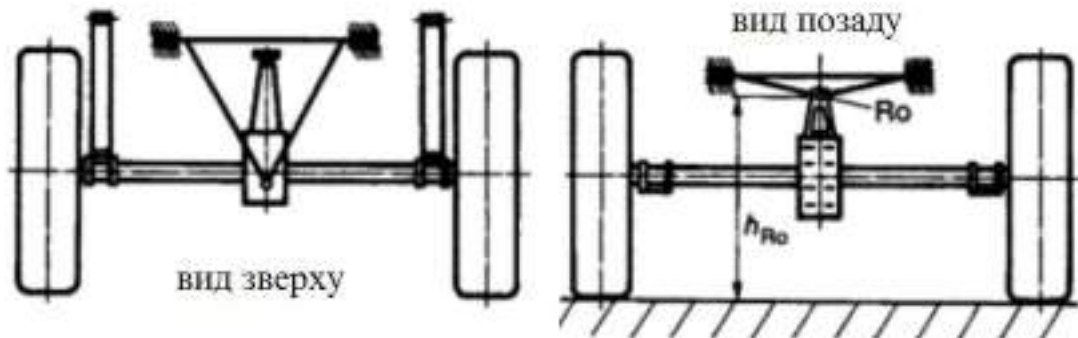


Рисунок 1.13 – А-подібний важіль.

					КВАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Чотириважільна підвіска також може мати нахилені верхні важелі керування до центральної лінії, див. рисунок 1.14. Висота центру крену для цієї конфігурації буде в точці, де центральна вісь важелів керування перетинається з центральною лінією транспортного засобу [11].

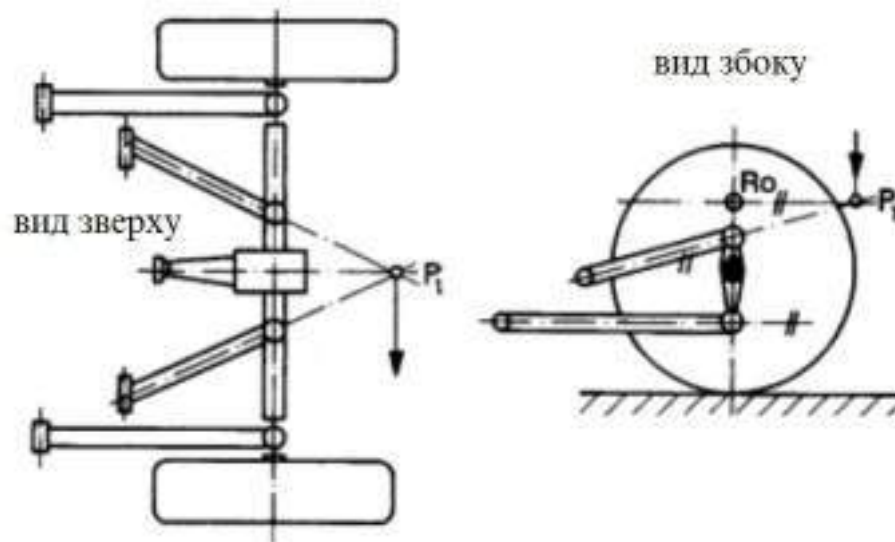


Рисунок 1.14 – Похилі важелі керування [11]

Попит на вантажівки з повним приводом та повною підвіскою є значним. Головним чином у таких операціях, як:

- Вантажівки аеропорту, які мають законодавчі вимоги щодо доступності, зчеплення тощо. Переважно їздять по асфальту.
- Пожежні машини, які переважно використовуються в Центральній Європі. Переважно їздять по дорогах загального користування.
- Самоскиди, які їздять на великі відстані по дорогах загального користування та на короткі відстані по будівельних майданчиках.
- Лісовози, які їздять переважно по дорогах загального користування, але остання частина може їздити по лісових дорогах.
- Важкі вантажі, важкі перевезення по дорогах загального користування, нижчі швидкості.

Оскільки більшість застосувань частково пересуваються дорогами загального користування, вантажопідйомність обмежена правилами.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 АНАЛІЗ ТРАНСМІСІЇ ВАНТАЖІВОК

2.1 Типи трансмісій.

Сьогодні використовується кілька різних типів систем трансмісії. Найпоширенішою конфігурацією для легкових автомобілів є система переднього приводу (FWD) [13]. FWD означає, що потужність від двигуна розподіляється на передні колеса транспортного засобу. Однак, важчі легкові автомобілі та комерційні вантажівки часто використовують задній привід (RWD). Існують також системи, які розподіляють потужність як на переднє, так і на заднє колеса, повний привід, 4WD або всі системи повного приводу (AWD) [14].

AWD – це система трансмісії, в якій потужність двигуна розподіляється на всі колеса. Це означає, що вантажівки з допоміжними осями за визначенням не слід вважати повним приводом. Системи повного приводу AWD часто плутають із системами повного приводу (4WD), коли йдеться про легкові автомобілі. Для легкових автомобілів повний привід (4WD) зазвичай називають системами неповного робочого дня, системами, які розподіляють потужність від двигуна на задню вісь лише в умовах низького зчеплення з дорогою, а повний привід (AWD) – системами трансмісії, які постійно подають потужність на всі колеса транспортного засобу [15]. Однак обидві ці системи для вантажівок називатимуться повним приводом (AWD), тому всі системи трансмісії вантажівок 4x4, 6x6 та 8x8 називаються AWD. Спрощена схематична ілюстрація системи трансмісії 4x4 з компонентами [16] представлена на рисунку 2.1.

Потужність системи трансмісії 4x4 розподіляється від двигуна через коробку передач до роздавальної коробки. Роздавальна коробка розподіляє потужність як на передню, так і на задню вісь через карданні вали та диференціали [16]. Існують також інші системи трансмісії 4x4, які замість

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

цього використовують комбінацію механічної та гідравлічної систем приводу. Спрощена ілюстрація цих систем представлена на рисунку 2.2.

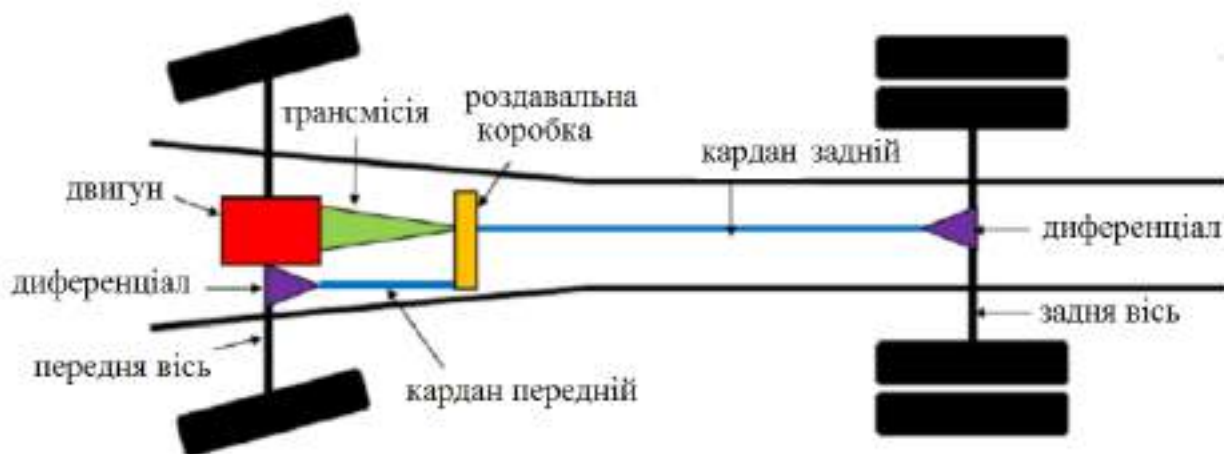


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення механічної системи повного приводу

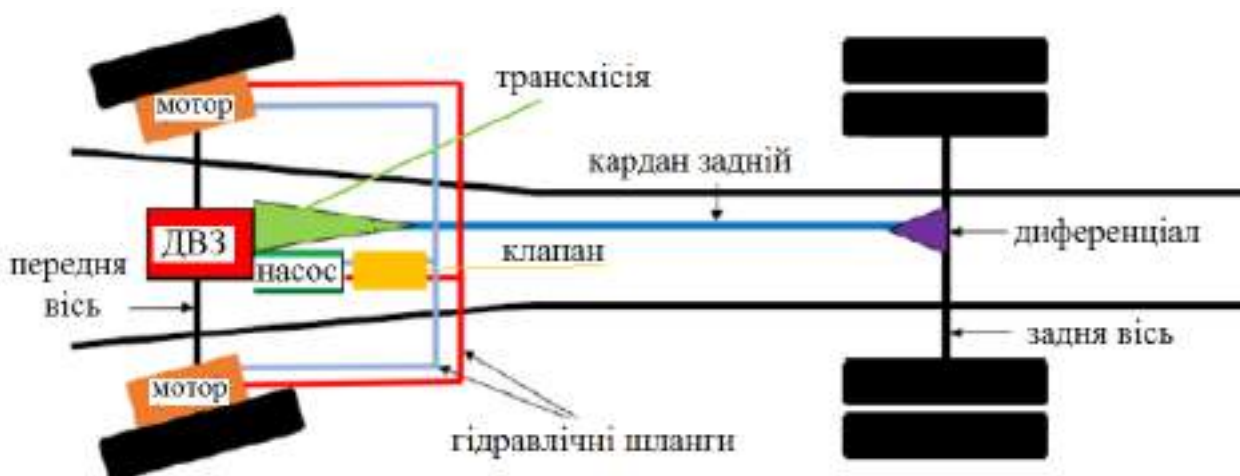


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення гідравлічної/механічної системи повного приводу

Потужність цих систем трансмісії розподіляється від двигуна до коробки передач та гідравлічного насоса. Розподіл потужності працює аналогічно системі трансмісії 4x4, показаній на рисунку 2.1. Однак передні колеса в цій системі приводяться в рух одним спільним або двома окремими гідравлічними двигунами, що живляться гідравлічними насосами [17].

										Арк.
										20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

2.2 Загальні переваги та недоліки систем трансмісії.

Передньопривідний, задньопривідний та повнопривідний мають різні властивості та підходять для різних застосувань. Властивості, що їх представляють, наведена в таблиці 2.1. [14].

Таблиця 2.1 – Властивості систем трансмісії.

Системи	Переваги	Недоліки	Галузі застосування
FWD, Передньо-привідний	Дешевший у виробництві, ніж задньопривідний. Хороше зчеплення через високу вагу на ведучих колесах.	Ризик крутного моменту підрулювання. Більший радіус повороту, ніж у автомобілів із заднім приводом.	Легкові автомобілі, легкі автомобілі.
RWD, Задньо-привідний	Відсутність крутного моменту підрулювання на сухих поверхнях. Гарний радіус повороту.	Ризик поганого зчеплення за несприятливих погодних умов.	Вантажівки, спортивні автомобілі, універсали.
AWD, Повно-привідний	Добре підходить для керування в поганих дорожніх умовах. Відмінне зчеплення.	Зазвичай дорожчий, ніж передньо-привідний та задньо-привідний.	Військові, пожежні, важкі вантажні автомобілі.

Як видно з таблиці 2.1, вантажівки рідко використовують лише передньопривідні системи трансмісії, натомість частіше використовуються системи заднього та повного приводу. Задній привід (RWD) є найпоширенішою системою трансмісії для вантажівок дорожнього застосування, а повний привід (AWD) частіше зустрічається для вантажівок позашляхового застосування або вантажівок, яким потрібні хороші тягові властивості.

2.3 Система позначення типу вантажівок та комплектація.

Щоб задовольнити різні потреби користувачів та застосування, вантажівки можуть бути налаштовані багатьма різними способами. Основний вибір, який має зробити клієнт, - це різні кабіни, двигуни, адаптація шасі, конфігурації коліс та підвіски. Різні виробники вантажівок використовують подібну систему позначення типу для опису цього. Система, яку використовує Scania, проілюстрована на рисунку 2.3 [18].



Рисунок 2.3 – Система позначення типу Scania.

Усі основні варіанти, які робить клієнт, описуються за допомогою позначення типу, подібного до того, що показано на рисунку 2.3. Однак, шість варіантів не завжди можна зробити незалежно один від одного.

Наприклад, два найпотужніші двигуни можна налаштувати лише з кабінами серії R або S.

Кабіни. Scania, для прикладу, має п'ять різних кабін: L-, P-, G-, R- та S-серії, розмір яких збільшується, див. рисунок 2.4 [18].



Рисунок 2.4 – Типи кабін Scania.

У стандарті позначення типу Scania [18] вони описані так: L Кабіна з низьким входом; P Низька кабіна; G Висока кабіна; R Високо встановлена кабіна; S Високо встановлена кабіна з плоскою підлогою.

Коди потужності – Двигуни. Різні варіанти двигунів зазвичай називаються їх номінальною потужністю в кінських силах. Існує чотири об'єми двигуна: 7, 9, 13 та 16 літрів, та три типи палива: дизельне паливо, етанол (ED95) та газ (CNG/LNG). Вони мають кілька варіантів компоновки відповідно, що дає близько 18 альтернатив для двигунів класу Euro 6.

Адаптації шасі. Існує дві можливі адаптації шасі:

- А Шасі тягача, яке також називають шарнірним.
- В Шасі вантажівки, яке також називають жорстким або базовим.

Тягач використовується для кріплення причепа безпосередньо до шасі за допомогою п'ятого колеса. Однак жорстке шасі адаптовано для встановлення кузова. [18]

Конфігурації коліс. Існує п'ять основних типів колісних осей, див [18].

- a) Передня вісь, керована та не ведена.
- b) Передня вісь, керована та ведена.
- c) Задня вісь, ведена.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

д) Допоміжна вісь, не керована та не ведена.

е) Допоміжна вісь, керована та не ведена.

Система позначення типу починається з опису «Кількість вантажопідйомних коліс на (x) Кількість ведучих коліс». Тому найпростіша вантажівка матиме назву 4x2, тобто матиме одну вісь типу а) та одну вісь типу с), див. рисунок 2.5 [18].

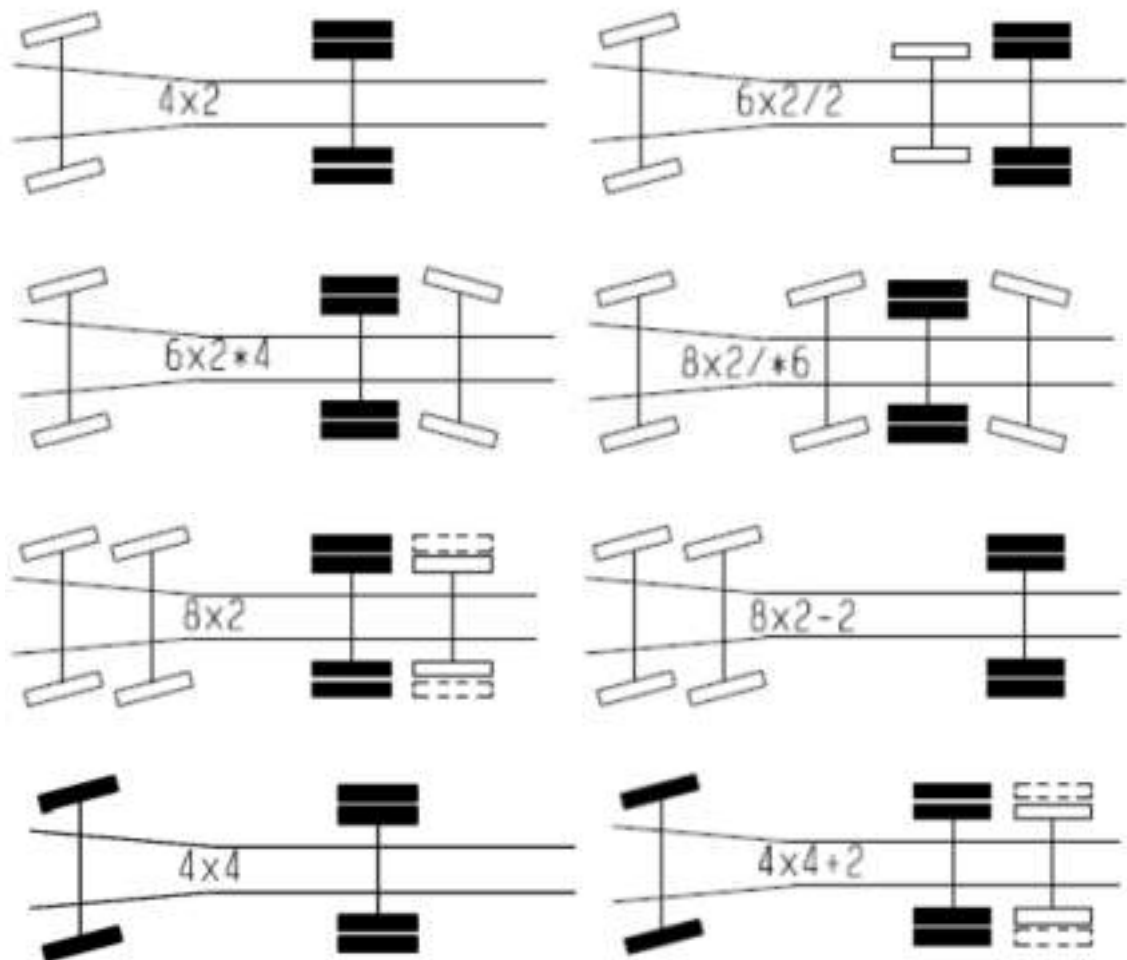


Рисунок 2.5 – Типи поєднання коліс та осей.

Якщо перед першою веденою віссю буде додано додаткову допоміжну вісь (тип д), назва закінчуватиметься на /, а потім загальною кількістю керованих коліс, у цьому випадку 6x2/2.

Якщо додаткова допоміжна вісь (тип е) буде додано за задньою ведучою віссю, назва закінчуватиметься на *, а потім загальна кількість керованих коліс, у цьому випадку 6x2*, див. рисунок 2.5.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Якщо додаткові допоміжні осі (тип е) будуть додані перед першою ведучою віссю та за задньою ведучою віссю, назва закінчуватиметься на /, а потім загальна кількість керованих коліс, у цьому випадку 8x2/6, див. рисунок 2.5.

Якщо задню вісь видалено з існуючої конфігурації, назва закінчуватиметься на -2, що означає, що кількість коліс насправді менша за перше число. Наприклад, якщо у вас 8x2 і ви хочете видалити останню допоміжну вісь, це буде 8x2-2, див. рисунок 2.5.

Якщо до існуючої конфігурації за задньою ведучою віссю буде додано додаткову допоміжну вісь (тип d), назва закінчуватиметься на +2, що означає, що кількість коліс насправді більша за перше число. Наприклад, якщо у вас 4x4 і ви хочете додати задню допоміжну вісь, це буде 4x4+2, що має шість вантажопідійомних коліс, див. рисунок 2.5.

Висота шасі. Існує чотири можливі висоти шасі, які також називаються висотою руху:

- E Дуже низька
- L Низька
- N Нормальна
- H Висока

Висота шасі частково вимірюється від центру ведучої задньої осі до верху рами шасі, а частково від відповідного вимірювання для передньої осі [18]. Висота шасі залежить від обраної підвіски та осі колеса.

Крім того, коли вантажівка має передній привід, можлива лише висока висота шасі, насправді вона трохи вища за звичайну високу. Причина цього полягає в тому, що більша передня вісь з диференціалом потребує більше місця, щоб уникнути зіткнення з двигуном.

Підвіски. Існує чотири основні категорії підвісок для вантажних автомобілів [18]:

- А Передня ресорна підвіска та задня пневматична підвіска.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- В Передня та задня пневматична підвіска.
- С Передня пневматична підвіска та задня ресорна підвіска.
- Z Передня та задня ресорна підвіска.

Однак варіант С зазвичай не застосовується.

Ресорна підвіска. Ресорна підвіска, яку також називають системою Гочкіса, є поширеним способом підвішування твердих осей, особливо в комерційних транспортних засобах [9]. Вона вимагає мало компонентів і забезпечує жорсткість у поперечному та поздовжньому напрямку, зберігаючи при цьому вертикальну пружність. Типова ресорна підвіска візка представлена на рисунку 2.6 [18].

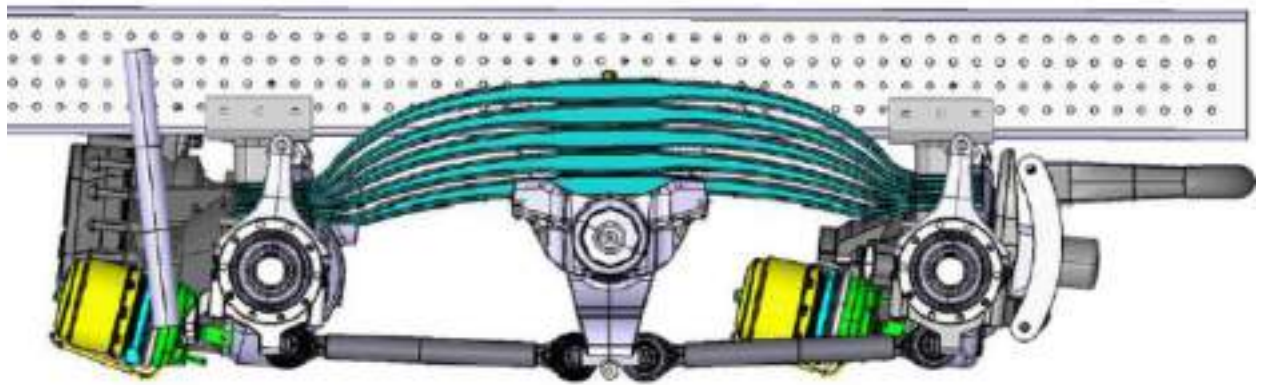


Рисунок 2.6 – Ресорна підвіска.

Підвіска використовує кілька листів для перенесення навантаження. Переваги такого типу підвіски, як обговорювалося в розділі 1.1 «Передумови», полягають у низькій вартості, низьких експлуатаційних витратах, високій вантажопідйомності та довговічності для важких транспортних засобів.

Пневматична ресорна підвіска. Інший тип підвіски, пневматична, використовує подушки зі стисненим повітрям для перенесення навантаження, див. рисунок 2.7 [18].

Переваги пневматичної підвіски, як обговорювалося в розділі 1.1 Загальні відомості, включають регульовану висоту підвіски, комфортну їзду,

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

керуваність вантажем, відображення навантаження на приладовій панелі, більше місця на шасі, а також менший звис ззаду. Завдяки регульованій висоті підвіски та жорсткості пружин, підвіска вважається напівактивною [10].



Рисунок 2.7 – Двоподошкова пневматична підвіска.

Керування вантажем також дозволяє вантажівкам встановлювати, наприклад, контейнер без крана, що називається змінними вантажоперевізниками. Коли контейнер розміщено на підставках, вантажівка розташовується знизу, а пневматична підвіска знаходиться в найнижчому положенні. Піднявши вантажівку, контейнер буде піднято з підставок і прикріплено до вантажівки. Див. ілюстрацію на рисунку 2.8 [18].

Однак це вимагає більшої висоти пневматичної підвіски, тобто більшого ходу.

Додаткові опції Scania. На додаток до різних опцій у системі позначення типу, клієнт може вибрати більше опцій. Виходячи з цих варіантів, додаткові конфігурації та компоненти можуть відповідно відрізнитися.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір шасі. Ще одним фактором є необхідна міцність шасі. Шасі, що використовуються для застосування з більшим навантаженням, зазвичай міцніші. Scania має п'ять ступенів шасі, перші три з однією U-подібною балкою зі зростаючою товщиною та дві з додатковим внутрішнім підсиленням у вигляді другої U-подібною балки.

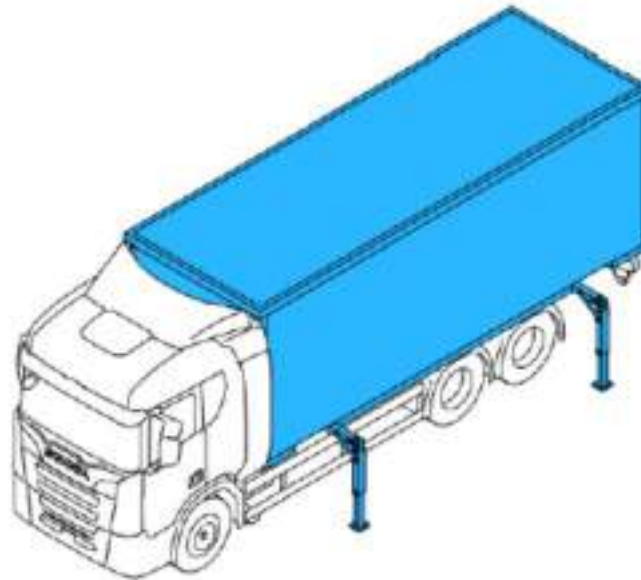


Рисунок 2.8 – Змінні вантажоперевізники.

Тонше шасі передбачає підвищений ризик руйнування від втоми. Існують також геометричні фактори, такі як конфігурація коліс, міжосьова відстань, тип підвіски та об'єм ходу двигуна, які можуть вплинути на процес вибору.

Крім того, на вибір також впливають експлуатаційні фактори, такі як швидкість вантажівки, середовище, в якому вона використовується, та вантаж, який перевозить вантажівка. Головним чином тому, що експлуатаційні фактори мають значний вплив на очікуваний термін служби шасі вантажівки. Вантажівка, що експлуатується на високій швидкості в суворих умовах, виправдовує вибір більш міцного шасі [18].

Гальмівна система. Scania пропонує дві різні гальмівні системи: барабанні або дискові гальма. Однак передньопривідні вантажівки можуть бути налаштовані лише з барабанними гальмами. Крім того, існують дві різні

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

системи керування: пневматична гальмівна система та електронна гальмівна система (EBS), де дискові гальма вимагають EBS. Наразі дискові гальма або EBS не можна замовити з переднім приводом у стандартній програмі продукції, проте кілька вантажівок S-класу було випущено з EBS.

Навантаження. Система підвіски розроблена для витримування навантажень відповідно до законів та нормативних актів, а також потенційно вищих запитів клієнтів для застосування на незагальних дорогах.

Критичні компоненти систем пневматичної підвіски. Система пневматичної підвіски складається з кількох різних компонентів. Деякі з компонентів більш схильні до поломок або зміни своїх властивостей під час використання. Під час аналізу режиму та наслідків відмов (FMEA), проведеного на Scania у 2015 році для задньопривідних вантажівок з пневматичною підвіскою, було зроблено висновок, що тяга пневматичної пружини, тяга крутного моменту та амортизатор були найбільш вимогливими компонентами під час випробувань/використання. Основними проблемами для цих компонентів були визначені втома та знос [6].

Нормативи тиску на вісь. Існують закони та нормативи щодо навантаження на вісь, якому транспортний засіб може піддаватися на дорогах загального користування, які можуть відрізнятися в різних країнах. Однак більшість європейських країн дотримуються законів та правил, тісно пов'язаних з «Директивою Європейської Ради 96/53/ЄС» [1]. Ці правила встановлюють кілька різних обмежень на вагу. Наприклад, такі правила, як

- Ведуча вісь на дорозі загального користування може мати максимальне навантаження на вісь 11,5 тонн.
- Ведена вісь на дорозі загального користування може мати максимальне навантаження на вісь 10 тонн.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.4 Підвіска із заднім приводом.

Вантажівки без переднього приводу сьогодні можуть бути оснащені пневматичною підвіскою на всіх осях коліс у Scania. Існує три основні різні системи: передня пневматична підвіска, задня з двома подушками пневматична підвіска та задня з чотирма подушками пневматична підвіска. Однак пневматична підвіска з чотирма подушками була виключена з цього дослідження, оскільки можлива комбінація з двома подушками для вантажівок із повним приводом.

2.4.1 Передня пневматична підвіска.

Передня підвіска складається, перш за все, з двох однолистових ресор, встановлених зверху жорсткої осі для сприйняття поздовжніх та поперечних навантажень, які називаються пневматичною пружинною тягою. Для ілюстрації див. рисунок 2.9. По-друге, між пневматичною пружинною тягою та шасі встановлений пневматичний сильфон для сприйняття вертикальних навантажень. Між кронштейном тяги на шасі та кронштейном тяги на осі знаходиться тяга для обробки обертання осі та поздовжніх сил. Ідея полягає в тому, що тяга та пневматична пружинна тяга разом утворюють паралелограм, що добре для зменшення зміни кута кастора передньої осі відносно ходу підвіски. Нарешті, підвіска має демпфер та важіль ARB, з'єднані з кожного боку осі. Червоний об'єм на рисунку 2.9 представляє деформацію пружини.

Нижній кронштейн тяги кріпить тягу пневматичної ресори до осі колеса за допомогою чотирьох болтів, див. рисунок 2.10.

Пневматичні сильфони розташовані зверху з поперечним елементом, який прикручується до шасі. Для вирівнювання сильфона є два напрямні штифти зверху та знизу, див. рисунок 2.11.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

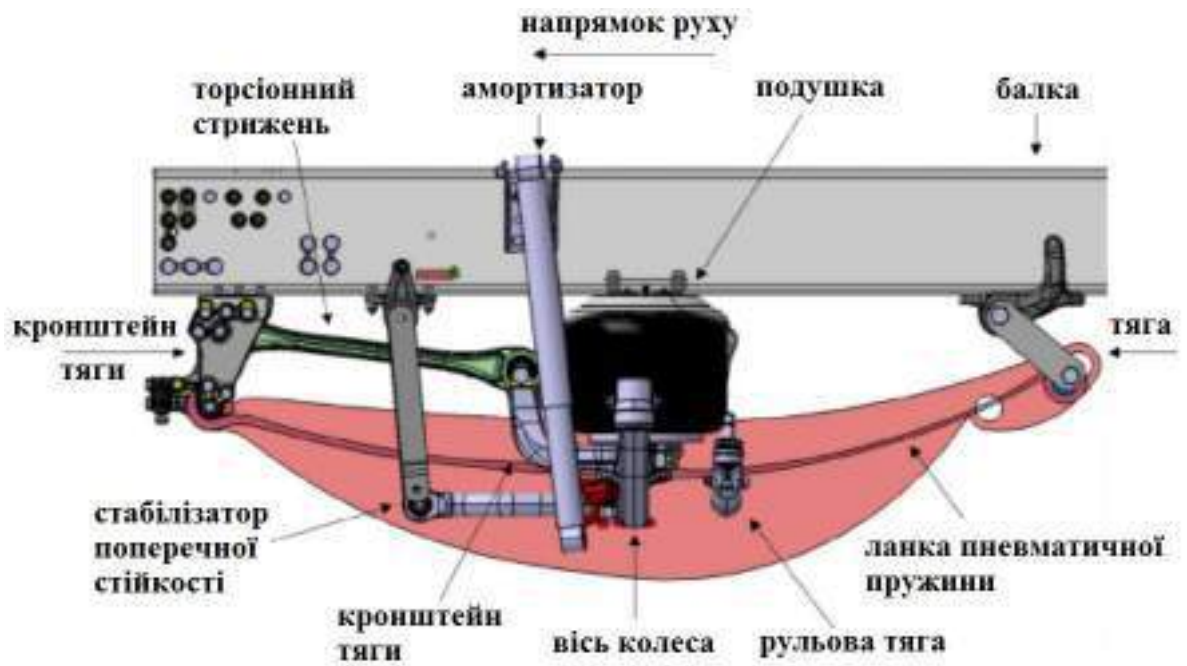


Рисунок 2.9 – Передня пневматична підвіска Scania RWD.

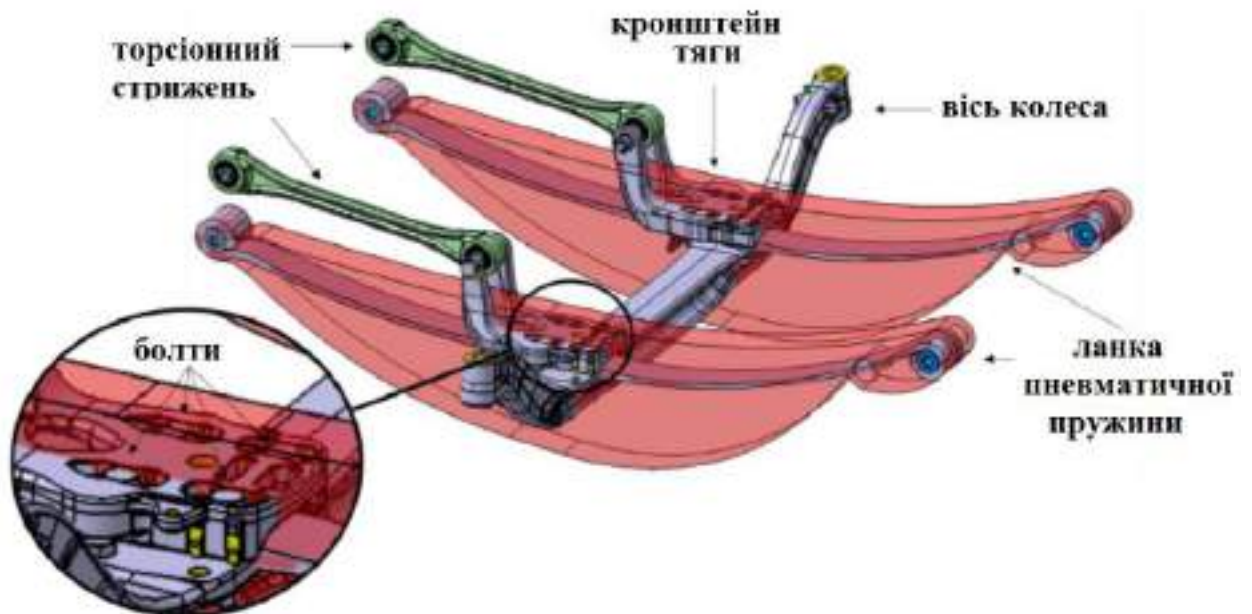


Рисунок 2.10 – Кріплення передньої тяги пневматичної ресори Scania RWD

Тяга пневматичної ресори жорстко закріплена спереду на верхньому кронштейні тяги та за допомогою сержки (тяги) до шасі ззаду, див. рисунок 2.12.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

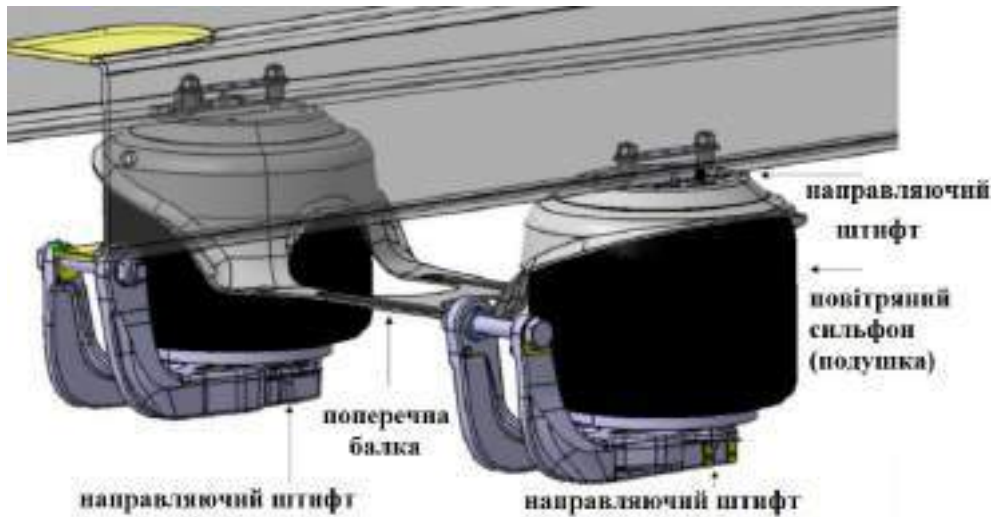


Рисунок 2.11 – Кріплення переднього пневматичного сильфона Scania RWD.

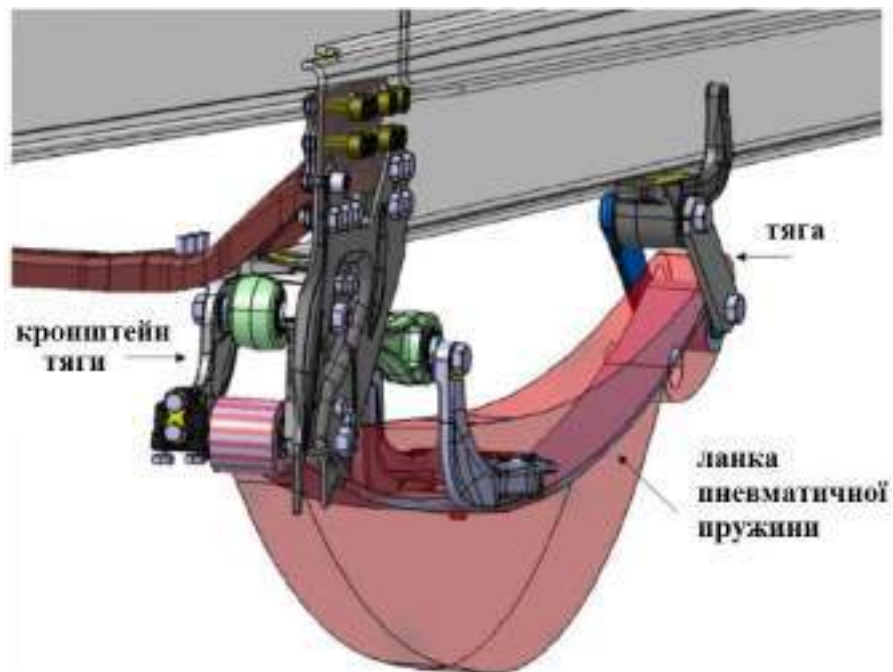


Рисунок 2.12 – Кріплення передньої пневматичної тяги Scania RWD

Амортизатор кріпиться за допомогою двох кронштейнів: один до шасі, а інший до колісної осі, див. рисунок 2.13.

Нижній кронштейн амортизатора також має корпус підшипника для кріплення U-подібної рампи підвіски (ARB). Потім ARB має тягу для з'єднання з шасі, див. рисунок 2.14.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

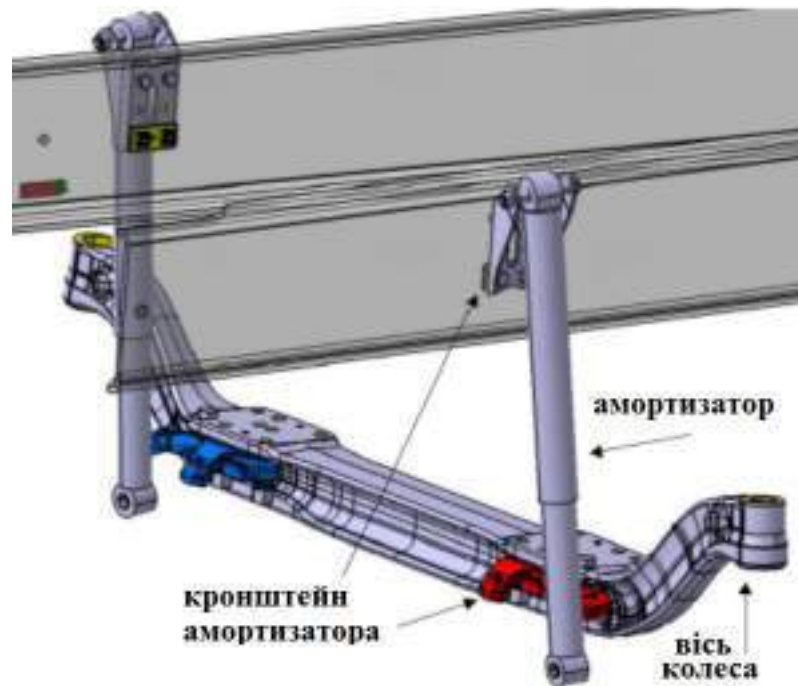


Рисунок 2.13 – Кріплення переднього амортизатора Scania RWD.

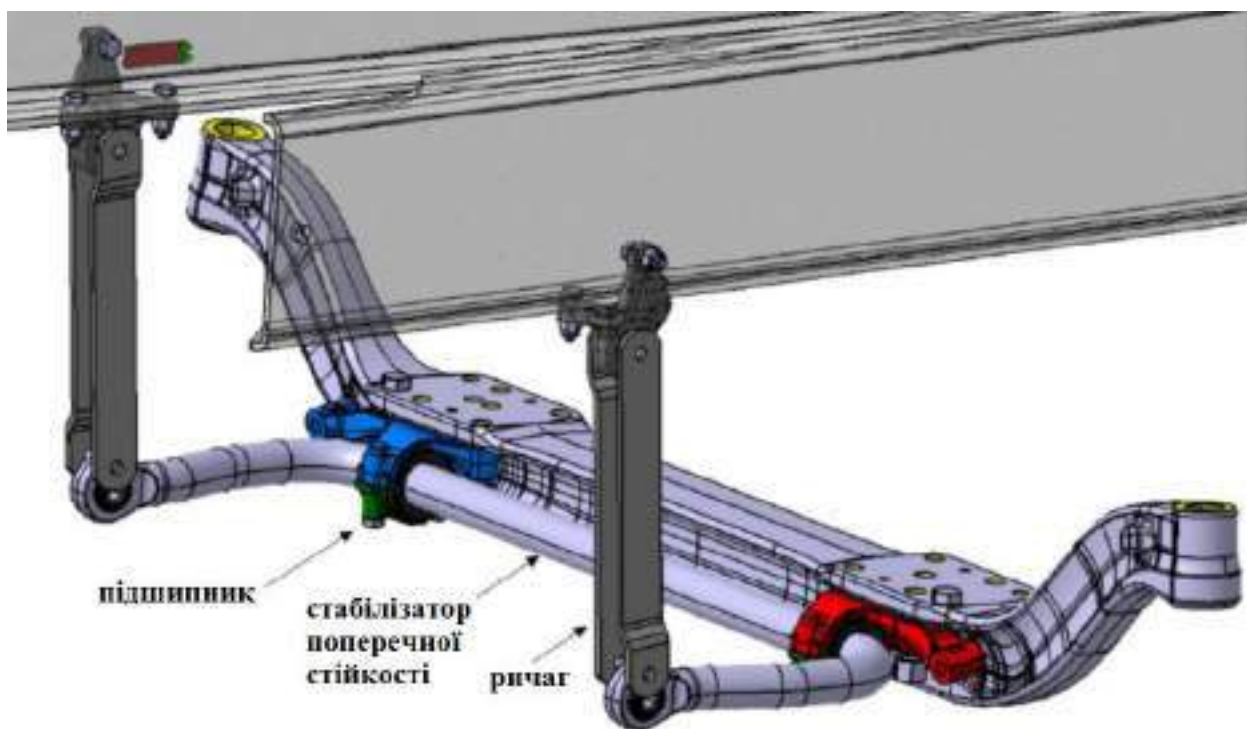


Рисунок 2.14 – Передня тяга ARB Scania RWD.

Кермове управління використовує принцип приведення в дію лівого колеса за допомогою поздовжньої тяги. Потім між поворотними кулаками

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

з'єднується рульова тяга, що також змушує повертатися праве колесо, див. рисунок 2.15.

Конструкція передньої пневматичної підвіски, яка використовувалася до появи поточної, мала чотирирівальну схему з тягою Панара [8], див. рисунок 2.16.

Причиною зміни конструкції для поточного покоління вантажівок було те, що вісь колеса довелося перемістити на 50 мм вперед, тоді як передня точка кріплення мала переміститися назад. Отже, тяги були коротшими. Крім того, видалення тяги Панара зменшило поперечне зміщення колеса внаслідок вертикального зміщення [18].

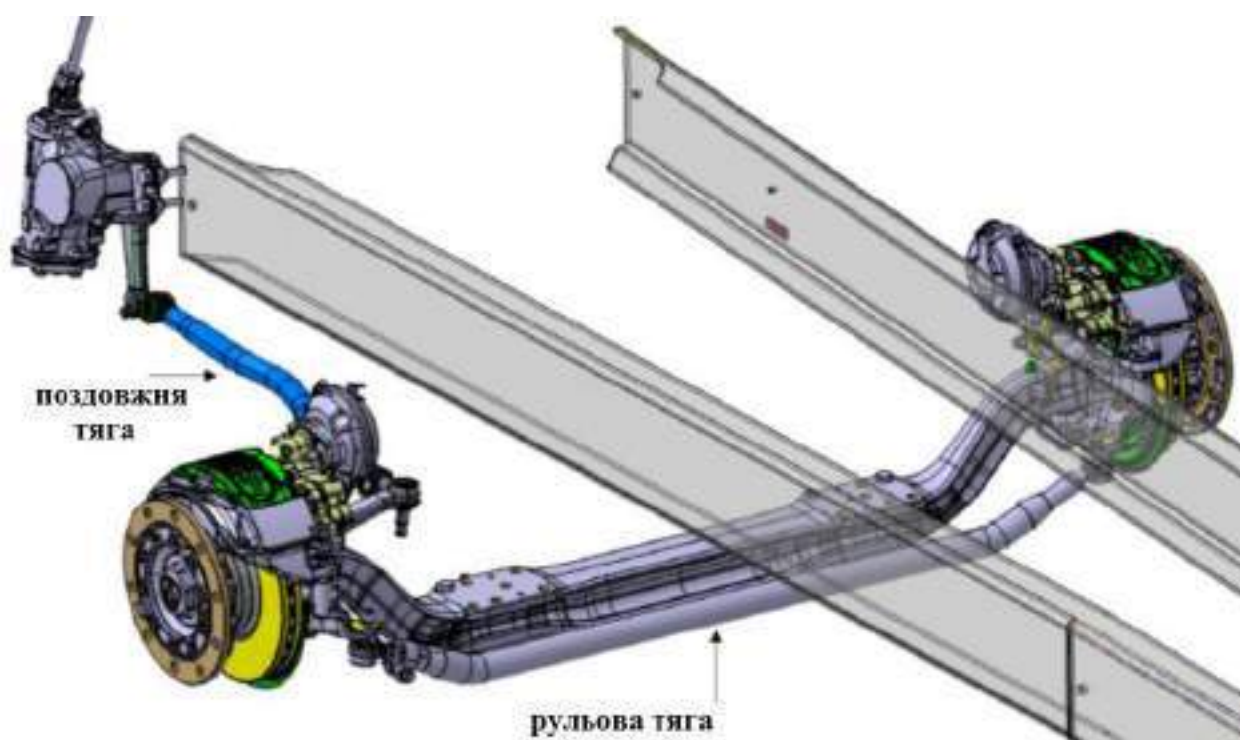


Рисунок 2.15 – Переднє кермо Scania RWD.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

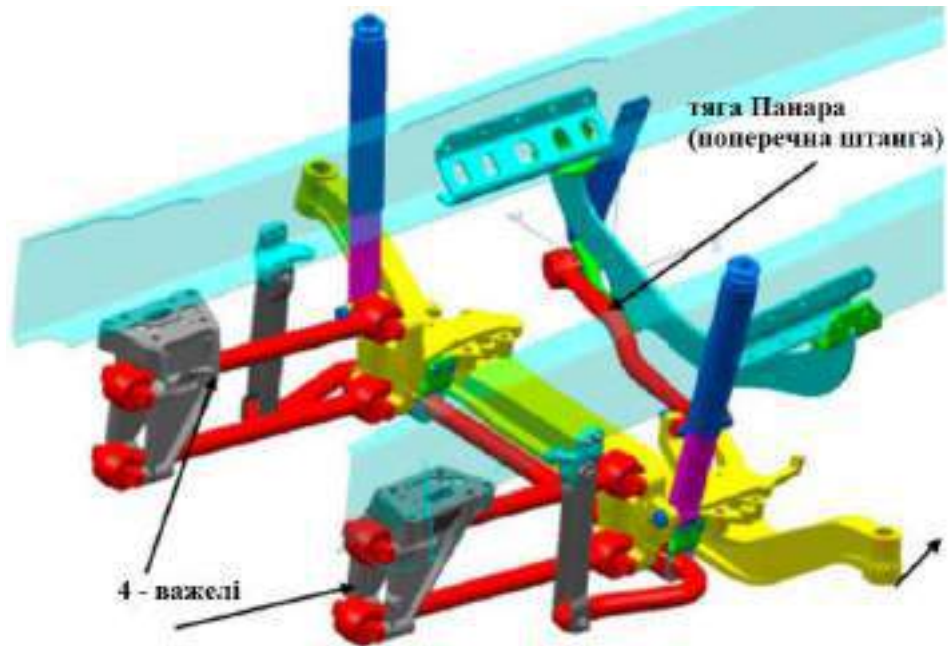


Рисунок 2.16 – Стара конструкція передньої пневматичної підвіски.

2.4.2 Задня пневматична підвіска з двома пневматичними сільфонами.

Найпоширенішою задньою пневматичною підвіскою є тип з двома пневматичними сільфонами на вісь, див. рисунок 2.17.

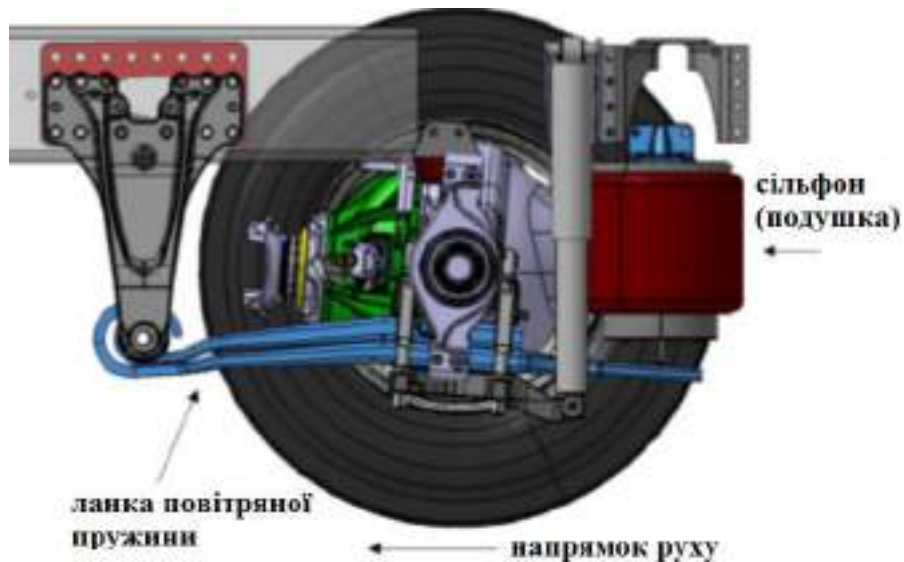


Рисунок 2.17 – Задня пневматична підвіска з двома пневматичними сільфонами Scania RWD.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Підвіска використовує товсту листову пружину, яка називається пневматичною тягою, розташовану під віссю, жорстко закріплену на шасі в одній точці та з пневматичним сильфоном в одній точці. Підвіска має амортизатори, але не має ARB. Поперечні та поздовжні сили сприймаються тягою пневматичної пружності, а вертикальні - тягою пневматичної пружності та пневматичним сильфоном.

2.5 Передньопривідна підвіска.

Пневматична підвіска була вперше впроваджена на передньопривідних вантажівках Scania у 2017 році, тоді вона була налаштована лише для задніх осей, зберігши листові ресори на передній осі. Висота шасі для цієї конфігурації трохи вища, що вимагає регулювання конфігурації задньої пневматичної підвіски.

2.5.1 Передня листова підвіска.

Передня підвіска все ще використовує листові ресори для сприйняття поперечних, поздовжніх та вертикальних навантажень. Існує чотири типи листових ресор, але всі вони кріпляться до осі за допомогою одного напрямного штифта та двох U-подібних болтів на пружину, див. рисунок 2.18 та рисунок 2.19.

Листова ресорна підвіска кріпиться до шасі за допомогою одного жорсткого кріплення спереду та за допомогою скоби (ланки) ззаду, див. рисунок 2.19. Кріплення шасі можуть бути налаштовані зі сталевими або гумовими втулками.

Амортизатор та ARB встановлені на шасі та на передній стороні колісної осі, див. рисунок 2.20 та рисунок 2.21.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

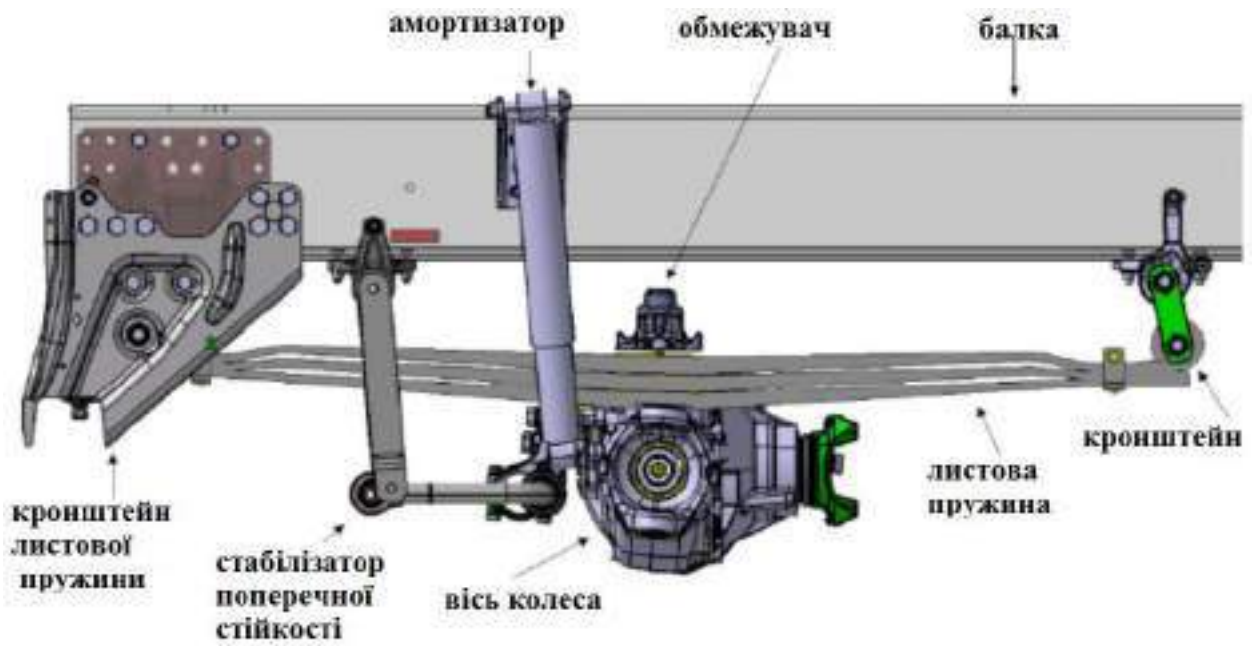


Рисунок 2.18 – Передня підвіска на листовій ресорі Scania AWD

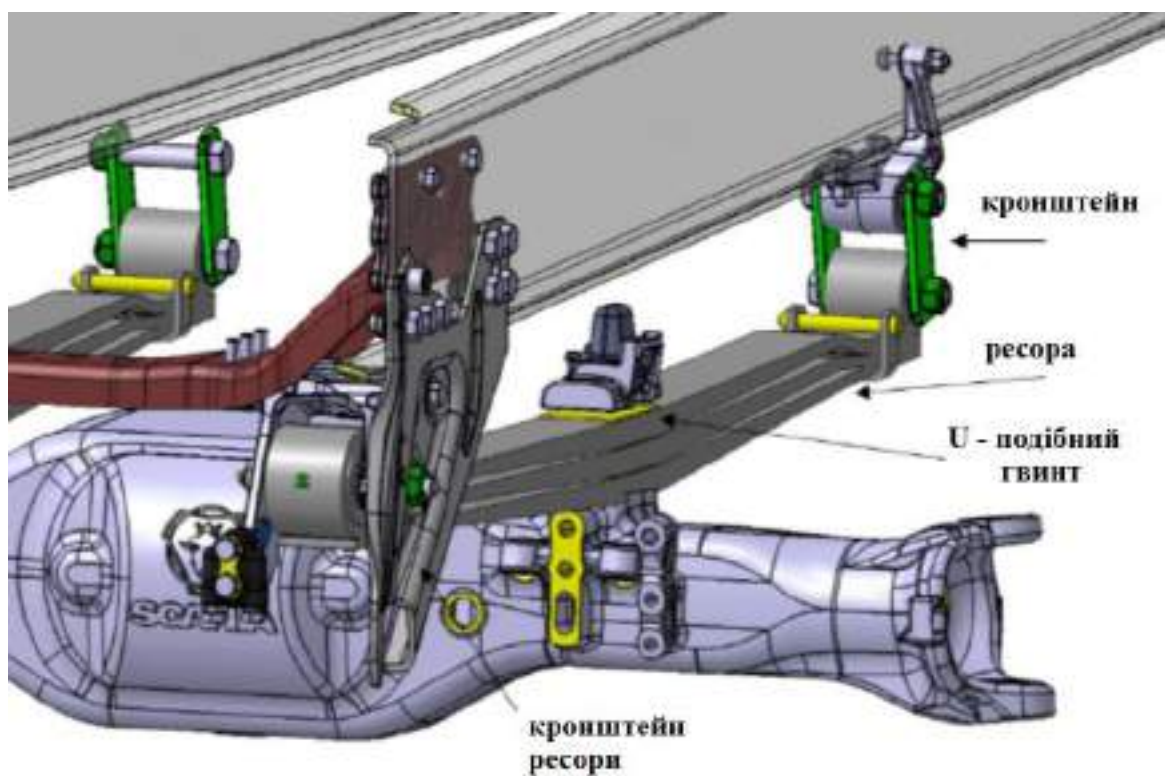


Рисунок 2.19 – Кріплення листової ресори Scania AWD.

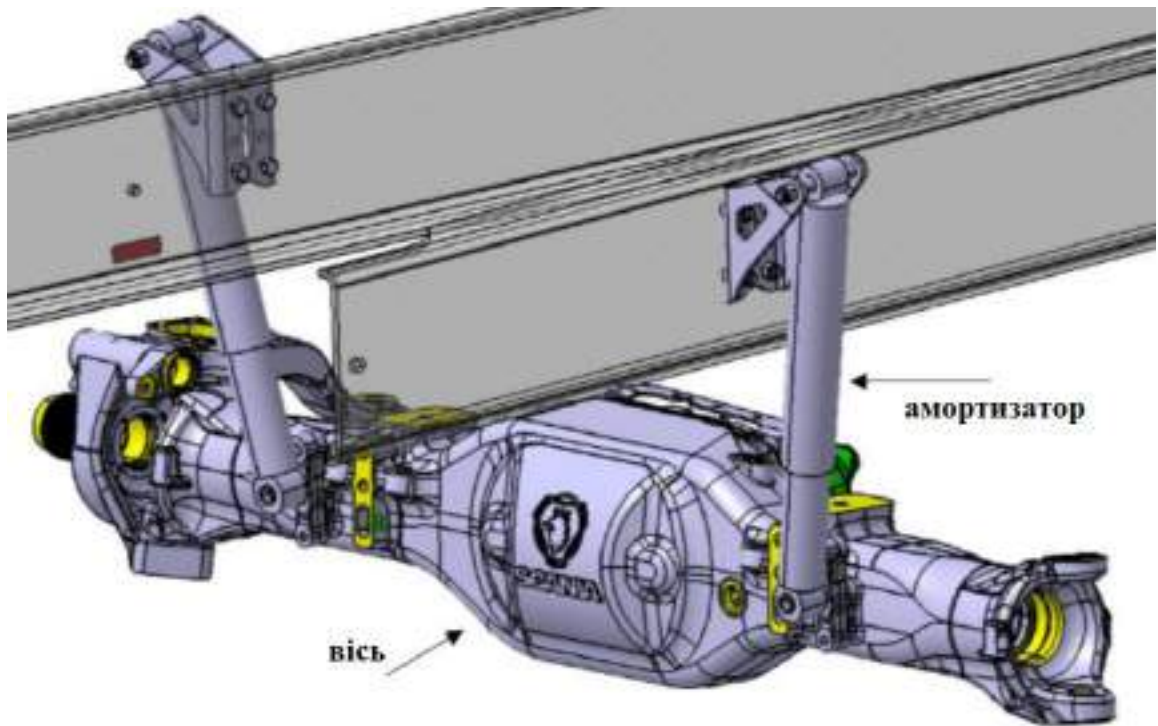


Рисунок 2.20 – Кріплення амортизатора Scania AWD

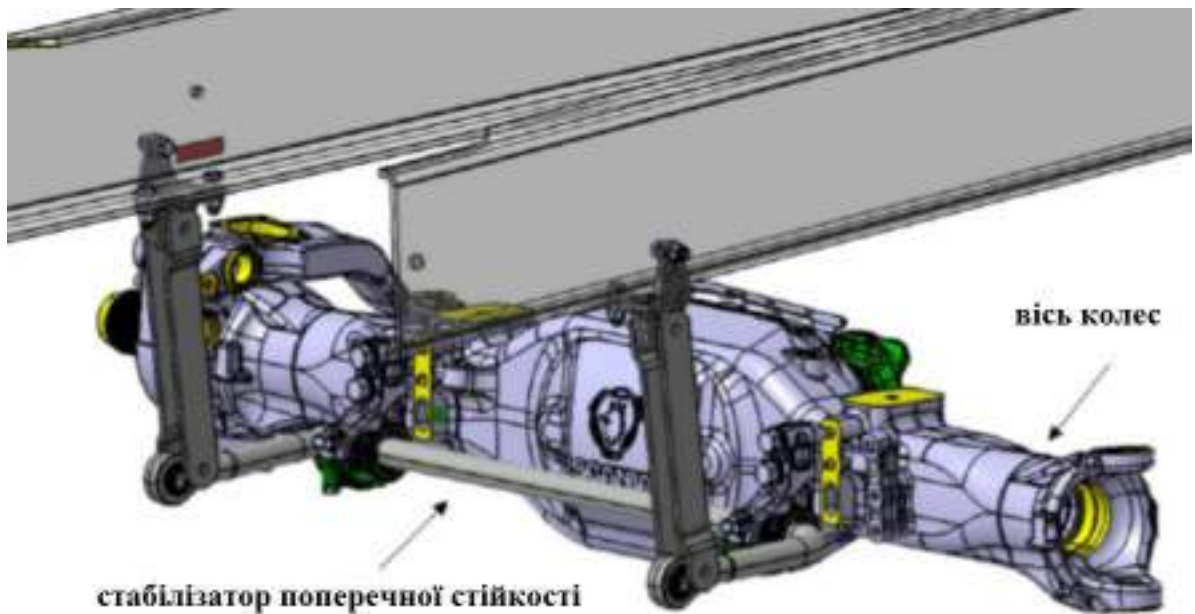


Рисунок 2.21 – Кріплення ARB Scania AWD.

Конструкція кермового управління для переднього приводу подібна до рульового управління заднього приводу, див. рисунок 2.22.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

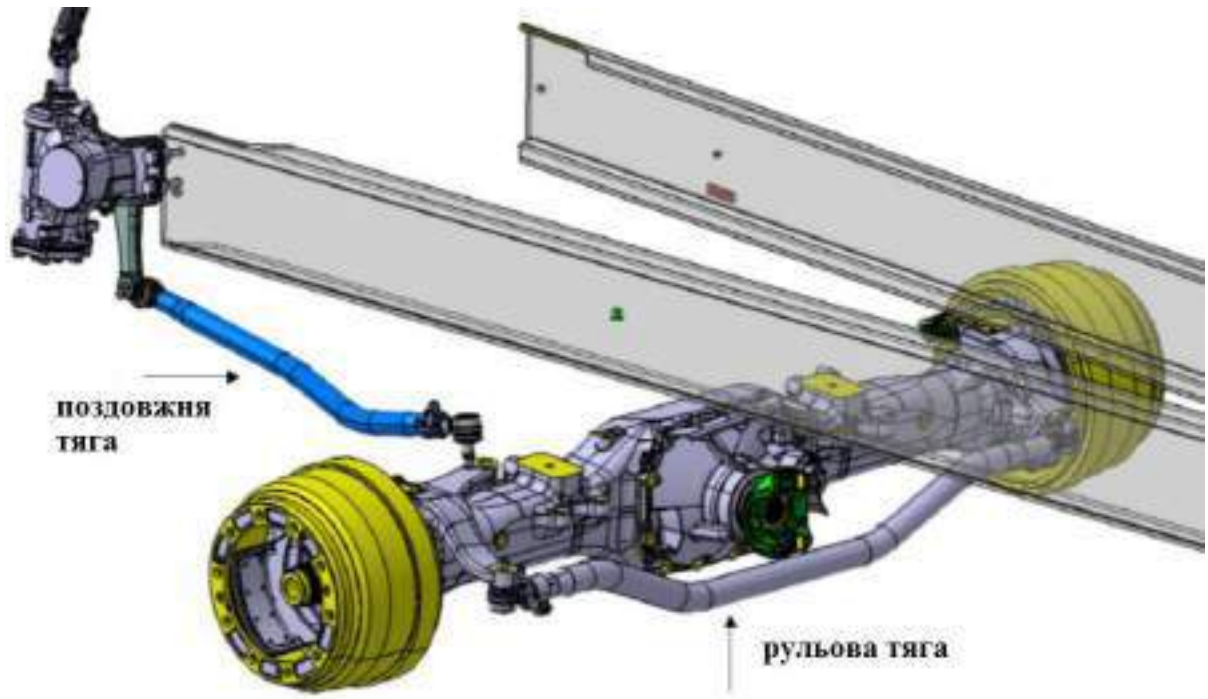


Рисунок 2.22 – Кермове управління Scania AWD.

2.5.2 Задня пневматична підвіска з двома подушками.

Конфігурація підвіски, яку було налаштовано для повного приводу, була такою, що обговорювалася в підрозділі 2.4.2, див. порівняння на рисунку 2.23.

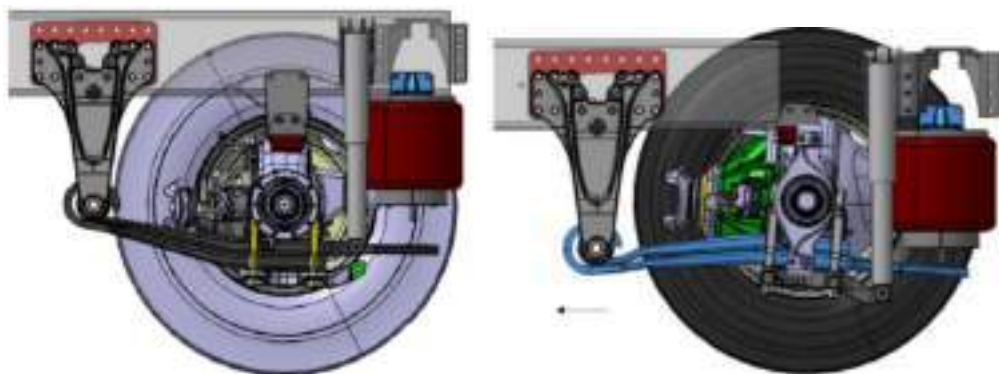


Рисунок 2.23 – Порівняння повного та заднього приводу.

Були внесені основні корективи:

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- 1) Впровадження нової пневматичної пружини для збільшення висоти шасі.
- 2) Зниження положення відбійника відносно шасі за допомогою кронштейна.
- 3) Регулювання кронштейна U-подібного болта/амортизатора.
- 4) Вибір відповідного амортизатора та пневматичного сильфона відповідно до високої висоти шасі.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3 РЕАЛІЗАЦІЯ КОЦЕПЦІЙ

3.1 Специфікація вимог.

Вимоги кінцевого користувача розглядалися як бажані та обов'язкові вимоги клієнта. До них належать відображення завантаження вантажівки, хороший комфорт водія, достатня вантажопідйомність, зручність обслуговування, опції повного приводу, модульність системи, термін служби вантажівки та додаткові витрати на систему.

Корпоративні вимоги розглядалися як обов'язкові та бажані вимоги до системи. До них належать вимоги до виробництва, компонентів, можливостей модульності, патентних знань та прибутку компанії.

Суспільні вимоги розглядалися як закони та законодавчі акти, яких система повинна дотримуватися. Вони також включали вимоги запобігання виробничим травмам та підтримки стійкості системи.

3.2 Розробка концепцій.

Розробка концепції була розпочата створенням FMT (модельної моделі транспортування), де були визначені різні функції, по-друге, було проведено мозковий штурм різних способів вирішення цих функцій. FMT. На основі різних способів у FMT для подачі потужності передньої осі, що забезпечують поперечну та поздовжню підтримку передньої осі, було визначено кілька комбінацій, див. таблицю 3.1 та таблицю 3.2.

Деякі комбінації вважалися неможливими, оскільки вони являють собою комбінацію листових ресор та чотириланкової конструкції. По-друге, деякі з них можливі, але неактуальні, наприклад, поєднання стрижня Панара з листовими ресорами.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Альтернативні способи FMT.

Функція	Значення	
F1b.1 застосувати потужність FW	M1b. 1a.	Гідравлічна система
	M1b. 1b.	Механічна система
F6b.2 бічна опора	M6b. 2a.	Листова пружина
	M6b. 2b.	Стрижень Панара
	M6b. 2c.	4 - важільна
	M6b. 2d.	Ватт - ланка
F6b.3 поздовжня опора	M1b. 3a.	Листова пружина + торсіонний стрижень
	M1b. 3b.	4 - важільна

Таблиця 3.2 – Спосіб комбінацій.

комбінації				можливий	доречний	варіанти
1	M1b.1a.	M6b.2a.	M6b.3a.	✓	✓	Варіант 1
2	M1b.1a.	M6b.2a.	M6b.3b.	✗	✗	-
3	M1b.1a.	M6b.2b.	M6b.3a.	✓	✗	-
4	M1b.1a.	M6b.2b.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 2
5	M1b.1a.	M6b.2c.	M6b.3a.	✗	✗	-
6	M1b.1a.	M6b.2c.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 3
7	M1b.1a.	M6b.2d.	M6b.3a.	✓	✗	-
8	M1b.1a.	M6b.2d.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 4
9	M1b.1b.	M6b.2a.	M6b.3a.	✓	✓	Варіант 5
10	M1b.1b.	M6b.2a.	M6b.3b.	✗	✗	-
11	M1b.1b.	M6b.2b.	M6b.3a.	✓	✗	-
12	M1b.1b.	M6b.2b.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 6
13	M1b.1b.	M6b.2c.	M6b.3a.	✗	✗	-
14	M1b.1b.	M6b.2c.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 7
15	M1b.1b.	M6b.2d.	M6b.3a.	✓	✗	-
16	M1b.1b.	M6b.2d.	M6b.3b.	✓	✓	Варіант 8

Це вважалося неактуальним, оскільки сучасні листові ресори можуть сприймати поперечні навантаження без додаткової підтримки. Результатом стало вісім різних варіантів, позначених зеленим кольором у таблиці 3.2.

3.2.1 Концепція 1 – Гідравлічний передній привід, листові ресори.

Першою концепцією, створеною на основі FMT, був варіант гідравлічного приводу з листовими ресорами. Ідея цієї концепції полягала в поєднанні повністю пневматичної підвіски, подібної до тієї, що використовується Scania для вантажівок без переднього приводу, з гідравлічним приводом для передньої осі. Гідравлічний привід зазвичай працює на швидкостях до 20...30 км/год. На вищих швидкостях гідравлічна система вимикається, і вантажівка натомість рухається як задньопривідна система. Концепція представлена на рисунку 3.1.

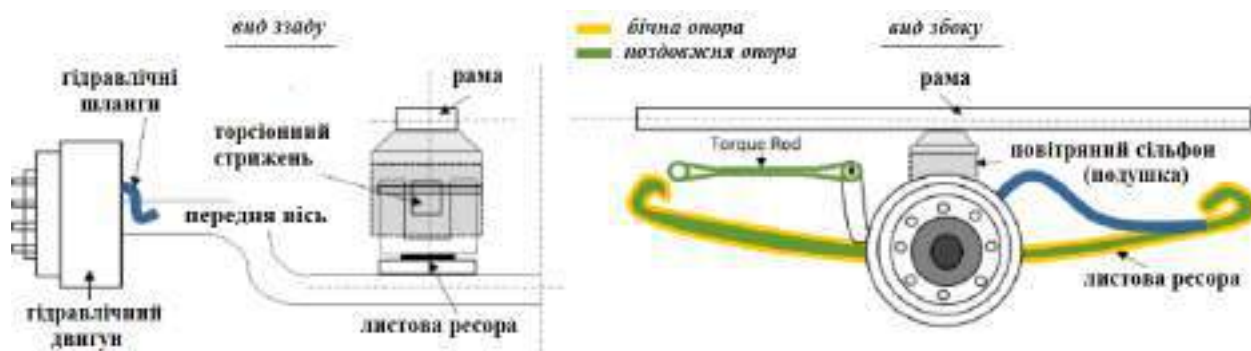


Рисунок 3.1 – Концепція 1.

Основними компонентами концепції для сприйняття навантажень є пневматичні сільфони та листові ресори, де пневматичні сільфони в основному сприймають вертикальні навантаження, а листові ресори – поперечні та поздовжні навантаження. Тяга регулює обертання осі. Гідравлічні двигуни живляться тиском масла від гідравлічної насосної системи.

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3.2.2 Концепція 2 – Гідравлічний передній привід, чотириланкова система зі тягою Панара.

Друга концепція була схожою на передню пневматичну підвіску попереднього покоління на вантажівках Scania, але тут з гідравлічним переднім приводом. Система гідравлічного приводу функціонує аналогічно системі, описаній у підрозділі 3.2.1.

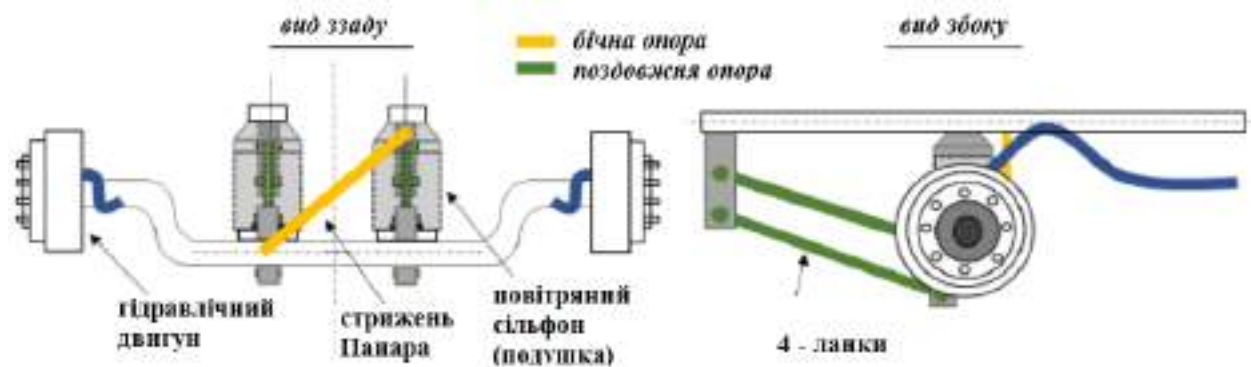


Рисунок 3.2 – Концепція 2

Поздовжні сили сприймаються чотириланковою системою, а поперечні сили – тягою Панара, див. рисунок 3.2.

3.2.3 Концепція 3 – Гідравлічний передній привід, чотириланкова система.

Третя концепція поєднувала гідравлічний привід з чотириланковою системою. Система проілюстрована на рисунку 3.3.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

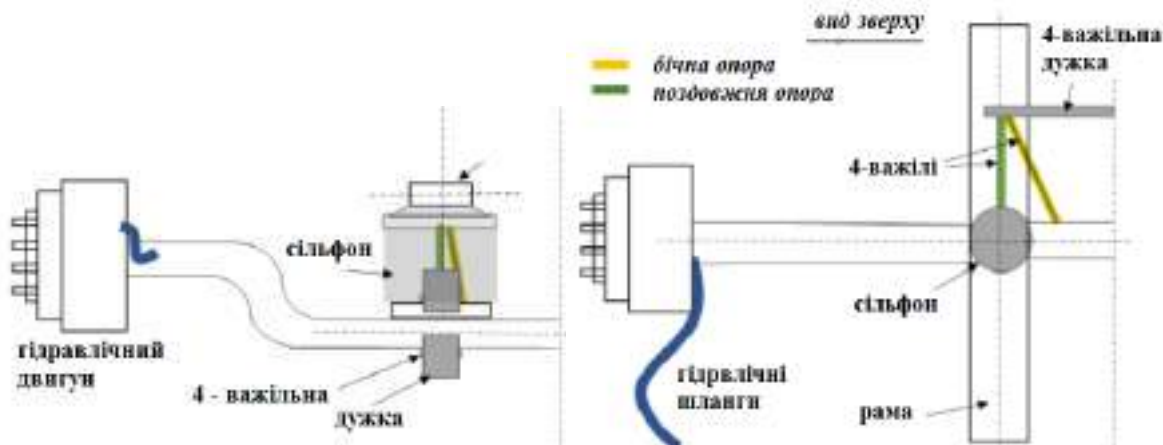


Рисунок 3.3 – Концепція 3.

Призначення чотирьох тяг – сприймати поперечні та поздовжні сили. Гідралічна система працює аналогічно концепціям, проілюстрованим вище.

3.2.4 Концепція 4 – Гідралічний передній привід, чотириланкова система з тягою Ватта.

Четверта концепція була схожою на передню пневматичну підвіску попереднього покоління на вантажівках Scania, але тут з гідралічним переднім приводом та системою з тягою Ватта.

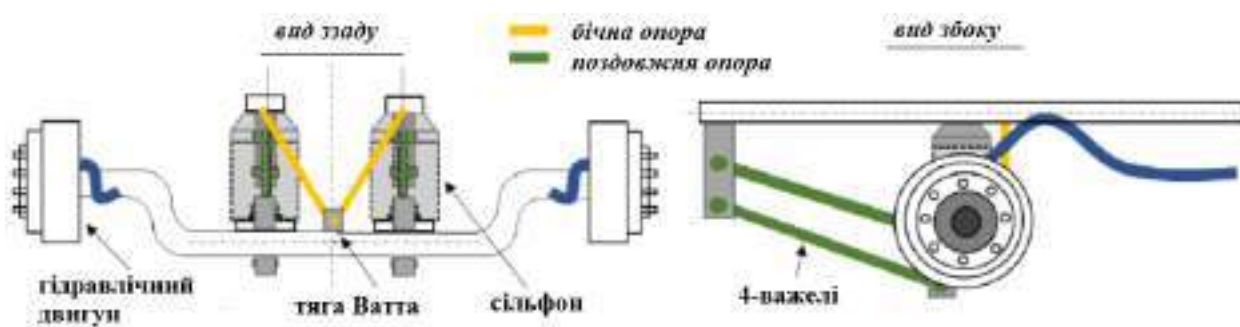


Рисунок 3.4 – Концепція 4

Поздовжні сили сприймаються чотириланковою системою, а поперечні сили – ланкою Ватта, див. рисунок 3.4.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3.2.5 Концепція 5 – Механічний передній привід, листові ресори.

П'ята концепція являла собою систему, яка поєднує поточний передній привідний міст Scania з пневматичною підвіскою, листовими ресорами та тягами. Ця концепція представлена на рисунку 3.5.

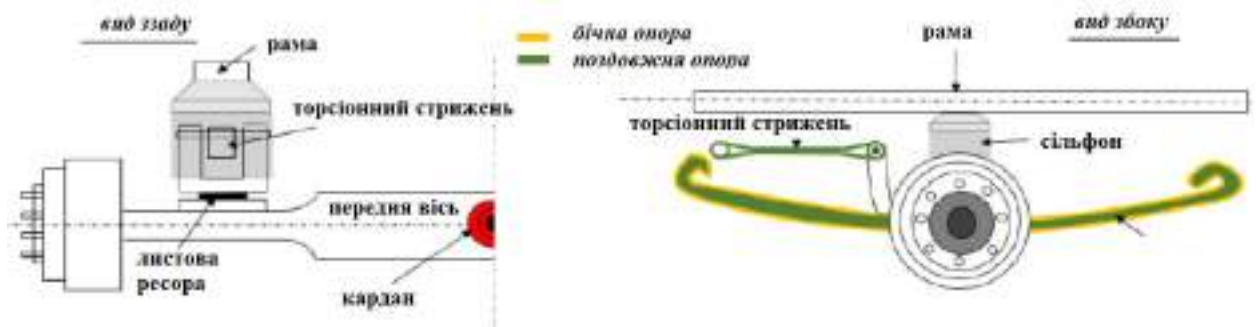


Рисунок 3.5 – Концепція 5.

Концепція 5 була подібною до Концепції 1, з тією різницею, що полягала в механічному приводі замість гідравлічного. Основними компонентами концепції для сприйняття навантажень є пневматичні сільфони та листові ресори, де пневматичні сільфони в основному сприймають вертикальні навантаження, а листові ресори – поперечні та поздовжні навантаження. Тяга здійснює обертання осі.

3.2.6 Концепція 6 – Механічний передній привід, чотириланкова система з тягою Панара.

Шоста концепція поєднувала передню пневматичну підвіску попереднього покоління на вантажівках Scania з механічно керованим переднім мостом.

Поздовжні сили сприймаються чотириланковою системою, а поперечні сили – тягою Панара, див. рисунок 3.6.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

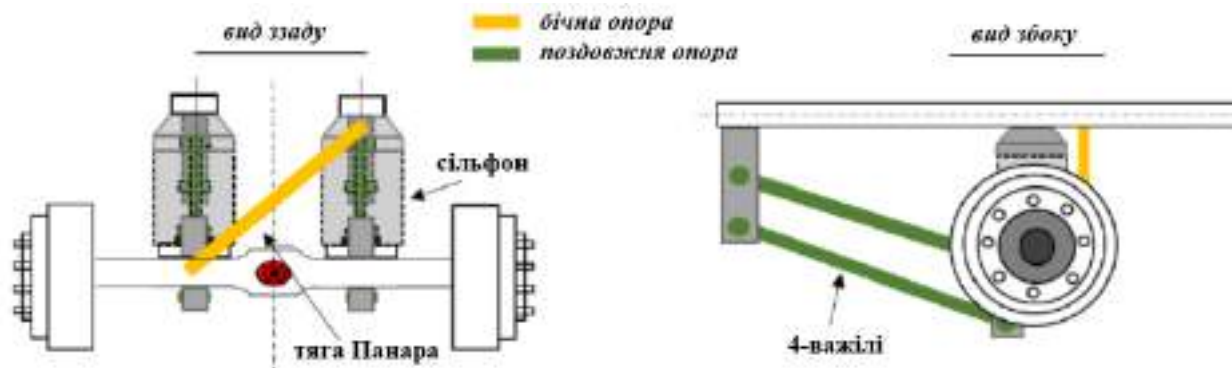


Рисунок 3.6 – Концепція 6.

3.2.7 Концепція 7 – Механічний передній привід, чотириланкова система.

Сьома концепція поєднувала механічний привід з чотириланковою системою. Це показано на рисунку 3.7.

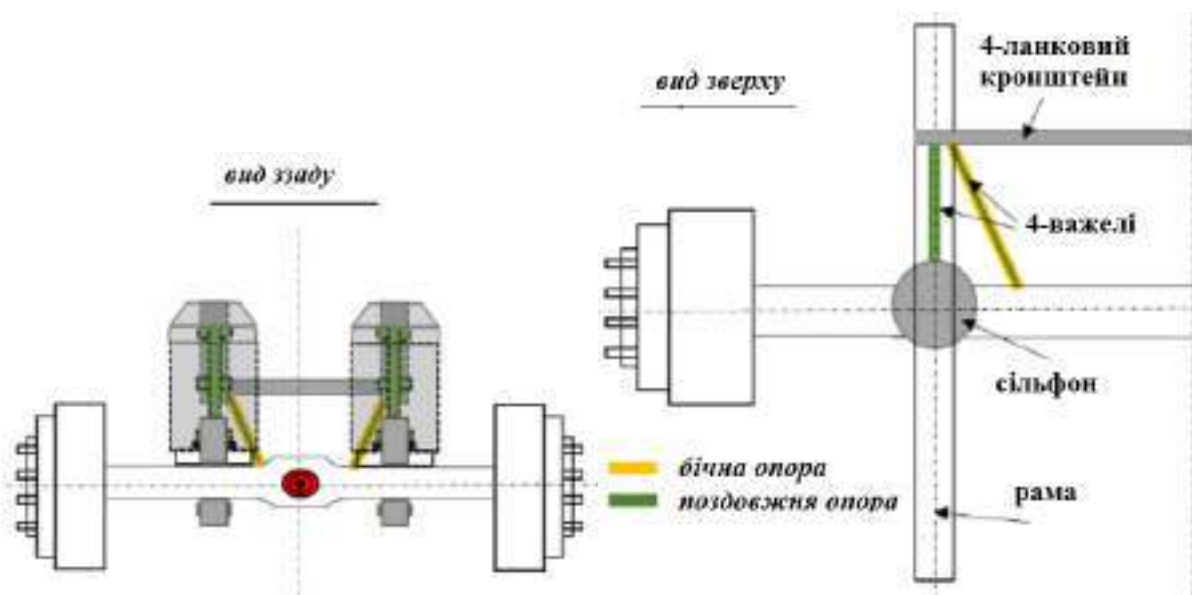


Рисунок 3.7 – Концепція 7

Концепція 7 була подібною до концепції 3, з тією різницею, що полягала в механічному приводі замість гідравлічного. Призначення чотирьох тяг – сприймати поперечні та поздовжні сили.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.2.8 Концепція 8 – Механічний передній привід, чотириланкова система з тягою Ватта.

Восьма концепція поєднувала передню пневматичну підвіску попереднього покоління на вантажівках Scania з механічно керованим переднім мостом та тягою Ватта замість тяг Панара.

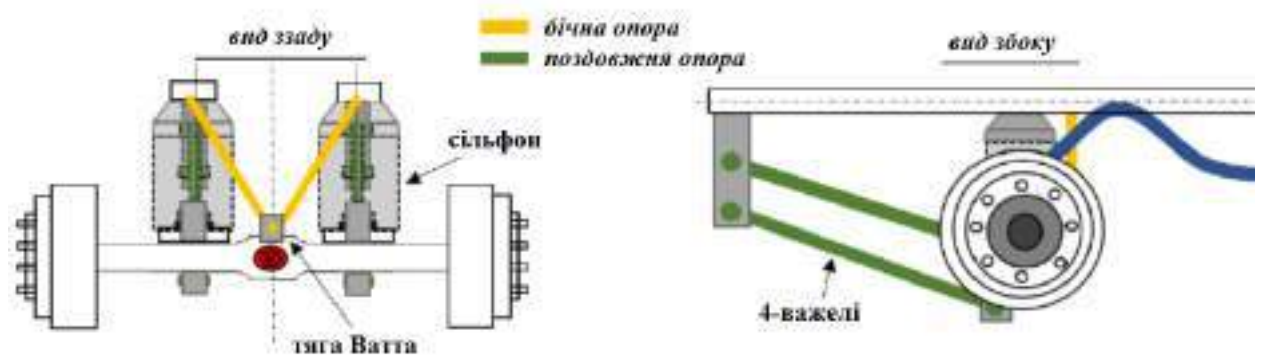


Рисунок 3.8 – Концепція 8.

Поздовжні сили сприймаються чотириланковою системою, а поперечні сили – системою Ватта, див. рисунок 3.8.

3.3 Оцінка концепцій.

Для оцінки різних концепцій, розроблених у розділі 3.2, було побудовано незважену матрицю П'ю. Системні критерії, що використовувалися для цієї оцінки, базувалися на функціях та вимогах, зазначених у FMT та QFD. Матриця П'ю проілюстрована в таблиці 3.3.

Поперечне зміщення осі. Вважається, що концепції зі стрижнем Панара мають гірше поперечне зміщення осі, оскільки стрижень змушує вісь рухатися в поперечному напрямку при вертикальному русі. Листова ресора, чотириланкова система та система Ватта також рухатимуться в поперечному напрямку, але рівномірно при поперечному навантаженні.

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 3.3 – Матриця П'ю.

Концепції (варіанти)		1	2	3	4	5	6	7	8
Динаміка автомобіля	поперечне зміщення осі		-	S	S	S	-	S	S
	поздовжнє зміщення осі		-	-	-	S	-	-	-
	висота шасі		S	S	S	S	S	S	S
	висота центру валу		S	S	S	-	-	-	-
Продуктивність	корисне навантаження		S	S	S	-	-	-	-
	переднє керування		S	S	S	+	+	+	+
	простота		-	S	-	+	+	+	+
	стійкість		S	S	S	+	+	+	+
	модульність		S	S	S	-	-	-	-
Нові компоненти	нові розміри і компоненти		S	-	-	+	+	-	-
	редизайн компонентів		-	S	-	-	-	S	-
	нові запчастини для придбання		S	S	S	+	+	+	+
	зміни програмного забезпечення		S	S	S	+	+	+	+
	необхідність сертифікації		S	S	S	+	+	+	+
Вартість	вартість проектування		-	-	-	+	+	+	+
	вартість складання		-	-	-	+	+	+	+
	вартість компонентів		S	S	S	S	S	S	S
	експлуатаційні витрати		S	S	S	-	-	-	-
	частки ринку		S	S	S	-	-	-	-
Разом негативних сторін (-)			6	4	6	6	8	7	8
Разом позитивних сторін (+)			0	1	1	9	9	8	8
порівняння			-6	-3	-5	3	1	1	0

Поздовжнє зміщення осі. Очікується, що концепції з чотириважільною системою матимуть більше поздовжнє зміщення осі при вертикальному переміщенні, оскільки вісь обертатиметься навколо кріплень чотириважільної системи. Частково це стосується і ресорної конструкції

через тягу крутного моменту, але цьому запобігає той факт, що листова ресора встановлена з обох боків осі.

Висота шасі та висота центру крену. Для оцінки висоти шасі та висоти руху концепцій з механічно керованою передньою віссю та з пневматичною підвіскою використовувалися показники з поточних систем. Додавши загальну висоту пневматичної підвіски до механічної передньопривідної системи, можна було оцінити висоту руху та висоту переднього центру крену.

Висота пневматичної підвіски "Нормальна" 761 мм, та "Низька" 662 мм. призвела до значного збільшення висоти руху порівняно з найвищим варіантом листової підвіски з повним приводом та пневматичної підвіски із заднім приводом. Крім того, висота пневматичної підвіски "Низька" забезпечила подібну висоту руху, але нижчу висоту переднього центру крену. Таким чином, вимога щодо висоти шасі була досягнута, але знадобилося подальше дослідження градієнта крену.

Розрахована висота руху була використана для концепцій з 5 по 8, припускаючи, що чотириланкова система матиме аналогічну загальну висоту пневматичної підвіски, як і ресорна система, оскільки основна частина висоти припадала на пневматичний баллон та його кріплення. Висота центру переднього крену повинна бути аналогічною для тяги Панара та чотириланкової системи, але, можливо, трохи нижчою для тяги Ватта.

Корисне навантаження. Очікувалося, що гідравлічні концепції, концепції 1-4, матимуть меншу вагу, ніж механічні рішення, що дозволить збільшити корисне навантаження.

Характеристики переднього приводу. Як обговорювалося вище, гідравлічні системи переднього приводу зазвичай передають потужність, генеруючи до 20...30 км/год, перш ніж вони вмикаються. Тому характеристики механічної системи вважалися кращими.

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Простота. Оскільки задні осі будуть постійно приводитися в рух механічними системами, додавання гідравлічного переднього приводу означатиме менш просту конструкцію порівняно з використанням механічного переднього приводу. Це ілюструється порівнянням систем, показаних на рисунку 2.1 та рисунку 2.2. Крім того, системи підвіски, які використовують важелі для бічної підтримки, тобто пружинні тяги або кутові верхні чотириважелі, також будуть простішими, ніж наявність додаткових компонентів, тобто тяги Панара або тяги Ватта.

Міцність. Гідравлічні шланги та муфти іноді ламаються через високий внутрішній тиск. Тому механічний передній привід вважається більш надійним. Порівняння між конструкціями підвіски не проводилося.

Модульність. Оскільки гідравлічний передній привід можна буде налаштувати з будь-якою висотою шасі порівняно з механічним переднім приводом, що можливо лише при високій висоті шасі, гідравлічний передній привід вважався таким, що має кращу модульність.

Зміни в програмному забезпеченні. Впровадження гідравлічного переднього приводу вимагатиме нових функцій програмного забезпечення [17]. Це означає, що механічний передній привід дешевший за програмне забезпечення.

Необхідність сертифікату. Гідравлічний передній привід вимагає модифікації гальмівного диска, а це означає, що сертифікат гальм, тобто Директива 71/320/ЄЕС та Регламент (ЄС) № 661/2009, потребує дослідження. Це може, як наслідок, вплинути на схвалення типу всього транспортного засобу.

Вартість проектування. Розглядаючи вартість проектування, проектування повністю нових деталей вважалось дорожчим, ніж редизайн. Загалом це означає, що:

- 1) Гідравлічний передній привід дорожчий за механічний,
- 2) Листова ресорна система дешевша за чотириланкову,

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3) Тяга Панара дешевша за важільну систему Ватта та кутову верхню чотириланкову систему.

Вартість складання. Впровадження гідравлічного приводу вимагатиме багато роботи для реалізації під час складання. Це було б так само для іншої підвіски, ніж поточна, але очікується, що вона буде меншою, ніж для гідравлічного приводу. З огляду на це, Концепція 5 була визнана найбільш підходящою концепцією з точки зору вартості складання.

Вартість компонентів. Згідно з аналізом витрат [17], початкова вартість механічного та гідравлічного переднього приводу досить схожа. Висновки щодо різниці між різними конструкціями підвіски не зроблено.

Експлуатаційні витрати. Концепції з гідравлічним переднім приводом, за оцінками, матимуть нижчі експлуатаційні витрати, ніж ті, що мають механічні системи приводу. Однак це базувалося на оціночних розрахунках і, отже, вимагатиме подальшої роботи та перевірки для отримання більш певних результатів.

Частки ринку. Очікується, що всі концепції збільшать частку ринку Scania завдяки передньому приводу з опцією пневматичної підвіски. Однак, зокрема, гідравлічний передній привід пропонують конкуренти, але не Scania. Завдяки цьому потенціал для залучення клієнтів ще вищий.

3.4 Порівняльний аналіз концепцій.

Розробка концепції включала комплексне порівняння концепцій з найкращими оцінками з розділу 3.3, тобто Концепції 1 та Концепції 5. Досліджувані для концепцій області включали аналіз інтерференції, аналіз сили та аналіз градієнта крену.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

3.4.1 Аналіз інтерференції.

Було проведено дослідження за допомогою Catia v5, під час якого були виявлені інтерференції компонентів.

Концепція 1. Під час дослідження Концепції 1 використовувалися такі частини:

- а) Розбирання вантажівки A4x2NB.
- б) Деталі з проекту On-demand FWD [17].

Частини були відкриті в контексті, що проілюстровано на рисунках 3.9 та 3.10.

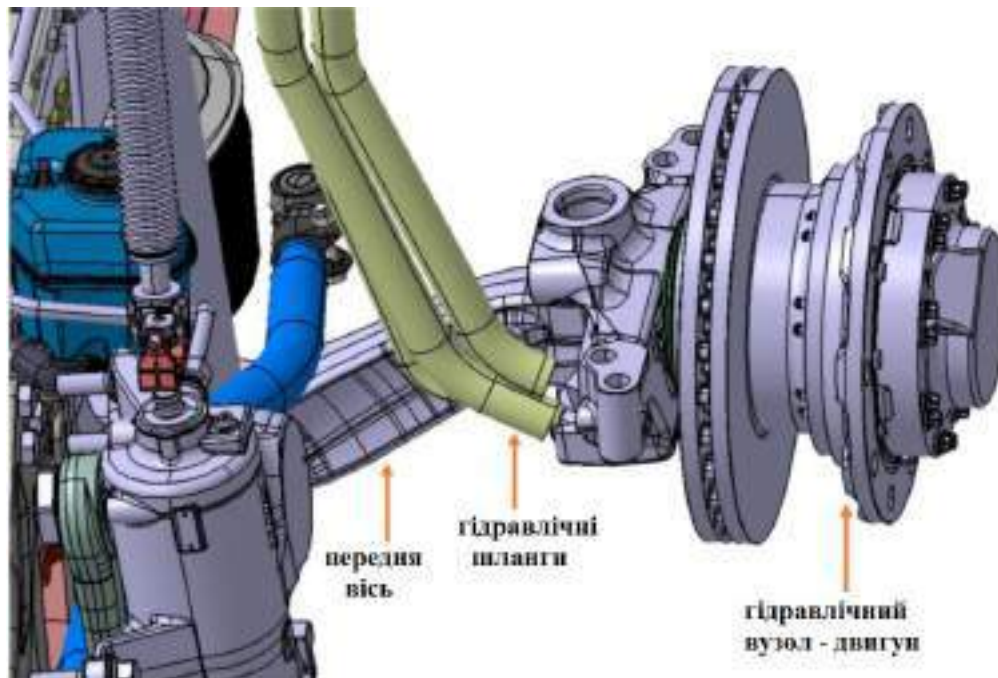


Рисунок 3.9 – Концепція 1. Дослідження інтерференції 1.

Як обговорювалося в підрозділі 3.3 компоненти, які необхідно переробити для сумісності з передньою віссю Scania:

- 1) Поворотний кулак.
- 2) Маточина колеса.
- 3) Гальмівний диск.

Однак геометрично, система пневматичної підвіски може залишитися незмінною, якщо обрано концепцію переднього приводу на вимогу з

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

використанням поточного неведучого мосту. Якщо використовуватиметься повна конфігурація переднього мосту MAN, це буде інший випадок, що вимагатиме зміни інтерфейсу між кронштейном тяги та віссю колеса.

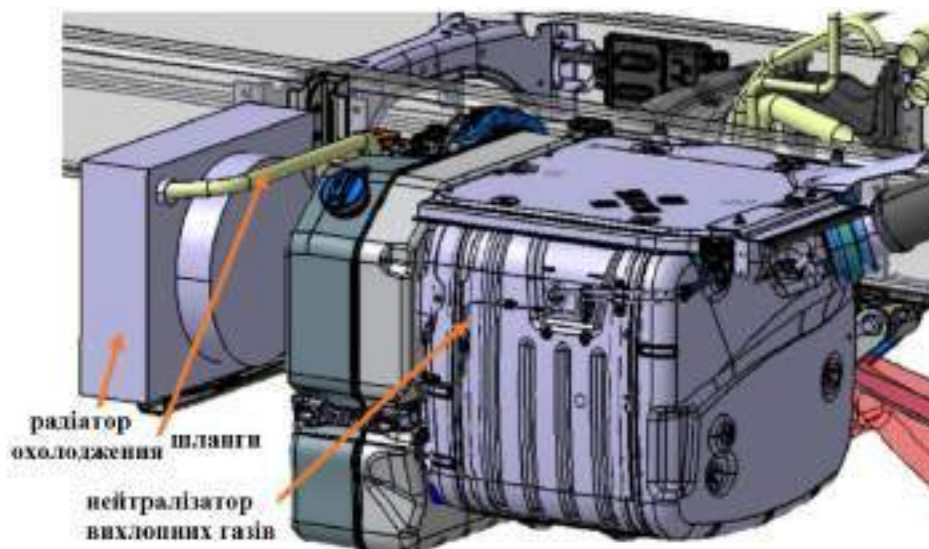


Рисунок 3.10 – Концепція 1. Дослідження інтерференції 2.

В ідеалі, гідравлічні шланги не повинні проходити повз гарячі компоненти. Тому початкова концепція розміщення його поблизу системи нейтралізації вихлопних газів не є кращою [17].

Концепція 5. Під час дослідження можливості використання поточних деталей Scania для проектування Концепції 5 були використані такі деталі:

- а) Розбирання вантажівки А4х4НА, барабанні гальма з EBS.
- б) Поломка підвіски від А4х2ЕВ, дискові гальма з EBS.

Дві поломки були розкриті в контексті, що проілюстровано на рисунках 3.11 та 3.12.

Тут поперечина пневматичної підвіски та передня вісь були розташовані дуже близько одна до одної. Це означало, що два компоненти інтерферували, коли підвіска стискалася. Загалом, система пневматичної підвіски добре підійшла до веденої передньої осі.

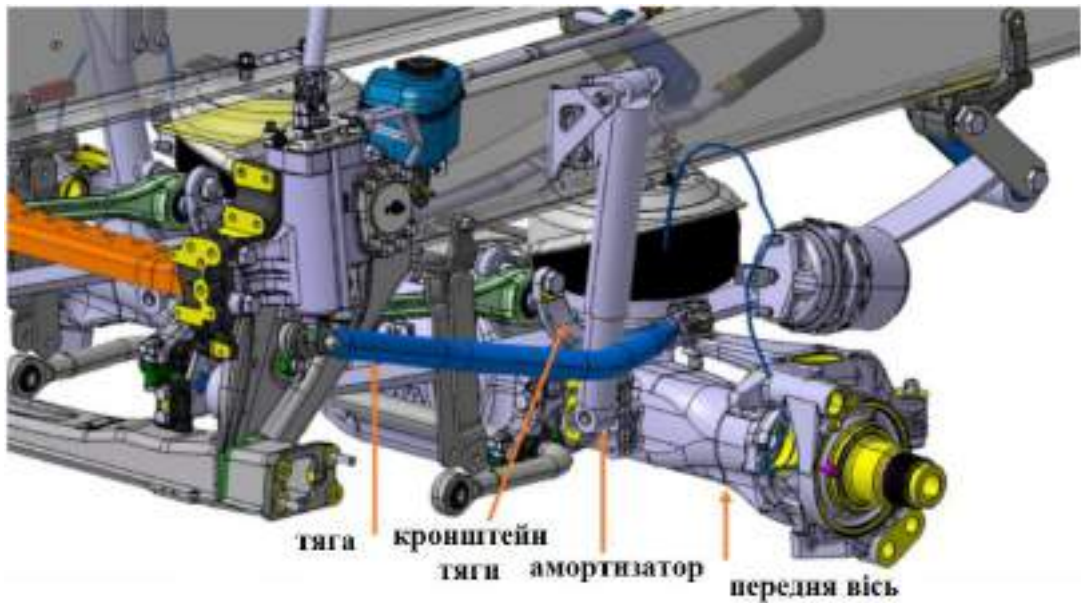
					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



передня вісь

поперечна балка

Рисунок 3.11 – Концепція 5. Дослідження інтерференції 1.



тяги

кронштейн

тяги

амортизатор

передня вісь

Рисунок 3.12 – Концепція 5. Дослідження інтерференції 2.

Крім того, амортизатор від поломки а) заважав кронштейну тяги, див. рисунок 3.13.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

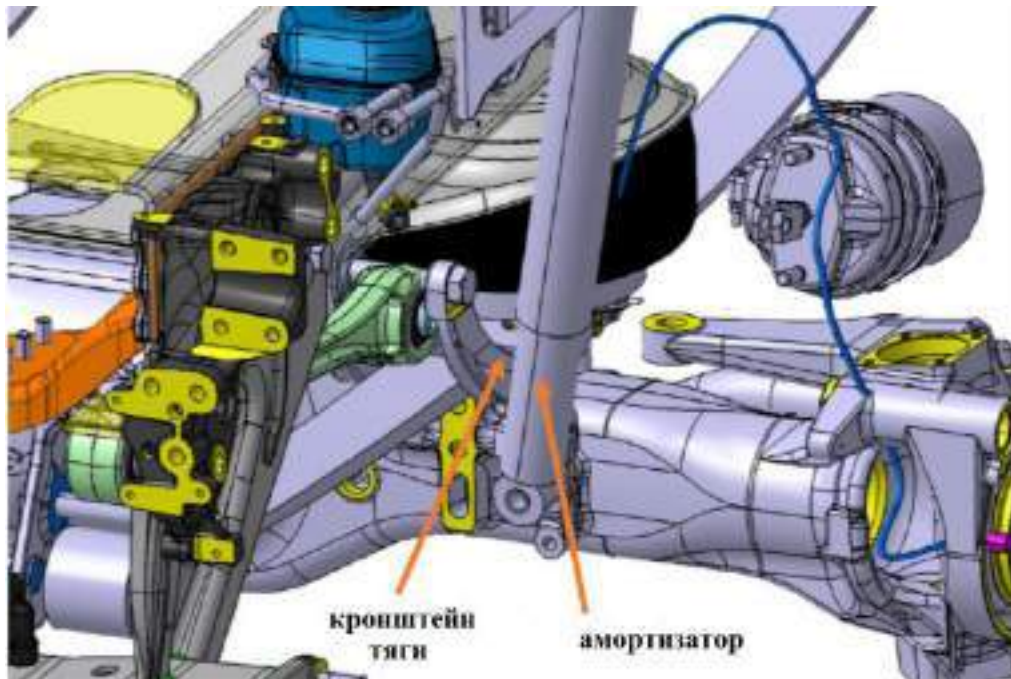


Рисунок 3.13 – Концепція 5. Дослідження інтерференції 3.

Амортизатор також був близько до гальмівної тяги, див. рисунок 3.12. Крім того, кінець тяги на гальмівній тязі, який кріпиться до поворотного кулака, заважав пневматичному сильфону, коли підвіска стискалася, див. рисунок 3.14.

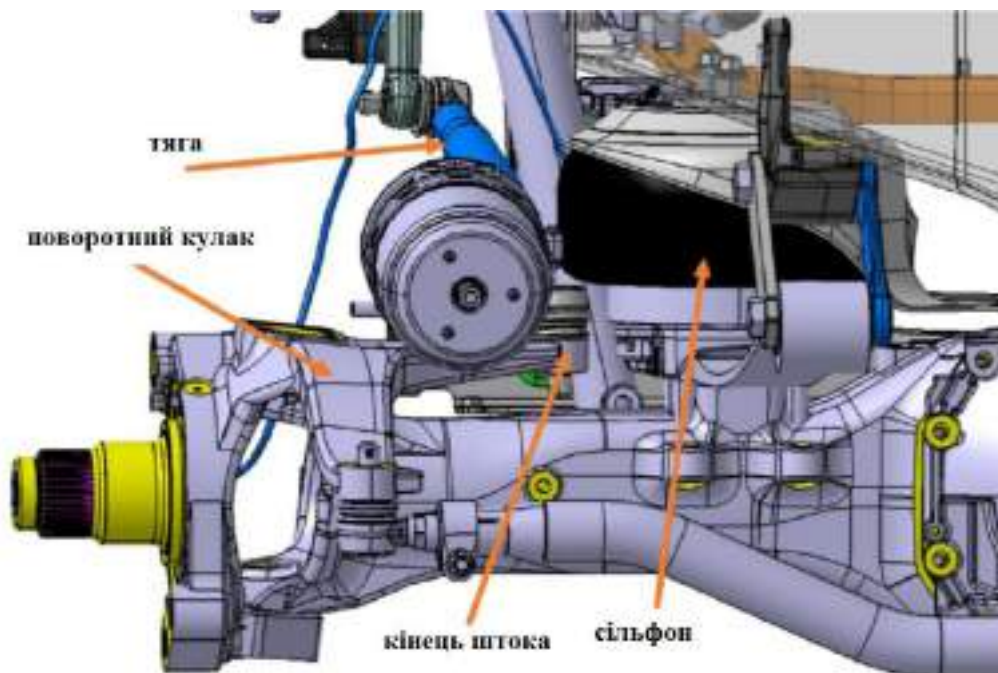


Рисунок 3.14 – Концепція 5. Дослідження інтерференції 4.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Місце кріплення на веденій та ведучій осях було досить різним. Ведуча вісь використовувала два кутові U-подібні болти для затискання листової ресори, тоді як ведена мала чотири вертикальні болти до кронштейна тяги. Крім того, направляючий штифт для пневматичної тяги був більшим, ніж для листової ресори, а це означало, що отвір у ведучій осі був занадто малим. Це показано на рисунку 3.15.

Підсумовуючи, потенційні інтерференції або відхилення інтерфейсу були такими:

- 1) Поперечина – передня вісь
- 2) Амортизатор – кронштейн тяги.
- 3) Тяга – пневматичний сільфон.
- 4) Інтерфейс кріплення підвіски – передня вісь.

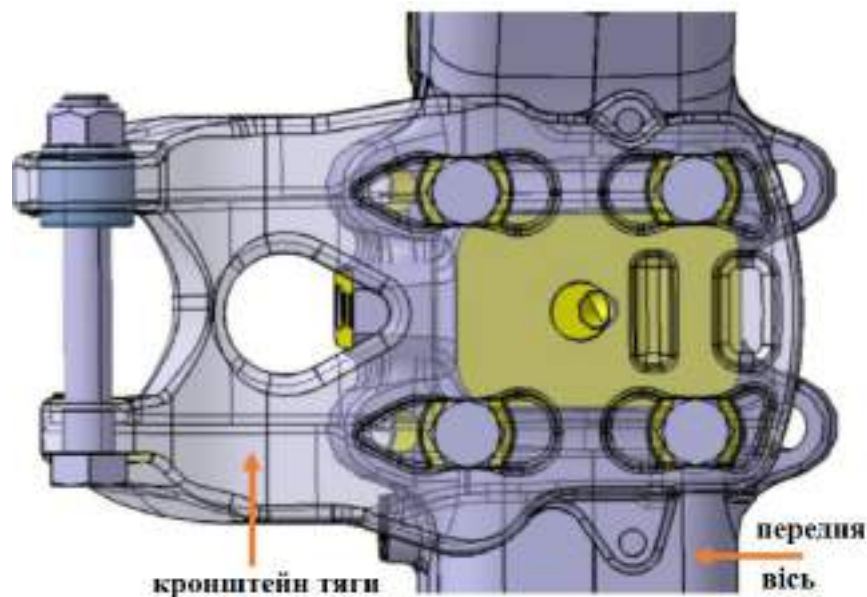


Рисунок 3.15 – Концепція 5. Дослідження інтерференції 5.

Однією з вимог проекту було використання поточної колісної осі. Тому бажано внести зміни до інших компонентів. Це означає, що наступні деталі слід переробити:

- 1) Поперечина.
- 2) Кронштейн тяги або кронштейн амортизатора.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- 3) Поворотний кулак або тяга.
- 4) Кронштейн тяги крутного моменту та тяга пневматичної ресори.

3.4.2 Аналіз сили.

Під час проведення аналізу сили було проведено порівняння між оригінальним А4х2ЕВ, Концепцією 1 (А4х4ЕВ) та Концепцією 5 (А4х4НВ). Метою було оцінити додавання сили на підвіску від рушійного моменту на передньому колесі, а також від збільшеного плеча важеля через висоту центру падіння та вибір колеса.

Перш за все, сили контакту коліс були розраховані за допомогою діаграм вільного тіла та рівнянь з розділу 2, тобто з моделлю двоколісного транспортного засобу, де підвіска вважалася жорсткою. Після розрахунку сил контакту коліс також були розраховані сили кріплення підвіски.

3.4.3 Аналіз градієнта крену.

Як обговорювалося в підрозділі 3.3, висота переднього центру крену нижча для Concept 5 порівняно з вантажівкою з повним приводом та листовою підвіскою. Щоб дослідити, наскільки чутливою буде вантажівка до перекидання з Концепцією 5, градієнт кута крену, k_{θ} , було розраховано за допомогою [9],

$$k_{\theta} = \frac{d\theta}{d\bar{y}} = \frac{m_s \cdot h_e}{k_s - m_s \cdot g \cdot h_e} , \quad (3.1)$$

де m_s – підресорена маса, k_s – сумарна жорсткість крену передньої та задньої осей, а h_e – вертикальна відстань від осі центру крену до центру ваги, розрахована за допомогою:

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$h_e = f - \frac{c \cdot RRCH + (ad - c) \cdot FRCH}{ad} \quad (3.2)$$

Значення жорсткості крену, а також висота центру заднього крену були отримані з оптимізатора транспортних засобів Scania, а підресорена маса була спрощена до загальної маси. Вхідні параметри представлені Додатку А в таблиці А1.

					КВАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

4 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ

4.1 Пропозиції щодо редизайну: Концепція 5.

Концепція 5 отримала найкращі бали під час оцінювання концепцій та мала добрі механічні властивості. За оцінками, гідравлічні системи, такі як Концепція 1, потребували значно більше роботи для впровадження, ніж механічні системи. З іншого боку, це забезпечило б кращу модульність та корисне навантаження для замовника, що дозволило б отримати краще довгострокове рішення.

Концепція 5 вимагала редизайну, щоб бути застосовною до переднього ведучого мосту. Пріоритетом на етапі редизайну було забезпечення того, щоб більші та більш значні компоненти, такі як вісь та рама, залишалися в їхній поточній формі, а замість цього модифікувалися менші та менш значні компоненти, такі як поперечина, кронштейн тяги та поворотний кулак.

1) Зміна поперечної балки.

Як показано на рисунку 4.1, поточну поперечну балку потрібно було б переробити, щоб забезпечити повне зміщення підвіски. Поперечна балка спочатку була розроблена для шасі будь-якої висоти, тому вона досить низька, щоб звільнити місце для двигуна з висотою шасі E-low. Переробка її для цієї конкретної конфігурації дозволила б їй не заважати двигуну чи передній осі.

Вісь на рисунку 4.1 була розташована у найвищому положенні, щоб проілюструвати зіткнення між поточною поперечною балкою та передньою ведучою віссю. З іншого боку, ескізована концепція не заважала передній осі.

2) Зміна кронштейна тяги або кронштейна амортизатора.

Оскільки зменшення кронштейна тяги вплине на його жорсткість, краще перемістити амортизатор. Це можна зробити, змінивши верхній або

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

нижній кронштейн амортизатора, або їх комбінацію. Приклад того, як можна сконструювати каретку, представлено на рисунку 4.2.

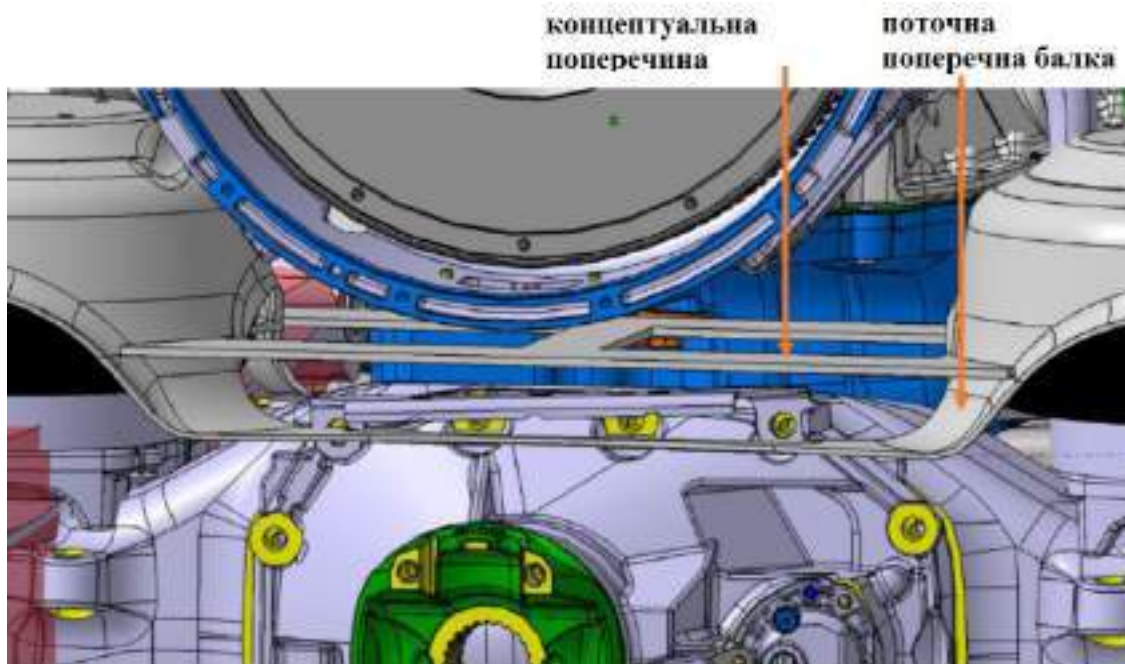


Рисунок 4.1 – Концепція поперечної балки.

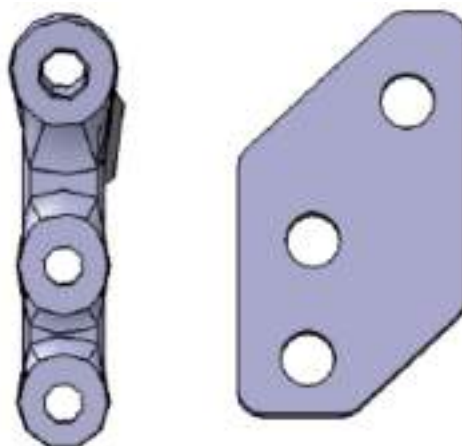


Рисунок 4.2 – Нижні кронштейни амортизатора.

Кронштейн ліворуч є оригінальним, а праворуч – концептуальним. Завдяки використанню концептуального кронштейна, амортизатор не заважав кронштейну тяги керма або тяговому механізму при будь-якій висоті

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

зміщення передньої осі. Див. рисунок 4.3, на якому передня вісь знаходиться на висоті руху.

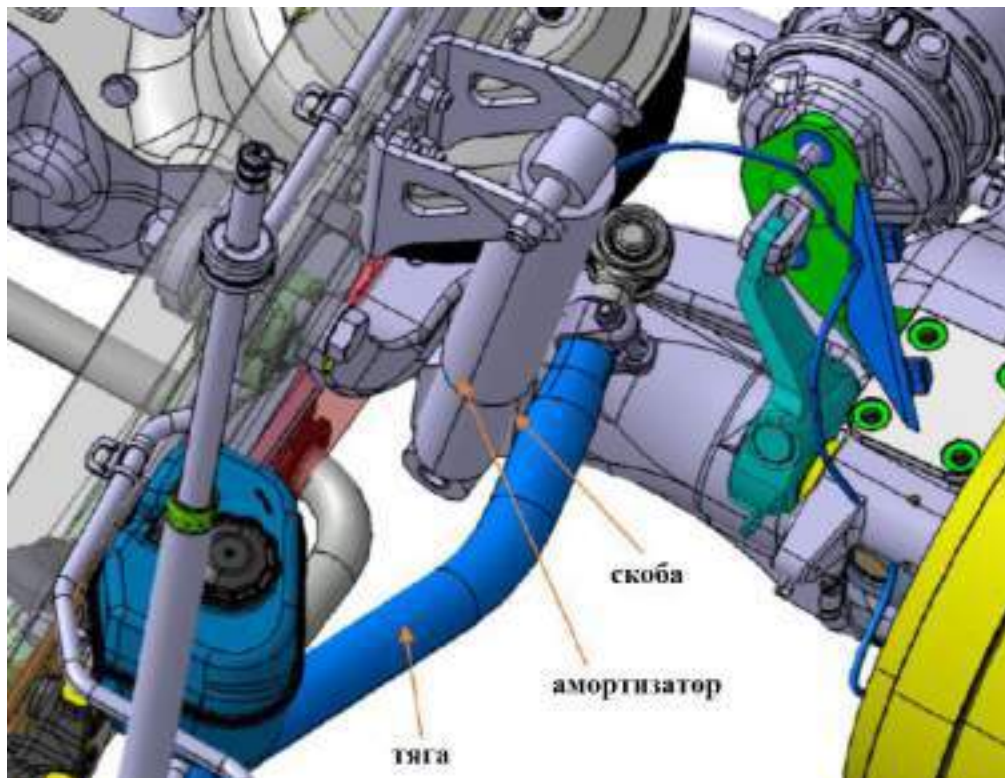


Рисунок 4.3 – Ціла конструкція з кронштейном амортизатора.

Для оптимізації руху амортизатора та збереження однакового зазору до тяги керма та кронштейна тяги керма, верхній кронштейн також може потребувати регулювання.

3) Зміна поворотного кулака або тяги керма.

У розділі 3 було виявлено перешкоду між пневматичним сильфоном та поворотним кулаком. Це свідчить про необхідність переробки поворотного кулака, де рульовий важіль коротший.

Динамічну взаємодію між поворотним кулаком та тягою керма не аналізували. Зміна розмірів поворотного кулака, найімовірніше, вплине на властивості керування вантажівкою, що означає, що тяга керма та рульовий

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

механізм, ймовірно, також потребуватимуть модифікації для задоволення вимог до керування.

Альтернативою переробці поворотного кулака було б переміщення пневматичних сильфонів всередину. Це вимагало б переробки кріплення передньої осі, а також конструкції поперечної балки, яка дозволяє встановлювати пневматичні сильфони окремо від шасі.

4) Зміна кронштейна тяги та тяги пневматичної пружини.

Розмір кронштейна тяги та його монтажні отвори були скориговані відповідно до ведучої осі. Як видно на рисунку 4.4, позначеному червоними осями, монтажні отвори не були перпендикулярними до верхньої площини.

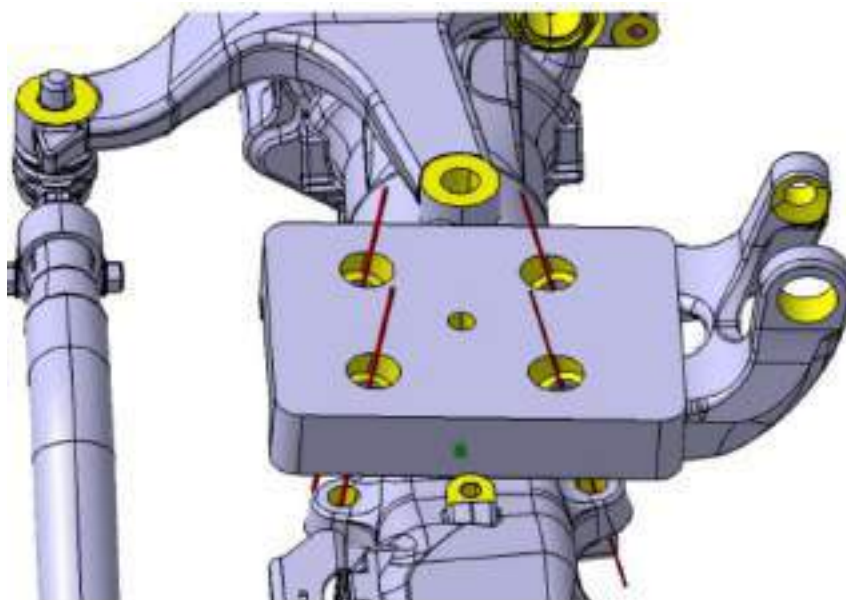


Рисунок 4.4 – Концепція кріплення кронштейна тяги.

Альтернативою використанню звичайних болтів може бути створення канавок у кронштейні тяги для встановлення U-подібних болтів, подібних до тих, що показані на рисунку 4.5.

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

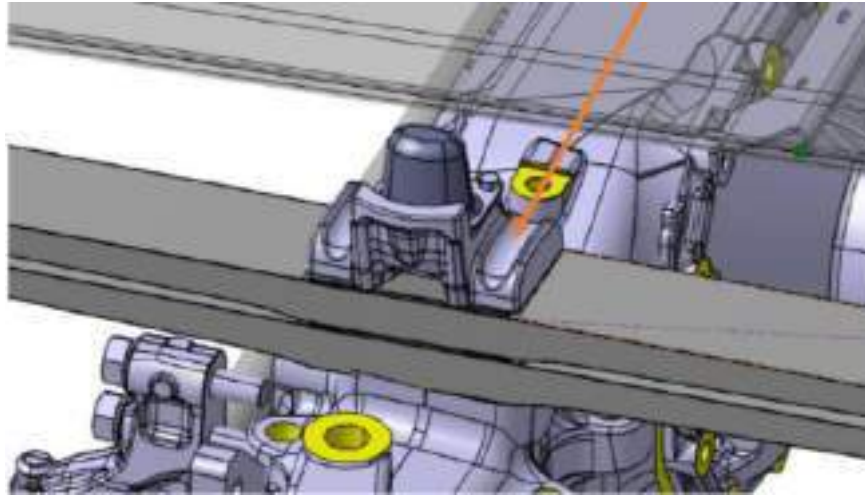


Рисунок 4.5 Кріплення за допомогою U-подібного болта.

Крім того, ведуча передня вісь має інший кут кастора порівняно з веденою. Тому поверхня з'єднання на кронштейні тяги повинна бути оброблена під кутом відповідно до осі колеса, див. рисунок 4.6.

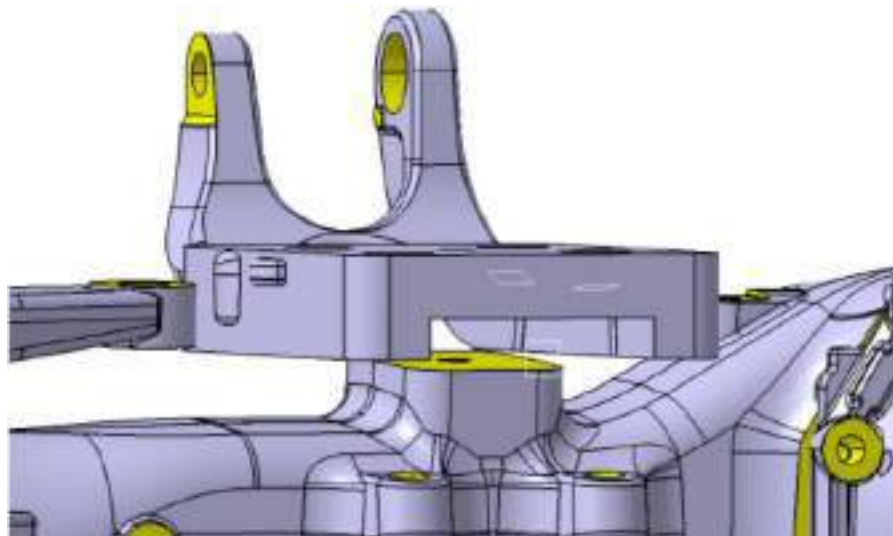


Рисунок 4.6 – Вигляд вузла кронштейна тяги крутного моменту

Альтернативно, тяга пневматичної ресори може бути спроектована з непаралельними поверхнями з'єднання зверху та знизу. Тим не менш, тяга пневматичної ресори повинна мати менший центральний направляючий штифт, щоб відповідати поточній осі колеса.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

4.2 Аналіз сил.

Аналіз сил продемонстрував значні відмінності в силах та моментах між оригінальною вантажівкою А4х2ЕВ та різними концепціями. Концепція 1 та вантажівка А4х2ЕВ були розраховані як такі, що мають подібні вертикальні та поперечні сили, але зі значними відмінностями щодо поздовжніх сил та моментів тангажу. Найбільш значним з них був момент тангажу під час усталеного повороту вантажівки. Він збільшився приблизно на 405 % для Концепції 1 порівняно з системою А4х2ЕВ. Концепція 5 була розрахована як така, що має значно вищі навантаження та моменти, ніж вантажівка А4х2ЕВ. Особливо, під час випадків навантаження з постійним прискоренням та усталеним поворотом, де збільшення моментів було розраховано приблизно на 532 % та 1143 % відповідно.

4.3 Аналіз градієнта крену.

Для заданого поперечного прискорення Концепція 1 (А4х4ЕВ) буде котитися так само, як і вантажівка А4х2ЕВ, через незмінну підвіску та шасі. З іншого боку, Концепція 5 (А4х4НВ) буде кренитися на 6 % більше, ніж А4х2ЕВ, і від -2% до 17% більше, ніж оригінальний А4х4НА, залежно від типу пружини та АRB, див. таблицю 4.1.

Зверніть увагу, що відносне збільшення градієнта кута крену для Концепції 5 у таблиці 4.1 показує, наскільки збільшиться градієнт кута крену для Концепції 5 порівняно з відповідним початковим вимірюванням.

					КвРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таблиця 4.1 – Результат градієнта кута крену.

Комбінація	градієнт кута крену, k_{θ} , (рад/мс ⁻²)	Відносне збільшення по Концепції 5, %
A4X2EB, оригінал	0,0043	6
A4X4HA, оригінал	0,0046	0
	0,0041	10
	0,0039	16
	0,0046	-2
	0,0042	8
	0,0040	15
	0,0045	0
	0,0041	10
	0,0039	17
A4X4HB, Концепція 5	0,0045	0

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

1) Наразі існує попит на вантажівки з повним приводом та пневматичною підвіскою. В першу чергу для дорожнього застосування, де регульованість та комфорт водія мають пріоритет над надійністю системи. Однак не всі вантажівки з повним приводом можуть здійснити цю трансформацію з листової ресорної системи на пневматичну з використанням існуючих систем пневматичної підвіски.

2) Поточна схема пневматичної підвіски на вантажівках добре зарекомендувала себе в експлуатації. Як Концепція 1, так і Концепція 5 є модифікаціями поточної системи і потенційно можуть бути впроваджені. Однак, Концепція 1 вимагає багато нових конструкцій для впровадження гідравлічного переднього приводу. Концепція 5 може використовувати ту саму схему, що й поточна конструкція, але потребує менших налаштувань майже кожної частини підвіски.

3) Концепцію 5 було визначено як найбільш підходящу короткострокову систему для вантажівок з повним/переднім приводом та повною пневматичною підвіскою. Однак, впровадження Концепції 5 дозволить використовувати лише висоту пневматичної ресори E-low «Дуже низька», оскільки варіанти «Нормальна» та «Низька» значно збільшать висоту шасі. З іншого боку, вимоги до вантажопідйомності, наприклад, для змінних вантажних багажників, можуть бути обмежені для цього застосування, тому висота пневматичної ресори E-low може бути достатньою.

4) За результатами аналізу Концепція 1 та Концепція 5 зазнали вищих навантажень, ніж оригінальна система A4x2EB під час розрахунків сил. Найбільшими відмінностями були крутні моменти. Це свідчить про те, що тяга вимагає подальшого аналізу та, найімовірніше, також переробки. Іншими чутливими компонентами, які, можливо, потребуватимуть переробки, будуть тяги пневматичної ресори та відповідні кронштейни.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Council of the European Union. Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 // Official Journal of the European Communities. – 1996. – P. 1–17.
2. Demuro D. Pros and Cons of Air Suspension [Електронний ресурс] // Autotrader. – 2013. – Available at: (<https://www.autotrader.com/car-tips/pros-and-cons-air-suspension-212905>) (дата звернення: 15.04.2026).
3. Brawner S. Leaf Spring vs. Air Ride: Opinions Differ [Електронний ресурс] // Transport Topics. – 2016. – Available at: <https://www.ttnews.com/articles/leaf-spring-vs-air-ride-opinions-differ-suspensions> (дата звернення: 25.04.2026).
4. Breirley D. Keeping Up with Commercial Truck Air Suspensions [Електронний ресурс] // Vehicle Service Pros. – 2018. – Available at: (<https://www.vehicleservicepros.com/vehicles/under-vehicle/suspension-steering/article/21010640/keeping-up-with-commercial-truck-air-suspensions>) (дата звернення: 25.04.2026).
5. Scania. Scania Initial Market Analysis of PRS 57707. – Södertälje : Scania, 2018.
6. Petersen C. The Practical Guide to Project Management. – Vol. 1. – 2013. – ISBN 978-87-403-0524-1. – P. 8–22.
7. Sellgren U. MF2011 Systems Engineering – Exercise 2 Template. - Stockholm, 2018.
8. SAE International. Vehicle Dynamics Terminology J670_200801. – SAE International, 2008.
9. Barton D.C., Fieldhouse J.D. Automotive Chassis Engineering. – Cham : Springer International Publishing AG, 2018.

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

10. Daniel F., Isermann R. Mechatronic semi-active and active vehicle suspensions // Control Engineering Practice. - 2004. - Vol. 12, No. 11. – P. 1353–1367.

11. Jörnßen R., Helmut S., Jürgen B.W. The Automotive Chassis: Engineering Principles. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

12. Tennen-Gas. Suspension link diagram [Электронний ресурс] // Wikipedia. – 2007. – Available at: (https://en.wikipedia.org/wiki/Suspension_link#/media/File:Axle_-_5_Link_rigid_03.gif) (дата звернення: 25.04.2026).

13. Rebel R. 2WD vs AWD vs 4WD [Электронний ресурс] // Consumer Reports. – 2015. – Available at: (<https://www.consumerreports.org/cro/2012/12/2wd-awd-or-4wd-how-much-traction-do-you-need/index.htm>) (дата звернення: 25.04.2026).

14. Gareffa P. All About Front-, Rear-, Four- and All-Wheel-Drive [Электронний ресурс] // Edmunds.com. – 2018. – Available at: (<https://www.edmunds.com/car-technology/what-wheel-drive.html>) (дата звернення: 25.04.2026).

15. Glon R., Edelstein S. AWD vs. 4WD: What's the difference between the two? [Электронний ресурс] // Digital Trends. – 2018. – Available at: (<https://www.digitaltrends.com/cars/awd-vs-4wd/>) (дата звернення: 02.05.2026).

16. Nice K. How Four-Wheel-Drive Works [Электронний ресурс] // HowStuffWorks. – Available at: (<https://auto.howstuffworks.com/four-wheel-drive.htm/printable>) (дата звернення: 25.04.2026).

17. Larsson F., Dahlgren J. Development of an On-Demand Front Wheel Drive for Scania Trucks. – Luleå : Luleå University of Technology, 2018.

18. Scania. Scania Bibat – Chassi – Upphängning bak – 00033 Bakre bladfjädring [Электронний ресурс]. – Available at: (internal documentation). – (дата звернення: 25.04.2026)

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ДОДАТКИ

					КВРАТ. 22105.01.20.00	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70