

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення паливної економічності вантажних автомобілів КрАЗ
шляхом розробки системи вибору оптимальної передачі**

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-2-23 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Герасимов Максим Андрійович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г. В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Герасимову Максиму Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення паливної економічності вантажних автомобілів КрАЗ шляхом розробки системи вибору оптимальної передачі

керівник роботи Бойко Владислав Борисович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«5» травня 2026 року № 912.

2. Строк подання студентом роботи 8.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Матеріали по підвищенню ефективності автомобілів КрАЗ. Актуальні розробки запропоновані в патентах та реалізовані у вигляді діючих машин, наукові напрацювання за даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз способів зниження витрати палива вантажними автомобілями. 3. Обґрунтування конструкції системи оптимального вибору передачі. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка системи вибору оптимальної передачі. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз господарської діяльності підприємства (А1). 2. Аналіз конструктивних рішень (А1). 3. Конструктивна схема (А1). 4. Складальне креслення (А1). 5. Деталювання (А1). 5. Економічні показники проекту (А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В.Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцентка		

7. Дата видачі завдання: 23.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 3.04.26	
2	Технологічний	до 20.04.26	
3	Конструктивний	до 18.05.26	
4	Охорона праці	до 22.05.26	
5	Економічний	до 28.05.26	
6	Графічна частина	до 8.06.26	

Студент

_____ **Герасимов М.А.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Бойко В. Б.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Поз.	Форм.	Позначення		Найменування	Кіл.	Прим.	
				<u>Текстові документи</u>			
	A4	52ДП.068.000.000ПЗ		Пояснювальна записка	73		
				<u>Графічні матеріали</u>			
1	A1	52ДП.068.000.000А		Аналіз господарської діяльності підприємства	1		
2	A1	52ДП.068.000.000А		Аналіз конструктивних рішень	1		
3	A1	52ДП.068.100.000ВЗ		Конструктивна схема	1		
4	A1	52ДП.068.105.000СК		Складальне креслення	1		
5	A1	52ДП.068.105.000		Деталювання	1		
6	A1	52ДП.068.000.000Е		Економічні показники проекту	1		
				52.ДП.068.000.000.ПД			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.				
Розроб.		Герасимов М.А.		Відомість дипломного проекту	Лім.	Лист	Листів
Перев.		Бойко В.Б.			у	4	73
Т.контр.					ДДАЕУ АІС-2-23		
Н.контр.		Золотовська О.В.					
Зат.		Теслюк Г.В.					

АНОТАЦІЯ

Герасимов М.А. Підвищення паливної економічності вантажних автомобілів КрАЗ шляхом розробки системи вибору оптимальної передачі / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Робота присвячена підвищенню ефективності експлуатації автомобіля в аграрних умовах шляхом оптимізації тягових режимів та зниження питомої витрати пального.

Метою є розробка системи рекомендаційного вибору оптимальної передачі на основі вимірювання крутного моменту на вихідному валу коробки передач.

Проаналізовано умови експлуатації та фактори, що впливають на паливну економічність. Обґрунтовано застосування вузла вимірювання крутного моменту з нерухомим тензодатчиком, встановленим на корпусі. Запропоновано конструкцію вимірювального вузла, виконано основні розрахунки та розроблено алгоритм формування рекомендацій щодо вибору передачі.

Наведено заходи з охорони праці та техніко-економічну оцінку ефективності впровадження системи.

Ключові слова: паливна економічність, крутний момент, оптимізація передачі, тяговий режим, тензодатчик.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «КОЛОС»	9
1.1. Загальна інформація про ТОВ «Колос»	9
1.2. Характеристика галузі рослинництва	11
1.3. Механізація технологічних процесів	13
1.4. Енергозабезпеченість ТОВ «Колос»	17
1.5. Напрями підвищення ефективності господарства	18
1.6. Висновки	20
2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ	21
2.1. Загальна характеристика автомобіля КрАЗ-6130С4	21
2.2. Умови експлуатації автомобіля в аграрному виробництві	26
2.3. Сучасні способи зниження витрати пального вантажних автомобілів	28
2.4. Аналіз систем контролю навантаження трансмісії	31
2.5. Висновки	37
3. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ	38
3.1. Конструкція системи вибору оптимальної передачі	38
3.2. Розрахунок трансмісії автомобіля	43
3.3. Розрахунок пружної муфти	48
3.4. Розрахунок впливу оптимізації режимів на витрату пального	51
3.5. Висновки	54
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	55
4.1. Аналіз умов праці при експлуатації автомобіля	55
4.2. Заходи безпеки при встановленні та обслуговуванні вимірювального вузла	56

4.3. Електробезпека та пожежна безпека	59
4.4. Екологічні аспекти зниження витрати пального	61
4.5. Висновки	63
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	64
5.1. Розрахунок вартості удосконалення	64
5.2. Розрахунок економічної ефективності	66
5.3. Висновки	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
ЛІТЕРАТУРА	71
ДОДАТКИ	74

ВСТУП

У сучасних умовах господарювання підвищення енергоефективності транспортних процесів є одним із ключових факторів зниження собівартості сільськогосподарської продукції. Значна частка експлуатаційних витрат аграрних підприємств припадає на паливно-енергетичні ресурси, зокрема дизельне паливо, що використовується автомобільним транспортом під час перевезення врожаю, добрив та матеріалів. У зв'язку з цим актуальним є пошук технічних рішень, спрямованих на зменшення витрат пального та підвищення ефективності використання транспортних засобів [1-3].

Вантажні автомобілі широко застосовуються для виконання транспортних операцій у господарстві та працює в умовах змінного навантаження й різних дорожніх режимів. Практика експлуатації показує, що однією з причин перевитрати пального є робота двигуна в нераціональних режимах через невідповідний вибір передачі. Це призводить до підвищення питомої витрати пального, зниження коефіцієнта корисної дії силової установки та збільшення експлуатаційних витрат [4, 5].

Перспективним напрямом підвищення паливної економічності є застосування мехатронних систем контролю параметрів роботи трансмісії та двигуна. Використання датчиків крутного моменту та швидкості обертання дозволяє оцінювати фактичне навантаження автомобіля та формувати рекомендації щодо вибору оптимальної передачі з урахуванням умов руху.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки адаптованої системи контролю крутного моменту на валу трансмісії вантажного автомобіля, яка забезпечить інформаційну підтримку водія при виборі передачі та дозволить зменшити витрати дизельного пального.

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «КОЛОС»

1.1. Загальна інформація про ТОВ «Колос»

Товариство з обмеженою відповідальністю «Колос» є аграрним підприємством, що здійснює виробництво та часткову переробку сільськогосподарської продукції. Господарство розташоване в смт. Царичанка Дніпропетровської області та функціонує в умовах помірно-континентального клімату з жарким літом, відносно м'якою зимою та нерівномірним розподілом опадів протягом року. Відстань до обласного центру – м. Дніпро – становить 88 км, що забезпечує відносно зручний доступ до основних ринків збуту, логістичних вузлів і сервісних центрів.

Територія господарства має розвинене транспортне сполучення. Під'їзд до виробничих об'єктів здійснюється автомобільними дорогами з твердим покриттям, що дозволяє забезпечувати безперебійне перевезення сировини та готової продукції протягом усього року. Наявність регіональних автодоріг поблизу сприяє оперативному постачанню матеріально-технічних ресурсів та своєчасній реалізації продукції.

Енергетичне забезпечення підприємства здійснюється від місцевих електромереж із підключенням до розподільчих підстанцій 10/0,4 кВ. Господарство має доступ до трифазного електропостачання, що дає можливість експлуатувати переробне обладнання, зерноочисні агрегати, системи зберігання та інші енергомісткі установки. Також на території наявні внутрішні інженерні мережі, що забезпечують стабільне функціонування виробничих підрозділів.

Земельні ресурси підприємства представлені переважно орними угіддями, які використовуються для вирощування польових культур. Середній розмір посівних площ у 2023–2025 роках коливався в межах 532–552 га. У 2025 році загальна площа посівів становила 542,5 га, що свідчить

про стабільність земельного ресурсу та раціональне планування структури виробництва.

Ґрунтовий покрив території сформований головним чином чорноземами, що характеризуються значним вмістом гумусу та високою природною родючістю. Разом із тим ефективне використання таких ґрунтів потребує дотримання науково обґрунтованих сівозмін і впровадження заходів, спрямованих на збереження їх структури та запобігання ущільненню.

Провідне місце у виробничій структурі господарства займає рослинництво. Основну частку посівних площ становлять зернові культури, зокрема пшениця та ячмінь, а також технічні культури, серед яких важливу роль відіграє соняшник. Значна увага приділяється вирощуванню овочевих культур – картоплі, томатів і часнику. Останній розглядається як перспективний напрям розвитку, оскільки має стабільний попит та забезпечує можливість підвищення рентабельності виробництва.

Підприємство також здійснює переробку власної сировини. До складу виробничих потужностей входять олійниця, макаронний цех та пекарня, що виготовляє хлібобулочну продукцію. Наявність переробних підрозділів дозволяє розширити асортимент товарної продукції, підвищити рівень доданої вартості та зменшити залежність від коливань цін на первинну сировину.

Організаційна структура господарства передбачає функціонування виробничих підрозділів рослинницького напрямку, а також служб технічного забезпечення, які відповідають за експлуатацію та обслуговування машинно-тракторного парку, матеріально-технічне постачання й координацію виробничих процесів.

Постійний штат підприємства налічує 36 працівників. У періоди інтенсивного виконання сезонних робіт додатково залучаються близько 14

тимчасових працівників, що забезпечує своєчасне проведення посівних та збиральних кампаній без надмірного збільшення постійних витрат.

Загалом виробничий потенціал ТОВ «Колос» створює передумови для впровадження сучасних технологічних рішень, зокрема елементів точного землеробства та мостових систем вирощування. Водночас актуальним залишається питання удосконалення технічного оснащення окремих технологічних операцій у овочівництві, що потребують підвищеної точності та стабільності виконання.

1.2. Характеристика галузі рослинництва

Рослинництво є провідною галуззю виробничої діяльності ТОВ «Колос» і формує основну частину валової продукції та доходів підприємства. Галузь має чітко сформовану структуру, що поєднує вирощування зернових, технічних та овочевих культур із дотриманням науково обґрунтованої сівоzmіни, спрямованої на підтримання родючості ґрунтів і стабільності врожаїв.

Аналіз структури посівних площ за 2023–2025 роки (табл. 1.1) свідчить про домінування зернових культур. Найбільшу частку займає кукурудза, площа якої зросла з 150 га (28,2 %) у 2023 році до 165 га (30,4 %) у 2025 році. Площа під пшеницею також має стійку тенденцію до збільшення – зі 120 га (22,5 %) до 135 га (24,8 %), що зумовлено стабільним попитом на зерно та його високою рентабельністю. Посіви ячменю поступово скорочуються – з 90 га (16,9 %) у 2023 році до 85 га (15,7 %) у 2025 році, що пов'язано з оптимізацією структури посівів на користь більш прибуткових культур.

Серед технічних культур основною є соняшник. У 2023–2024 роках його частка перевищувала 20 %, однак у 2025 році площу зменшено до 80 га (14,7 %) з метою дотримання агротехнічних вимог сівоzmіни та запобігання виснаженню ґрунтів.

Овочевий напрям у господарстві представлений картоплею, томатами та часником. Площі під картоплею залишаються стабільними – 40–42 га (7,1–7,7 %), тоді як посіви томатів зросли з 20 га (3,8 %) у 2023 році до 25 га (4,6 %) у 2025 році. Важливим кроком у диверсифікації виробництва стало впровадження у 2025 році вирощування часнику на площі 10,5 га (1,9 %), що зумовлено його високою рентабельністю та стійким попитом на ринку. Загальна площа посівів у господарстві протягом аналізованого періоду залишалася стабільною і становила 532 га у 2023 році, 552 га у 2024 році та 542,5 га у 2025 році.

Таблиця 1.1 - Динаміка площ посіву та урожайності основних культур
ТОВ «Колос» (2023–2025 рр.)

Культура	Площа, га			Урожайність, ц/га		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Пшениця	120 / 22,5	127 / 23,0	135 / 24,8	42	45	47
Ячмінь	90 / 16,9	88 / 15,9	85 / 15,7	38	40	41
Кукурудза	150 / 28,2	160 / 29,0	165 / 30,4	55	60	63
Соняшник	112 / 21,1	115 / 20,8	80 / 14,7	25	27	28
Томати	20 / 3,8	23 / 4,2	25 / 4,6	220	240	260
Картопля	40 / 7,5	39 / 7,1	42 / 7,7	180	195	210
Часник	0 / 0	0 / 0	10,5 / 1,9	—	—	85
Всього	532 / 100	552 / 100	542,5 / 100			

Показники урожайності основних культур (табл. 1.1) мають позитивну динаміку, що свідчить про ефективне застосування сучасних агротехнологій, якісного насіннєвого матеріалу, мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Урожайність пшениці зросла з 42 ц/га у 2023 році до 47 ц/га у 2025 році, кукурудзи – з 55 до 63 ц/га, ячменю – з 38 до 41 ц/га. Суттєве зростання спостерігається в овочевій групі: урожайність картоплі підвищилась зі 180 до 210 ц/га, томатів – з 220 до 260 ц/га. Урожайність соняшнику зросла з 25 до 28 ц/га. У 2025 році вперше отримано врожай часнику з урожайністю 85 ц/га, що підтверджує перспективність цієї культури для господарства.

Загалом галузь рослинництва ТОВ «Колос» характеризується стабільною структурою посівних площ, зростанням урожайності основних культур та поступовим розвитком овочевого напрямку. Це створює сприятливі умови для впровадження спеціалізованих технологій і технічних засобів, зокрема елементів мостового землеробства, що є особливо доцільним при вирощуванні овочевих культур, у тому числі часнику.

1.3. Механізація технологічних процесів

Рівень механізації технологічних процесів у ТОВ «Колос» (табл. 1.2) визначається не лише забезпеченістю господарства ґрунтообробними та посівними агрегатами, а й ефективністю організації транспортних операцій, які є невід’ємною складовою виробничого циклу. Особливе значення при цьому має автомобільний транспорт, що забезпечує своєчасне переміщення матеріально-технічних ресурсів і готової продукції.

Основні агротехнічні операції в господарстві виконуються із застосуванням тракторів середнього та важкого класу тяги, зокрема ХТЗ-150К, МТЗ-80.1, ДТЗ-5504 та сучасного John Deere 6120M. Вони забезпечують проведення основного і передпосівного обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами та інших польових робіт. Однак ефективність їх

використання значною мірою залежить від належної організації транспортного забезпечення.

Транспортні процеси в рослинництві охоплюють перевезення насіння, мінеральних добрив, засобів захисту рослин, пально-мастильних матеріалів, а також транспортування врожаю з поля до місць зберігання або переробки. У структурі транспортного парку господарства важливе місце займає вантажний автомобіль КрАЗ-6130С4, який використовується для виконання найбільш відповідальних перевезень, пов'язаних із великими обсягами вантажів.

Таблиця 1.2 – Основні засоби механізації ТОВ «Колос»

№	Найменування машини (агрегату)	Марка (модель)	Кіл, од.	Технічний стан
1	2	3	4	5
Трактори				
1	Трактор колісний важкого класу	ХТЗ-150К	2	Задовільний
2	Трактор універсально- просапний	МТЗ-80.1	2	Задовільний
3	Трактор універсальний	ДТЗ-5504	1	Добрий
4	Трактор сучасний	John Deere 6120M	1	Добрий
Машини для обробітку ґрунту				
5	Плуг навісний	ПЛН-5-35	2	Задовільний

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5
6	Дискова борона	АГД-2,5	1	Добрий
7	Дискова борона	БДТ-3	1	Задовільний
8	Культиватор	КПС-4	2	Задовільний
Посівна техніка				
9	Сівалка зернова	СЗ-3,6	2	Задовільний
10	Сівалка просапна	УПС-8	1	Задовільний
11	Сівалка точного висіву	Vaderstad Tempo	1	Добрий
Машини для овочевих культур				
12	Картоплесаджалка	КСМ-4	1	Задовільний
13	Картоплекопач	КТН-2В	1	Задовільний
Машини для захисту рослин				
14	Обприскувач причіпний	ОП-2000	1	Задовільний
15	Обприскувач сучасний	Amazone UX	1	Добрий
Транспортні засоби				
16	Вантажний автомобіль	КрАЗ-6130С4	1	Задовільний
17	Вантажний автомобіль	МАЗ-53366	1	Задовільний
18	Причепи тракторні	2ПТС-4	3	Задовільний

Вантажний автомобіль КрАЗ експлуатується під час збирання зернових та технічних культур, транспортування соняшнику до олійниці, перевезення картоплі та овочевої продукції, а також доставки матеріалів на поля. Його висока вантажопідйомність і прохідність дозволяють працювати в складних польових умовах, особливо під час збирання врожаю, коли стан ґрунтового покриття ускладнює використання менш потужного транспорту.

Разом із тим аналіз експлуатації вантажного автомобіля КрАЗ показує, що значну частку витрат у структурі собівартості транспортних операцій становлять витрати пального. Крім того, технічний стан та конструктивні особливості силової установки безпосередньо впливають на економічність роботи автомобіля, його тягові характеристики та екологічні показники.

У періоди пікових навантажень (жнивів, збирання соняшнику, викопування картоплі) саме транспортні операції часто стають «вузьким місцем» виробничого процесу. Недостатня ефективність роботи вантажного автомобіля може призводити до простоїв збиральної техніки, втрат часу та підвищення експлуатаційних витрат.

Таким чином, підвищення ефективності використання вантажного автомобіля КрАЗ є важливим резервом зниження витрат на транспортування та підвищення загальної продуктивності господарства. Удосконалення конструкції силової установки, оптимізація паливної системи та покращення експлуатаційних характеристик дозволять зменшити витрати пального, підвищити надійність роботи транспортного засобу та забезпечити більш ефективне функціонування всієї виробничої системи.

Отже, у структурі механізації технологічних процесів ТОВ «Колос» транспортна складова, зокрема вантажний автомобіль КрАЗ, відіграє ключову роль. Саме тому обґрунтування шляхів підвищення його техніко-економічної ефективності є актуальним напрямом даної роботи.

1.4. Енергозабезпеченість ТОВ «Колос»

Енергозабезпеченість ТОВ «Колос» визначається рівнем оснащеності підприємства енергетичними засобами та ефективністю використання паливно-енергетичних ресурсів. Основним видом енергії в господарстві є дизельне паливо, яке використовується для роботи тракторів, автомобільного транспорту та іншої мобільної техніки. Особливу роль у структурі енергоспоживання відіграють транспортні операції, що забезпечують переміщення сільськогосподарської продукції, мінеральних добрив, насіння та пально-мастильних матеріалів. Центральним елементом транспортної системи господарства є вантажний автомобіль КрАЗ, який використовується для виконання найбільш енергоємних перевезень. Для оцінки енергетичного потенціалу підприємства доцільно проаналізувати структуру енергетичних засобів (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Характеристика енергетичних засобів ТОВ «Колос»

Вид техніки	Кіл, шт.	Потуж. од., кВт	Сумарна потужність, кВт	Основне призначення
Трактори ХТЗ-150К	3	110	330	Основний обробіток ґрунту
Трактори МТЗ-80.1	2	60	120	Універсальні роботи
Трактори ДТЗ-5504	2	50	100	Допоміжні операції
Трактор John Deere 6120M	1	90	90	Високоточні роботи
Автомобілі (МАЗ, КрАЗ)	3	180	540	Транспортні операції
Разом	11	—	1180	—

1.5. Напрями підвищення ефективності господарства

Підвищення ефективності діяльності ТОВ «Колос» пов'язане з раціональним використанням наявних ресурсів, удосконаленням технологічних процесів та зниженням виробничих витрат. В умовах зростання цін на паливно-енергетичні ресурси та матеріально-технічне забезпечення особливої актуальності набуває оптимізація енергоспоживання та транспортних операцій.

Одним із ключових напрямів є модернізація машинно-тракторного парку з урахуванням енергоефективності техніки. Використання сучасних машин із меншими питомими витратами пального дозволяє знизити собівартість продукції та підвищити продуктивність виконання польових робіт. Водночас важливо не лише оновлення техніки, а й удосконалення режимів її експлуатації, впровадження систем контролю витрат пального та моніторингу технічного стану агрегатів.

Суттєвий резерв підвищення ефективності полягає в оптимізації транспортних процесів. Значна частка витрат у структурі собівартості продукції припадає на перевезення сировини та врожаю. Тому підвищення техніко-економічних показників вантажного автомобіля КрАЗ – зменшення витрат пального, підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності, оптимізація режимів роботи двигуна – безпосередньо впливає на загальну результативність господарства.

Важливим напрямом є вдосконалення силової установки транспортного засобу, що дозволить зменшити питомі витрати пального на 1 т·км перевезень, підвищити тягові характеристики та знизити експлуатаційні витрати. Раціональна організація маршрутів перевезень, зменшення холостих пробігів і своєчасне технічне обслуговування автомобіля також сприяють підвищенню ефективності використання транспортної техніки.

Крім того, підвищення ефективності господарства пов'язане з удосконаленням структури посівних площ, впровадженням енергозберігаючих технологій обробітку ґрунту та зменшенням кількості проходів техніки по полю. Це дозволяє скоротити витрати пального, знизити ущільнення ґрунту та підвищити врожайність культур.

Отже, комплекс заходів, спрямованих на модернізацію технічного парку, оптимізацію транспортних операцій і зниження енерговитрат, створює передумови для зростання економічної ефективності ТОВ «Колос». Особливе значення в цьому процесі має підвищення ефективності вантажного автомобіля КрАЗ, що є одним із ключових резервів зменшення виробничих витрат та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Виконати розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованої системи шляхом визначення зниження витрат дизельного пального та собівартості транспортної роботи ($T \cdot \text{км}$).

Обґрунтувати технічну можливість реалізації системи вибору оптимальної передачі та оцінити її вплив на експлуатаційні показники автомобіля.

Реалізація запропонованої системи дозволить забезпечити роботу двигуна у зоні мінімальної питомої витрати пального, зменшити перевитрати дизельного пального під час транспортних операцій та підвищити загальну ефективність використання вантажного автомобіля КрАЗ-6130С4 у господарстві.

Метою роботи є підвищення паливної економічності вантажного автомобіля КрАЗ-6130С4 шляхом розробки та обґрунтування адаптованої мехатронної системи контролю крутного моменту і швидкісних режимів руху, що забезпечує вибір оптимальної передачі відповідно до умов експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати існуючі системи контролю навантаження двигуна та вибору передач у вантажних автомобілях і визначити їх переваги та недоліки.
2. Дослідити особливості експлуатації автомобіля КрАЗ-6130С4 та встановити параметри, що найбільше впливають на витрати пального (крутний момент, частота обертання, швидкість руху).
3. Розробити структурну схему мехатронної системи контролю крутного моменту на валу трансмісії та алгоритм формування рекомендації щодо вибору оптимальної передачі з урахуванням конструктивних особливостей даного автомобіля.
4. Оцінити вплив запропонованої системи на паливну економічність та визначити очікуваний економічний ефект від її впровадження.

1.6. Висновки

1. У розділі проведено аналіз виробничої діяльності ТОВ «Колос», структури посівних площ та рівня механізації технологічних процесів. Встановлено, що господарство має достатній технічний потенціал для виконання повного комплексу агротехнологічних операцій, проте значну частку витрат формують паливно-енергетичні ресурси.
2. Аналіз енергозабезпеченості показав, що транспортні операції займають суттєве місце в структурі енергоспоживання підприємства. Вантажний автомобіль КрАЗ-6130С4 є одним із ключових елементів виробничої системи, а його паливна економічність безпосередньо впливає на собівартість продукції.
3. Встановлено, що підвищення ефективності роботи автомобіля шляхом оптимізації режимів руху та вибору передач є важливим резервом зниження витрат дизельного пального. Це обґрунтовує доцільність розробки мехатронної системи контролю крутного моменту та вибору оптимальної передачі, що і визначає подальший напрям дослідження.

2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ

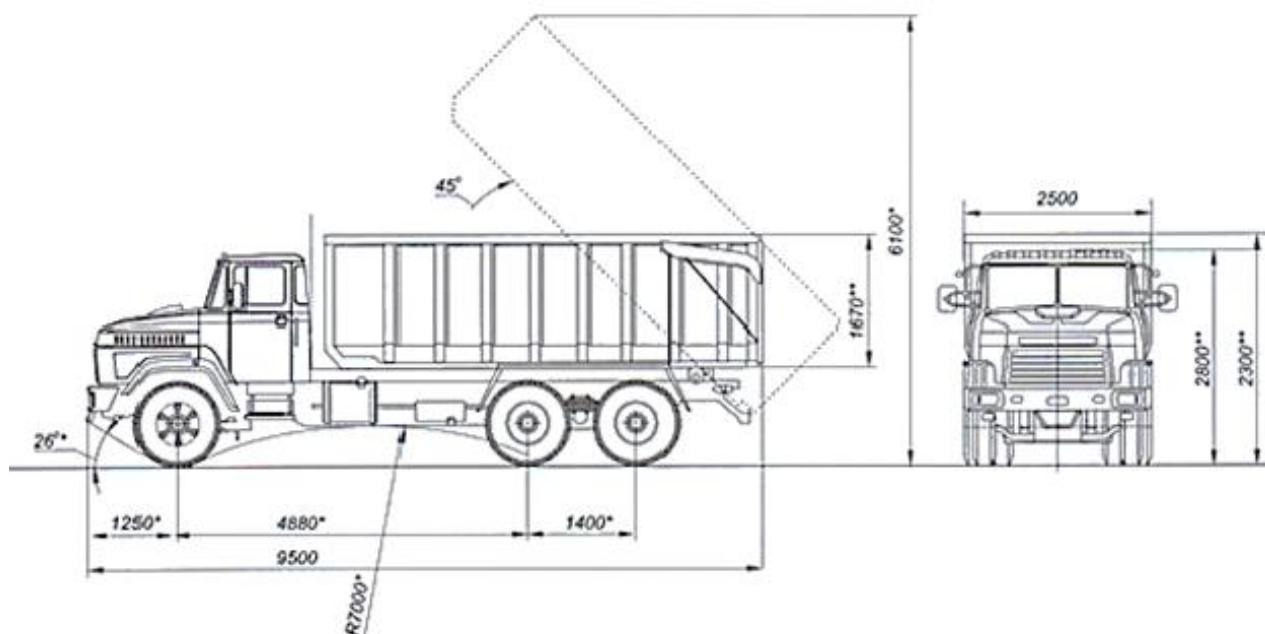
2.1. Загальна характеристика автомобіля КрАЗ-6130С4

Вантажні автомобілі великої вантажопідйомності є основою транспортного забезпечення аграрного та промислового секторів економіки. У сільському господарстві вони використовуються для перевезення зерна, добрив, будівельних матеріалів, техніки, пально-мастильних матеріалів та іншої продукції. Особливо важливою є їх роль у період сезонних пікових навантажень, коли своєчасність транспортування безпосередньо впливає на економічний результат підприємства. У таких умовах технічна надійність, прохідність і паливна економічність автомобіля мають вирішальне значення.

Одним із представників важких тривісних автомобілів є КрАЗ-6130С4, який характеризується міцною рамною конструкцією, значною вантажопідйомністю та пристосованістю до роботи на дорогах із різним типом покриття [6]. Загальний вигляд автомобіля наведено на рисунку 2.1.



a)



б)

Рисунок 2.1 – Вантажний автомобіль КрАЗ-6130С4

а – загальний вигляд; б – габаритні розміри

Колісна формула 6×4 означає наявність трьох осей, з яких дві задні є ведучими. Така схема дозволяє ефективно розподіляти тягове зусилля та забезпечує стійкість руху при транспортуванні вантажів великої маси.

Основу конструкції автомобіля становить потужна лонжеронна рама сходящого типу, яка виконує функцію головного несучого елемента всієї конструкції. Саме на рамі змонтовано силовий агрегат, елементи трансмісії, кабіну водія, кузов, паливні баки, пневматичну апаратуру та інші допоміжні системи. Рама виготовлена зі сталі підвищеної міцності з високими показниками опору згину та кручення, що забезпечує її здатність витримувати значні статичні та динамічні навантаження під час руху автомобіля з повною масою. Конструкція передбачає використання поперечних балок і підсилювачів, які підвищують жорсткість та стійкість рами до деформацій у складних дорожніх умовах.

Передня підвіска автомобіля є залежною, ресорною, з гідравлічними амортизаторами двосторонньої дії. Така схема відзначається простотою, надійністю та здатністю працювати в умовах підвищених навантажень і нерівного покриття. Ресори забезпечують сприйняття вертикальних навантажень, тоді як амортизатори гасять коливання, підвищуючи комфорт керування та зменшуючи ударні навантаження на раму і кабінку.

Силову установкою автомобіля є дизельний двигун ЯМЗ-238, зображений на рисунку 2.2 [7]. Це чотиритактний, V-подібний восьмициліндровий двигун з робочим об'ємом 14,86 л. V-подібна компоновка циліндрів дозволяє зменшити довжину двигуна та забезпечити його компактніше розміщення у моторному відсіку. Двигун оснащений системою безпосереднього упорскування пального з використанням паливного насоса високого тиску механічного типу.

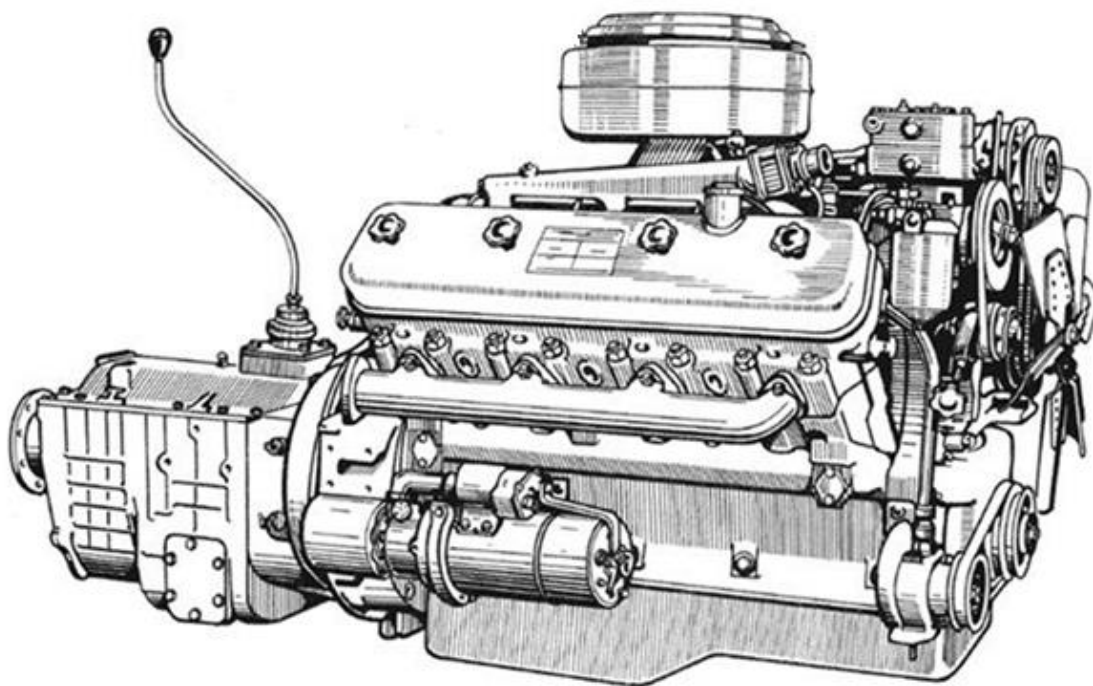


Рис. 2.2. Дизельний двигун ЯМЗ-238М з коробкою передач

Номінальна потужність двигуна залежить від модифікації та становить 176–240 кВт при частоті обертання близько 2100 об/хв. Максимальний крутний момент досягає 1000–1080 Н·м у діапазоні 1200–1500 об/хв. Саме ця зона

відповідає найбільш економічному режиму роботи двигуна, оскільки забезпечує оптимальне співвідношення витрати пального та розвиваного тягового зусилля. Система охолодження двигуна – рідинна, із примусовою циркуляцією, що дозволяє підтримувати стабільний температурний режим під час тривалої роботи під навантаженням. Система мащення – комбінована, з примусовою подачею оливи до основних вузлів тертя.

Трансмісія автомобіля складається із зчеплення, механічної коробки передач, карданної передачі та ведучих мостів. Зчеплення – сухе, дводискове, що забезпечує передавання значного крутного моменту без пробуксовування. Така конструкція є доцільною для автомобілів великої вантажопідйомності, де навантаження на трансмісію є суттєвим.

Коробка передач – механічна, восьмиступенева (8 передач вперед та 1 задня). Наявність восьми ступенів дозволяє забезпечити широкий діапазон передавальних чисел і більш точно підбирати режим роботи двигуна залежно від дорожніх умов та маси вантажу. Передавання крутного моменту від коробки передач до задніх мостів здійснюється через карданні вали. Задні ведучі мости обладнані головними передачами та диференціалами, що забезпечують розподіл крутного моменту між колесами.

Рульове керування автомобіля оснащено гідравлічним підсилювачем, який зменшує зусилля на кермовому колесі та підвищує точність керування. Це особливо важливо при маневруванні автомобіля з повним навантаженням або під час руху по нерівних ділянках дороги. Конструкція рульового механізму забезпечує достатню курсову стійкість і керованість.

Гальмівна система – пневматична, двоконтурна, із приводом на всі колеса. Використання стисненого повітря забезпечує високу ефективність гальмування та надійність роботи при значних масах автомобіля. Крім робочої гальмівної системи, передбачено стоянкове гальмо та допоміжну систему уповільнення руху. Пневматична система також використовується для приводу інших

допоміжних механізмів. Основні технічні характеристики автомобіля наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні параметри автомобіля КрАЗ-6130С4 (6×4)

Показник	Значення
Колісна формула	6×4
Тип двигуна	Дизельний, чотиритактний
Марка двигуна	ЯМЗ-238
Компоновка	V-подібна
Кількість циліндрів	8
Робочий об'єм, л	14,86
Номінальна потужність, кВт	176–240
Максимальний крутний момент, Н·м	до 1080
Коробка передач	Механічна, 8+1
Тип зчеплення	Сухе, дводискове
Привід	На два задні мости
Рульове керування	З гідропідсилювачем
Гальмівна система	Пневматична
Повна маса, кг	до 33 000

Таким чином, автомобіль КрАЗ-6130С4 є потужним транспортним засобом, конструкція якого забезпечує високі тягові можливості та здатність працювати в складних умовах експлуатації. Водночас ефективність використання його енергетичного потенціалу безпосередньо залежить від правильного вибору передачі та підтримання двигуна у зоні оптимального крутного моменту. Це обумовлює необхідність розробки системи контролю

режимів роботи двигуна та рекомендаційного вибору передачі з метою підвищення паливної економічності.

2.2. Умови експлуатації автомобіля в аграрному виробництві

Експлуатація вантажного автомобіля КрАЗ-6130С4 у сільському господарстві має специфічний характер, що суттєво відрізняється від умов роботи на магістральних або міських маршрутах. Основними сферами застосування є перевезення зерна, кукурудзи, соняшнику, мінеральних добрив, насіння та інших вантажів між полем, складом і переробними підприємствами [8-10].

На рисунку 2.3 показано типову схему використання автомобіля в аграрному циклі перевезень.



Рисунок 2.3 – Схема роботи автомобіля в аграрному транспортному циклі

Як видно з рис. 2.3, автомобіль працює у повторюваному циклі з чергуванням руху з повним навантаженням та без вантажу. Це зумовлює змінний характер навантаження на двигун і трансмісію.

Особливістю аграрної експлуатації є рух по ґрунтових дорогах та польових ділянках, що характеризуються підвищеним коефіцієнтом опору коченню. На рисунку 2.4 наведено приклад руху автомобіля по польовій дорозі.



Рисунок 2.4 – Рух вантажного автомобіля по ґрунтовій польовій дорозі

Як показано на рис. 2.4, нерівності дорожнього покриття, наявність пилу, вологи та колійності збільшують динамічні навантаження на раму, підвіску та трансмісію. Крім того, зростає тяговий опір руху, що безпосередньо впливає на витрату пального.

Суттєвим фактором є зміна маси автомобіля. При русі з повним навантаженням повна маса може досягати 30–33 т, тоді як у зворотному напрямку автомобіль рухається без вантажу. Це призводить до істотної зміни величини сили тяги, необхідної для подолання опору руху. Під час руху по підйомах або при старті з місця з повним навантаженням двигун ЯМЗ-238 працює з підвищеним навантаженням, що вимагає переходу на знижену передачу. Якщо передача вибрана неправильно, двигун може працювати поза зоною оптимального крутного моменту (1200–1500 об/хв), що спричиняє перевитрати пального.

На підйомах збільшується складова сили тяжіння, що додається до сили кочення, тоді як на спусках виникає необхідність використання гальмівної системи або гальмування двигуном.

Додатковими факторами експлуатації є:

- сезонність перевезень (пікові навантаження у період збирання врожаю);
- підвищена температура повітря влітку;
- пилове середовище;
- необхідність частого маневрування на території господарства.

Таким чином, умови експлуатації автомобіля КрАЗ-6130С4 в аграрному виробництві характеризуються змінним навантаженням, нестабільними дорожніми умовами та значними динамічними впливами. Саме ці фактори зумовлюють необхідність раціонального вибору передачі та підтримання двигуна у зоні оптимального крутного моменту. Впровадження системи рекомендаційного вибору передачі дозволить адаптувати режим роботи двигуна до реальних умов експлуатації, що сприятиме підвищенню паливної економічності.

2.3. Сучасні способи зниження витрати пального вантажних автомобілів

Зменшення витрати пального вантажних автомобілів є одним із ключових напрямів підвищення ефективності транспортних процесів, особливо в умовах аграрного виробництва, де перевезення виконуються сезонно, з великим навантаженням і в складних дорожніх умовах. Витрата пального безпосередньо формує собівартість перевезень і визначає економічну доцільність експлуатації транспортних засобів.

Сучасні підходи до зниження витрати пального базуються на комплексному поєднанні конструктивних удосконалень, оптимізації режимів роботи агрегатів, впровадженні систем контролю та раціональній організації транспортного процесу.

Удосконалення силових агрегатів. Одним із основних напрямів є підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння. Сучасні дизельні двигуни оснащуються системами електронного керування впорскуванням

пального типу Common Rail, які забезпечують точне дозування та багатofазне впорскування. Це дозволяє покращити процес згоряння, знизити питомі витрати пального та підвищити коефіцієнт корисної дії.

Додатково застосовуються:

- турбокомпресори зі змінною геометрією;
- системи рециркуляції відпрацьованих газів;
- електронне регулювання режимів роботи залежно від навантаження.

Однак слід зазначити, що значна частина вантажних автомобілів КрАЗ, які експлуатуються в аграрному секторі, оснащені механічними паливними системами без повноцінного електронного керування, що обмежує можливість прямого впливу на процес подачі пального.

Оптимізація трансмісії [11-12]. Важливим резервом економії є раціональне використання передаточних чисел трансмісії. Сучасні багатоступеневі коробки передач (8–12 ступенів) дозволяють підтримувати двигун у зоні мінімальної питомої витрати пального.

Автоматизовані та автоматичні коробки передач із електронним керуванням забезпечують:

- своєчасне перемикавання передач;
- зменшення перевантажень двигуна;
- підтримання оптимальної частоти обертання колінчастого вала.

Неправильний вибір передач призводить до роботи двигуна або на знижених обертах із перевантаженням, або на підвищених обертах із перевитратою пального. Тому оптимізація режимів трансмісії є одним із найефективніших способів зниження витрат.

Зменшення маси та підвищення аеродинамічності [12, 13]. Сучасні вантажні автомобілі виготовляються з використанням високоміцних сталей, алюмінієвих сплавів та композитних матеріалів, що дозволяє зменшити споряджену масу без втрати міцності. Зменшення маси безпосередньо впливає на витрату пального, особливо під час розгону.

Для магістральних перевезень застосовуються аеродинамічні обтічники кабіни, дефлектори та бічні накладки. Хоча в аграрному виробництві швидкості руху зазвичай нижчі, аеродинамічний опір також впливає на витрату пального під час руху між господарством і елеватором.

Використання систем моніторингу та телематики. Бортові комп'ютери та системи GPS-моніторингу дозволяють:

- контролювати миттєву та середню витрату пального;
- фіксувати тривалість холостого ходу;
- аналізувати стиль водіння;
- визначати перевантаження автомобіля.

Практичний досвід показує, що лише за рахунок коригування стилю водіння можна зменшити витрату пального на 5–10 %. Особливо це актуально під час сезонних перевезень зерна, коли інтенсивність роботи транспорту зростає.

Організаційні заходи. Суттєвий резерв економії полягає у зменшенні порожніх пробігів, оптимізації маршрутів і раціональному плануванні логістики. В аграрному виробництві важливо синхронізувати роботу комбайнів і автотранспорту, що дозволяє уникнути зайвих простоїв і перевитрат пального.

Аналіз сучасних способів зниження витрати пального свідчить, що найбільший ефект досягається за рахунок підтримання двигуна в зоні мінімальної питомої витрати пального. У сучасних автомобілях це реалізується електронними системами керування двигуном і автоматизованими трансмісіями.

Проте в умовах експлуатації вантажних автомобілів КрАЗ [14], які переважно оснащені механічними паливними системами, можливості впливу на процес згоряння через електронне керування обмежені. У такій ситуації найбільш доцільним та технічно обґрунтованим рішенням є вплив на режим роботи двигуна через оптимальний вибір передачі.

Саме тому для підвищення паливної економічності вантажних автомобілів КрАЗ перспективним є розробка системи вибору оптимальної передачі з контролем навантаження трансмісії. Така система дозволяє:

- визначати фактичне навантаження на трансмісію;
- аналізувати частоту обертання двигуна;
- формувати рекомендацію щодо перемикавання передачі;
- забезпечувати роботу двигуна в економічному діапазоні обертів.

Отже, впровадження системи вибору оптимальної передачі є логічним продовженням сучасних тенденцій енергоощадності та дозволяє підвищити паливну економічність автомобілів КрАЗ без складної модернізації силового агрегату, що робить запропоноване рішення практично реалізованим в умовах аграрного виробництва.

2.4. Аналіз систем контролю навантаження трансмісії

Раціональне функціонування трансмісії вантажного автомобіля визначається насамперед величиною крутного моменту, який передається від колінчастого вала двигуна через коробку передач, карданну передачу та головну передачу до ведучих коліс. Саме співвідношення між обертальним моментом і частотою обертання формує силовий режим руху транспортного засобу та визначає енергетичну ефективність його роботи. Трансмісія виступає проміжною ланкою між двигуном і дорожнім покриттям, тому її навантаження безпосередньо відображає реальні умови експлуатації автомобіля. Основні підходи до оцінювання та контролю навантаження трансмісії, зокрема непрямі та прямі методи вимірювання, наведені на рисунку 2.5, де представлена класифікація основних способів контролю.



Рисунок 2.5. Класифікація основних способів контролю навантаження силової передачі

Перевищення розрахункових навантажень у вузлах трансмісії призводить до зростання контактних напружень у зубчастих передачах, підшипниках і шліцьових з'єднаннях. Це викликає прискорене спрацювання поверхонь тертя, підвищення температури мастила, зростання втрат на тертя та, як наслідок, зменшення загального коефіцієнта корисної дії силової передачі. Додаткові механічні втрати змушують двигун працювати з більшою подачею пального для забезпечення необхідної тягової сили, що негативно впливає на паливну економічність і довговічність агрегатів. Крім того, тривала експлуатація в умовах перевантаження спричиняє розвиток втомних пошкоджень металу та зменшення ресурсу основних елементів трансмісії.

Разом із тим робота трансмісії в режимі недостатнього навантаження також є небажаною. Якщо крутний момент на ведучих колесах значно менший за можливості двигуна, це свідчить про вибір передачі з надмірно великим передаточним числом або про рух у режимі занижених обертів із неповним використанням тягового потенціалу. У такому випадку двигун працює поза оптимальною зоною питомої витрати пального, що знижує його енергетичну ефективність і призводить до перевитрати пального при збереженні тієї ж продуктивності перевезень. Крім того, нестабільність режиму спричиняє

коливання навантажень, що негативно позначається на плавності руху та комфорті керування.

Особливо актуальною проблема контролю навантаження трансмісії є для вантажних автомобілів, які експлуатуються в аграрному виробництві [15, 16]. Змінна маса вантажу, нерівномірність дорожнього покриття, рух по ґрунтових дорогах і часті зміни швидкісного режиму створюють умови динамічних перевантажень. У таких умовах своєчасне визначення фактичного рівня навантаження дозволяє запобігти роботі агрегатів у критичних режимах і забезпечити більш раціональний вибір передачі. Це особливо важливо для автомобілів із механічною трансмісією, де значна частина відповідальності за вибір режиму роботи покладається на водія.

Таким чином, контроль крутного моменту та загального навантаження трансмісії є важливою складовою сучасних систем підвищення паливної економічності. Він забезпечує не лише зменшення витрати пального за рахунок підтримання двигуна в економічному діапазоні обертів, а й сприяє підвищенню надійності та ресурсу силових агрегатів вантажного автомобіля, що особливо важливо при реалізації системи вибору оптимальної передачі.

В більшості серійних вантажних автомобілів контроль навантаження трансмісії здійснюється *непрямими методами* [17-21]. До них належать:

- аналіз положення педалі подачі пального;
- визначення частоти обертання колінчастого вала;
- контроль швидкості руху транспортного засобу;
- оцінка прискорення автомобіля.

У сучасних автомобілях із електронними блоками керування (ECU) ці параметри обробляються програмним забезпеченням, яке формує алгоритми перемикання передач або обмеження подачі пального (табл. 2.2). Однак такі системи орієнтовані переважно на автоматизовані коробки передач і тісно інтегровані з електронікою двигуна.

Таблиця 2.2 – Характеристика параметрів непрямих способів оцінювання навантаження трансмісії

Контрольований параметр	Технічний засіб вимірювання	Рівень інформативності щодо навантаження	Орієнтовна похибка оцінювання, %
Частота обертання колінчастого вала, n	Індуктивний або магнітний датчик обертів	Висока	$\pm 10 \dots 15$
Ступінь натискання педалі подачі пального	Датчик положення (потенціометричний або електронний)	Середня	$\pm 15 \dots 20$
Швидкість руху автомобіля, V	Датчик швидкості (система ABS або коробки передач)	Середня	$\pm 10 \dots 15$
Поздовжнє прискорення автомобіля, a	Акселерометр	Низька	$\pm 20 \dots 30$

Для автомобілів КрАЗ із механічною паливною системою подібні рішення практично не застосовуються, оскільки відсутній електронний канал керування процесом згоряння.

Прямі методи вимірювання крутного моменту. Більш точним способом оцінки навантаження є безпосереднє вимірювання крутного моменту на елементах трансмісії. Для цього використовуються:

- тензометричні датчики крутного моменту;
- вимірювання деформації карданного вала;
- датчики напружень у півосях;

- індуктивні або магнітострикційні системи контролю.

Для більш детального порівняння технічних можливостей та експлуатаційних характеристик прямих способів визначення крутного моменту доцільно узагальнити їх основні параметри у табличній формі. У таблиці 2.3 наведено узагальнену характеристику методів вимірювання крутного моменту з урахуванням місця встановлення датчиків, робочого діапазону, точності та складності впровадження в конструкцію автомобіля.

Таблиця 2.3 – Порівняльна характеристика способів прямого вимірювання крутного моменту в трансмісії

Спосіб визначення крутного моменту	Локація встановлення вимірювального елемента	Робочий інтервал моменту, Н·м	Орієнтовна похибка, %	Рівень складності впровадження
Тензометричний контроль на валу	Карданний вал або вихідний вал коробки передач	0...4000	±1...3	Високий
Оцінка за кутом пружної деформації (кручення)	Карданна передача	0...5000	±2...5	Середній
Визначення за напруженням станом півосей	Піввісі ведучого моста	0...8000	±3...6	Середній

Аналіз даних таблиці 2.3 свідчить, що найбільшу точність забезпечує тензометричний метод, однак його реалізація потребує складного монтажу та захисту вимірювальних елементів, що підвищує вартість системи.

Принцип дії тензометричного методу полягає у вимірюванні мікродеформацій вала під дією крутного моменту (рис, 2.6). Отримані сигнали перетворюються на електричний сигнал, пропорційний навантаженню. Такий підхід забезпечує високу точність, однак потребує спеціального монтажу та захисту датчиків від впливу пилу, вологи та механічних пошкоджень.

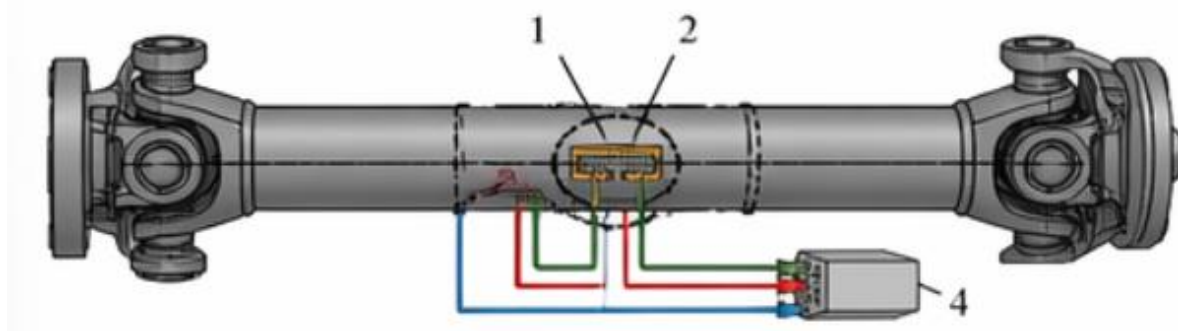


Рисунок 2.6 – Тензометричний метод вимірювання крутного моменту

1 – карданний вал; 2 – тензорезистори; 4 – підсилювач сигналу

Методи оцінювання за кутом кручення карданного вала або за напруженнями в півосях мають дещо більшу похибку, проте характеризуються меншою складністю впровадження та можуть бути адаптовані до автомобілів із механічною трансмісією. З огляду на умови експлуатації вантажних автомобілів КрАЗ у аграрному виробництві, доцільним є вибір такого способу контролю, який забезпечує прийнятну точність при мінімальному втручанні в конструкцію трансмісії.

2.5. Висновки

1 Проведений аналіз сучасних способів зниження витрати пального вантажних автомобілів показав, що найбільш ефективними є комплексні рішення, які поєднують оптимізацію режимів роботи двигуна, раціональний вибір передаточного числа трансмісії та контроль тягового навантаження. При цьому для автомобілів із механічною системою керування двигуном без розвиненої електроніки ключову роль відіграє саме раціональний вибір передачі.

2 Дослідження систем контролю навантаження трансмісії дозволило встановити, що прямі методи вимірювання крутного моменту забезпечують високу точність, але відзначаються складністю впровадження та підвищеною вартістю. Непрямі методи, засновані на аналізі частоти обертання, швидкості руху та інших експлуатаційних параметрів, мають більшу похибку, проте є технічно простішими та більш адаптованими до умов експлуатації вантажних автомобілів КрАЗ.

3. В умовах аграрного виробництва, що характеризуються змінним навантаженням, рухом по ґрунтових дорогах і частими змінами швидкісного режиму, контроль крутного моменту та оптимізація вибору передачі є дієвим інструментом підвищення паливної економічності. Отримані результати обґрунтовують доцільність розробки системи вибору оптимальної передачі для вантажних автомобілів КрАЗ як ефективного способу зменшення витрати пального та підвищення ресурсу трансмісії.

3. РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ

3.1. Конструкція системи вибору оптимальної передачі

У попередньому розділі було виконано систематизований аналіз методів контролю навантаження трансмісії вантажного автомобіля, зокрема розглянуто як непрямі, так і прямі способи визначення крутного моменту. Непрямі методи базуються на реєстрації супутніх параметрів роботи силового агрегату – частоти обертання колінчастого вала, положення педалі подачі палива, швидкості руху транспортного засобу, прискорення тощо. Хоча такі підходи характеризуються простотою реалізації та відсутністю втручання в конструкцію трансмісії, їх інформативність щодо реального навантаження є обмеженою. Це пояснюється тим, що між вимірюваними величинами та фактичним крутним моментом існує опосередкований зв'язок, який залежить від передаточних чисел, втрат у механізмах, умов руху, маси вантажу та дорожнього опору. У результаті похибка оцінювання може досягати значних величин, що є неприйнятним для побудови системи раціонального вибору передачі.

Натомість прямі методи вимірювання крутного моменту передбачають реєстрацію деформацій елементів, через які безпосередньо передається потік потужності. У ході порівняльного аналізу було встановлено, що тензOMETричний спосіб забезпечує оптимальне співвідношення точності, технологічності та можливості інтеграції в існуючу конструкцію трансмісії. Його перевагами є висока чутливість до зсувних напружень, можливість температурної компенсації при використанні мостової схеми та стабільність метрологічних характеристик у динамічних режимах роботи. Крім того, сучасні електронні компоненти дозволяють реалізувати безконтактну передачу сигналу з обертової частини до нерухомої, що усуває потребу у ковзних контактах і підвищує експлуатаційну надійність.

За результатами проведеного техніко-економічного та конструктивного оцінювання прийнято рішення застосувати тензометричний метод вимірювання з безконтактною передачею даних від обертового тензоблоку до приймального модуля, закріпленого на рамі автомобіля. Такий підхід дозволяє отримувати достовірні дані про фактичний крутний момент у реальному масштабі часу та використовувати їх у алгоритмах оптимізації режимів руху [22-24].

Загальна схема розміщення вимірювального вузла в трансмісії автомобіля КрАЗ наведена на рис. 3.1. Вузол інтегровано в з'єднувальну муфту, встановлену між коробкою передач і карданним валом. Вибір саме цієї ділянки обумовлений необхідністю вимірювання моменту безпосередньо після його формування в коробці передач і до розподілу по ведучих мостах. Таким чином забезпечується реєстрація реального навантаження, що передається на головну передачу заднього моста, з урахуванням обраної передачі та поточного режиму роботи двигуна.

Інтеграція тензоблоку в з'єднувальну муфту дозволяє використовувати її пружний елемент як чутливий торсійний елемент, що зазнає кутового закручування під дією крутного моменту. Це забезпечує компактність конструкції, збереження кінематичної схеми трансмісії та мінімізацію додаткових масо-габаритних показників системи. Крім того, розміщення вимірювального вузла в муфті спрощує монтаж і демонтаж при технічному обслуговуванні та не потребує суттєвих змін у базових елементах карданної передачі.

Таким чином, обране конструктивне рішення відповідає результатам аналітичного обґрунтування попереднього розділу та створює передумови для реалізації ефективної системи контролю навантаження трансмісії з високою точністю та надійністю роботи в умовах експлуатації вантажного автомобіля КрАЗ.

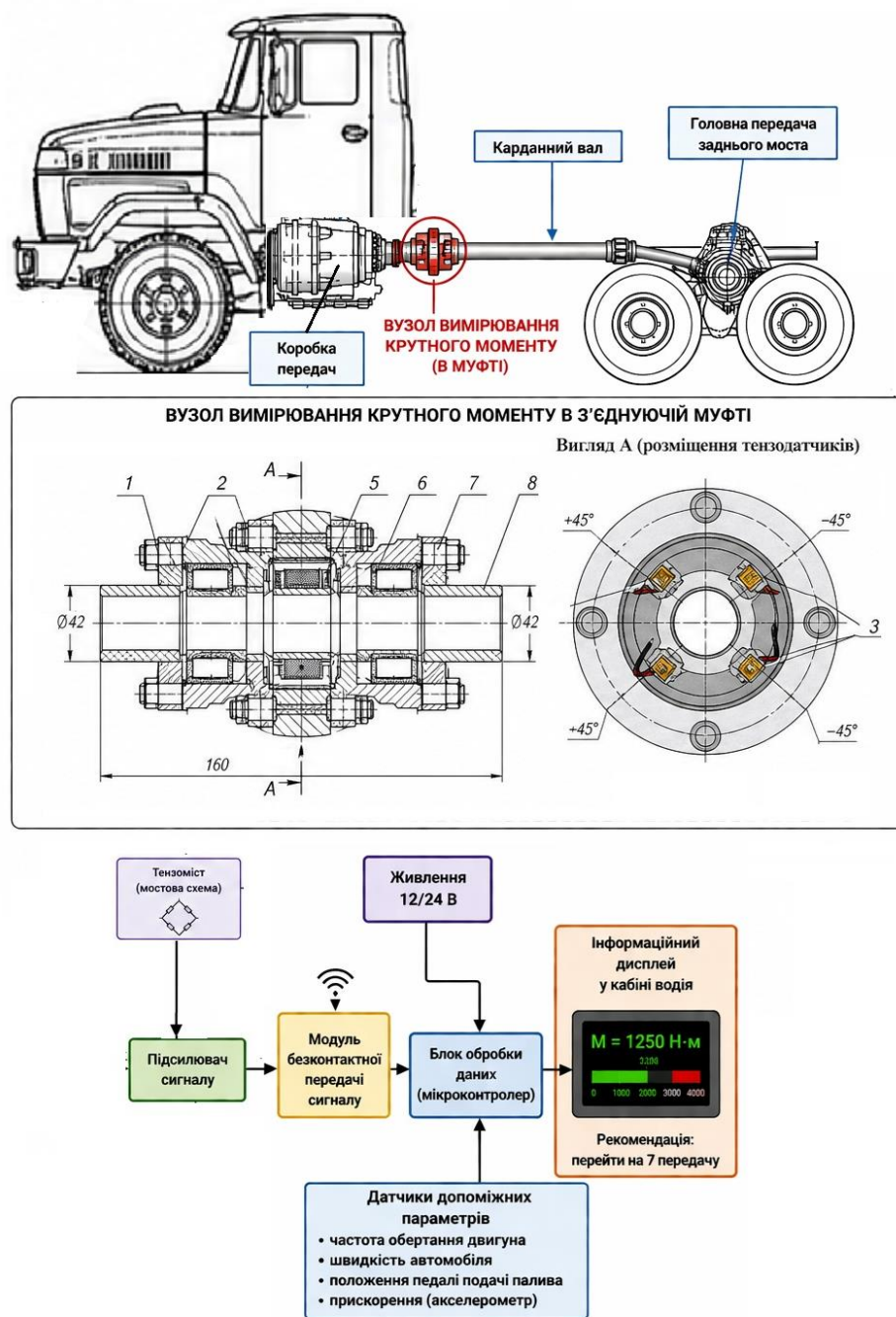


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи вибору оптимальної передачі

1 – з'єднувальна торсіонна муфта; 2 – пружний (чутливий) елемент муфти;

3 – тензорезистори, встановлені під кутом $\pm 45^\circ$; 4 – мостова схема вимірювання (тензоміст); 5 – підсилювач сигналу; 6 – радіомодуль передачі даних; 7 – автономне джерело живлення обертового блоку; 8 – стаціонарний приймальний модуль; 9 – блок цифрової обробки даних; 10 – інформаційний дисплей у кабіні водія.

Робота системи вибору оптимальної передачі базується на безперервному вимірюванні крутного моменту в з'єднувальній муфті карданної передачі та комплексному аналізі поточного режиму руху автомобіля.

У процесі руху автомобіля крутний момент від двигуна через коробку передач передається на з'єднувальну муфту 1. Пружний елемент 2 виконує одночасно силову та вимірювальну функцію. Під дією крутного моменту він зазнає кутового закручування, внаслідок чого на його поверхні виникають зсувні деформації. У зоні максимальних напружень встановлюються тензорезистори 3, орієнтовані під кутами $\pm 45^\circ$ до осі обертання, що забезпечує їх чутливість саме до зсувних напружень. Тензорезистори з'єднані у повну мостову схему 4, що дозволяє компенсувати температурні впливи та підвищити точність вимірювання. Сигнал з тензомоста має мілівольтний рівень, тому перед передачею він підсилюється інструментальним підсилювачем 5. Оскільки тензоблок розташований на обертовій частині муфти, передача сигналу здійснюється безконтактним способом за допомогою радіомодуля 6 діапазону 433 МГц типу SX1278. Живлення обертового блоку забезпечується компактним Li-ion акумулятором 7. Радіосигнал приймається стаціонарним модулем 8, встановленим на рамі автомобіля. Далі інформація надходить до блоку обробки 9, де виконується: аналого-цифрове перетворення, фільтрація шумів, розрахунок фактичного крутного моменту, порівняння з еталонними характеристиками двигуна, визначення ступеня завантаження трансмісії. Таким чином, механічна величина – крутний момент – трансформується в електричний сигнал, пропорційний величині переданого навантаження.

Для підвищення достовірності прийняття рішення система додатково враховує сигнали від датчиків частоти обертання двигуна, швидкості руху автомобіля, положення педалі подачі палива та прискорення. Це дає можливість визначити фактичний режим роботи силового агрегату та виключити помилкові рекомендації під час перехідних процесів.

На основі комплексного аналізу мікроконтролер визначає, чи працює двигун у зоні економічно доцільного навантаження. Якщо зафіксовано перевищення допустимого моменту або, навпаки, недостатнє використання потенціалу двигуна, система формує рекомендацію щодо перемикання передачі.

Результати розрахунків передаються на інформаційний дисплей 10 у кабіні водія, де відображається поточне значення крутного моменту та рекомендація щодо переходу на підвищену або понижену передачу. Водій приймає рішення про перемикання передачі з урахуванням дорожніх умов, однак система надає обґрунтовану інформаційну підтримку.

Технічні характеристики системи

Основні параметри розробленої системи наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики системи вибору передачі

Поз.	Елемент	Основні характеристики
1	Торсіонна муфта	Обираємо за результатами розрахунку
3	Тензорезистори	Опір 120 Ом, чутливість 2,0 мВ/В
5	Підсилювач	INA333 / HX711, 24-біт АЦП
6	Радіомодуль	SX1278, 433 МГц дальність до 50 м
7	Живлення	Li-ion 3,7 В
9	Блок обробки	STM32 / Arduino Industrial
—	Похибка системи	не більше $\pm 2\%$
—	Частота оновлення	до 100 Гц

Запропонована системи є технічно доцільною з таких причин:

- використання стандартних тензорезисторів знижує вартість;
- відсутність ковзних контактів підвищує надійність;
- безконтактна радіопередача забезпечує стабільність сигналу;
- інтеграція в муфту не порушує кінематичну схему трансмісії;
- система придатна для експлуатації в умовах підвищених вібрацій і забруднення.

Таким чином, система вибору оптимальної передачі забезпечує перехід від суб'єктивної оцінки навантаження водієм до об'єктивного контролю фактичного крутного моменту. Це створює передумови для зниження механічних втрат у трансмісії, зменшення витрати пального та підвищення ресурсу вузлів силової передачі автомобіля КрАЗ.

3.2. Розрахунок трансмісії автомобіля

Розрахунок основних параметрів трансмісії автомобіля КрАЗ виконується з метою визначення крутних моментів, частот обертання, потужностей та тягових характеристик у характерних перерізах силової передачі [15, 26]. Необхідність такого розрахунку зумовлена тим, що трансмісія є проміжною ланкою між двигуном і ведучими колесами, а отже саме в її елементах відбувається перетворення кінематичних та силових параметрів робочого процесу двигуна у тягові показники автомобіля. У процесі передавання потужності крутний момент багаторазово змінюється залежно від обраної передачі, передаточних чисел коробки передач та головної передачі, а також з урахуванням втрат енергії в зубчастих зачепленнях, підшипниках і карданних з'єднаннях. Тому визначення дійсних значень моментів і частот обертання на кожній ділянці трансмісії дозволяє оцінити реальні навантаження, що діють на її елементи, зокрема на з'єднувальну муфту, у якій розміщено тензометричний вимірювальний вузол.

Крім того, розрахунок трансмісії є необхідним для формування алгоритму роботи системи вибору оптимальної передачі. Система повинна аналізувати співвідношення між крутним моментом двигуна, передаточними числами, швидкістю руху автомобіля та реалізованим тяговим зусиллям. Без визначення цих параметрів неможливо обґрунтовано встановити критерії перемикавання передач з точки зору мінімізації перевантажень трансмісії, підвищення паливної економічності та забезпечення раціонального використання потужності двигуна.

Особливу увагу при виконанні розрахунку приділимо визначенню моменту на з'єднувальній муфті, оскільки саме в цьому перерізі встановлюється вимірювальний вузол. Визначення робочого та розрахункового моментів із урахуванням коефіцієнта динамічності дозволяє встановити граничні навантаження, які повинні сприймати як силові елементи муфти, так і чутливі елементи тензометричної системи. Таким чином, результати розрахунку трансмісії є вихідною базою для подальших розрахунків на міцність, жорсткість та працездатність вимірювального вузла.

Отримані значення крутних моментів, частот обертання та тягових показників дозволяють комплексно оцінити робочі режими автомобіля КрАЗ у різних умовах експлуатації та створюють необхідне теоретичне підґрунтя для подальшого розрахунку з'єднувальної муфти і розроблення інтелектуальної системи вибору оптимальної передачі.

Вихідні дані для розрахунку:

$M_e = 883 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальний крутний момент двигуна

$i_1 = 7,82$ – передаточне число першої передачі

$i_0 = 6,53$ – передаточне число головної передачі

$n_e = 2100 \text{ об/хв}$ – частота обертання двигуна

Визначення коефіцієнта корисної дії трансмісії

Загальний ККД трансмісії визначається як добуток ККД її складових:

$$\eta_t = \eta_{кпп} \cdot \eta_{кар} \cdot \eta_{гп} \quad (3.1)$$

де $\eta_{кпп} = 0,95$ – ККД коробки передач;

$\eta_{кар} = 0,98$ – ККД карданної передачі;

$\eta_{гп} = 0,97$ – ККД головної передачі.

Тоді значення ккд становитиме:

$$\eta_t = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,97 = 0,903$$

Отже, близько 10 % потужності втрачається у трансмісії.

Загальне передаточне число

Загальне передаточне число трансмісії на першій передачі:

$$i_{zag} = i_1 \cdot i_0 = 7,82 \cdot 6,53 = 51,04 \quad (3.4)$$

Це означає, що момент двигуна збільшується у 51 раз.

Крутний момент після коробки передач

Момент після КПП:

$$M_{kpp} = M_e \cdot i_1 = 883 \cdot 7,82 = 6905 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.5)$$

З урахуванням ККД коробки передач:

$$M_t = M_{kpp} \cdot \eta_{кпп} = 6905 \cdot 0,95 = 6560 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.6)$$

Це робочий момент на з'єднувальній муфті.

Розрахунковий момент з урахуванням динаміки

Для врахування ударних навантажень вводимо коефіцієнт динамічності k_d
 $= 1,4$:

$$M_{rozr} = M_m \cdot k_d \quad (3.7)$$

$$M_{rozr} = 6560 \cdot 1,4 = 9180 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Приймаємо: $M_{rozr} \approx 9 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Це значення використовується при розрахунку міцності муфти.

Крутний момент на ведучому колесі

$$M_{kol} = M_e \cdot i_{zag} \cdot \eta_t \quad (3.8)$$

$$M_{kol} = 883 \cdot 51,04 \cdot 0,903 = 40700 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Частота обертання карданного валу

$$n_{kar} = n_e / i_1 = 2100 / 7,82 = 268 \text{ об/хв} \quad (3.9)$$

Кутова швидкість

$$\omega = 2\pi n / 60 = 2\pi \cdot 268 / 60 = 28 \text{ рад/с} \quad (3.10)$$

Потужність на карданному валу

$$P_{kar} = M_m \cdot \omega_{kar} = 6560 \cdot 28 \approx 180 \text{ кВт} \quad (3.11)$$

Швидкість руху автомобіля

$$v = \pi \cdot D_k \cdot n_e / (60 \cdot i_{zag}) \quad (3.12)$$

де D_k – діаметр колеса.

Максимальне тягове зусилля на ободі колеса

$$F_t = M_{kol} / r = 40700 / 0,55 = 74000 \text{ Н} \quad (3.13)$$

Тягову потужність визначимо за рівнянням:

$$P_t = F_t \cdot v \quad (3.14)$$

Умова реалізації тяги за зчепленням:

$$F_\varphi = \varphi \cdot G_z \quad (3.15)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення;

G_z – вертикальне навантаження на ведучу вісь.

Умова відсутності буксування:

$$F_t \leq F_\varphi \quad (3.16)$$

У результаті розрахунку встановлено, що на першій передачі трансмісії (умови максимальних навантажень на вузли трансмісії) автомобіля КраЗ:

- загальне передаточне число становить 51;
- робочий момент на з'єднувальній муфті дорівнює 6,56 кН·м;
- розрахунковий момент з урахуванням динамічності становить 9 кН·м;
- момент на ведучому колесі досягає 40 кН·м;
- тягове зусилля становить близько 74 кН.

3.3. Розрахунок пружної муфти

Пружна з'єднувальна муфта виконує дві основні функції: передавання крутного моменту від коробки передач до карданного валу та забезпечення пружної деформації, необхідної для вимірювання крутного моменту тензометричним методом. Конструктивно муфта виконується у вигляді суцільного циліндричного торсійного елемента, на поверхні якого розміщуються тензорезистори [24, 27].

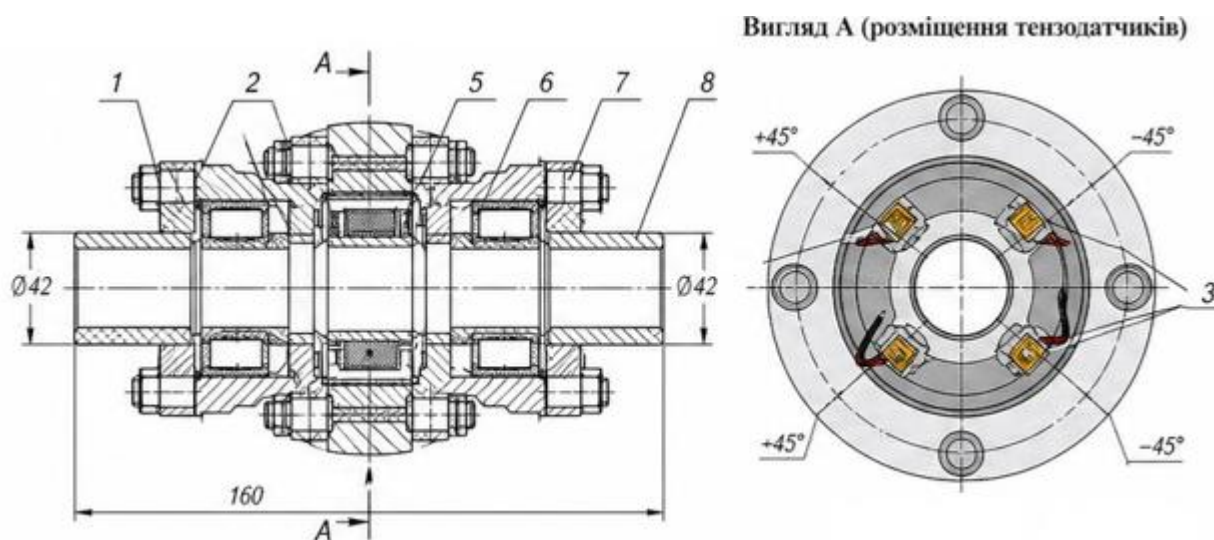


Рисунок 3.2 – З'єднувальна муфта

Розрахунок муфти здійснюється на основі визначеного у пункті 3.2 розрахункового крутного моменту: $M_{rozr} = 9 \text{ кН} \cdot \text{м} = 9000 \text{ Н} \cdot \text{м}$, матеріал муфти – сталь 40Х, межа текучості $\sigma_{0,2} = 785 \text{ МПа}$

Визначення допустимого напруження

Спочатку визначаємо допустиме напруження зсуву з урахуванням коефіцієнта запасу міцності $n_s = 2$ [27]. Для переходу від нормальних напружень до дотичних використовується співвідношення для пластичних матеріалів.

$$[\tau] = \sigma_{0,2} / (2 \cdot n_s) \quad (3.17)$$

Підставляємо числові значення:

$$[\tau] = 785 / (2 \cdot 2) = 196 \text{ МПа}$$

Отримане значення є гранично допустимим дотичним напруженням для даної муфти.

Визначення необхідного діаметра муфти

Далі визначаємо мінімально допустимий діаметр муфти з умови міцності при крученні. Максимальні дотичні напруження у суцільному круглому валу визначаються за формулою:

$$\tau_{max} = 16 \cdot M_{rozr} / (\pi \cdot d^3) \quad (3.18)$$

Згідно з умовою міцності необхідно, щоб фактичні напруження не перевищували допустимих: $\tau_{max} \leq [\tau]$

Для визначення діаметра підставляємо розрахунковий момент і допустиме напруження в рівняння 3.18, отримаємо вираз:

$$16 \cdot 9000 / (\pi \cdot d^3) = 196 \cdot 10^6 \quad (3.19)$$

Розв'язуючи відносно d , одержимо:

$$d^3 = 16 \cdot 9000 / (\pi \cdot 196 \cdot 10^6) = 2,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$d \approx 62 \text{ мм}$$

З урахуванням технологічних і конструктивних вимог приймаємо:

$$d = 65 \text{ мм}$$

Перевірка напружень при прийнятому діаметрі

Виконуємо перевірочний розрахунок максимальних дотичних напружень при прийнятому діаметрі 65 мм.

$$\tau_{max} = 16 \cdot 9000 / (\pi \cdot 0,065^3) = 167 \text{ МПа} \quad (3.20)$$

Оскільки $167 \text{ МПа} < 196 \text{ МПа}$, умова міцності виконується.

Визначення полярного моменту інерції

Для подальшого визначення кутової деформації обчислюємо полярний момент інерції перерізу муфти.

$$J_p = \pi \cdot d^4 / 32 = \pi \cdot 0,065^4 / 32 = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 \quad (3.21)$$

Визначення кута закручування муфти

Наступним етапом визначаємо кут закручування муфти під дією розрахункового моменту. Це необхідно для оцінювання величини пружної деформації, яка реєструється тензодатчиками.

$$\varphi = M_{rozr} \cdot L / (G \cdot J_p) \quad (3.22)$$

де $L = 0,12 \text{ м}$ — довжина торсіонного елемента;

$G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ — модуль зсуву сталі.

$$\varphi = 9000 \cdot 0,12 / (8 \cdot 10^{10} \cdot 5,5 \cdot 10^{-6}) = 0,00245 \text{ рад} \quad \varphi \approx 0,14^\circ$$

Отримане значення свідчить про наявність достатньої пружної деформації для роботи тензометричної системи без переходу матеріалу в пластичну область.

Визначення відносної зсувної деформації

Для перевірки роботи матеріалу в межах пружності визначаємо відносну зсувну деформацію:

$$\gamma = \tau_{\max} / G = 167 \cdot 10^6 / (8 \cdot 10^{10}) = 2,1 \cdot 10^{-3} \quad (3.23)$$

Отримане значення відповідає пружному режиму роботи матеріалу.

У результаті виконаного розрахунку встановлено, що при розрахунковому моменті 9 кН·м мінімальний діаметр торсійного елемента становить 62 мм. З урахуванням конструктивного запасу прийнято діаметр 65 мм. Максимальні напруження не перевищують допустимих, а величина кутової деформації забезпечує можливість точного вимірювання крутного моменту тензOMETричним методом.

3.4. Розрахунок впливу оптимізації режимів на витрату пального

Ефективність роботи системи вибору оптимальної передачі визначається зменшенням питомої витрати пального за рахунок підтримання двигуна у зоні раціональних обертів і навантажень. Нераціональний вибір передачі призводить до роботи двигуна або в режимі перевантаження, або в режимі недостатнього навантаження, що супроводжується зростанням питомої витрати пального.

Метою даного розрахунку є визначення економії пального при переході від довільного режиму керування до оптимізованого режиму, який формується системою контролю крутного моменту.

Визначення ефективної потужності двигуна

Ефективна потужність двигуна [25, 26] визначається через крутний момент і частоту обертання:

$$N_e = M_e \cdot \omega_e \quad (3.24)$$

де M_e — крутний момент двигуна;

ω_e — кутова швидкість колінчастого вала.

Кутова швидкість визначається:

$$\omega_e = 2\pi n_e / 60 \quad (3.25)$$

де n_e — частота обертання двигуна.

Визначення питомої витрати пального

Питома витрата пального визначається як відношення масової витрати пального до ефективної потужності:

$$g_e = G_t / N_e \quad (3.26)$$

де G_t — масова витрата пального, кг/год;

N_e — ефективна потужність, кВт.

Для дизельних двигунів типу ЯМЗ-238 мінімальна питома витрата становить: $g_e(\min) \approx 210$ г/(кВт·год) досягається шляхом обрання оптимального режиму роботи трансмісії за різних умов експлуатації автомобіля. У нераціональному режимі: $g_e(\text{факт}) \approx 240\text{--}260$ г/(кВт·год)

Тоді годинну витрату палива визначимо за рівнянням:

$$G_t = g_e \cdot N_{e \text{ роб}} \quad (3.27)$$

Вантажний автомобіль рідко працює на 100 % номінальної потужності тривалий час. Типовий робочий режим становить 60–75 % від номінальної потужності.

Тоді

$$N_{e \text{ роб}} = 0,7 \cdot N_{e \text{ ном}} = 0,7 \cdot 176 = 120 \text{ кВт} \quad (3.28)$$

$$G_t(\text{факт}) = 0,25 \cdot 120 = 30 \text{ кг/год}$$

В оптимальному режимі за умови використання запропонованого конструктивного рішення витрата становитиме:

$$Gt(\text{опт}) = 0,21 \cdot 120 = 25,2 \text{ кг/год}$$

Визначення економії пального за годину роботи

$$\Delta Gt = Gt(\text{факт}) - Gt(\text{опт}) = 30 - 25,2 = 4,8 \text{ кг/год} \quad (3.29)$$

Перехід до об'ємної витрати

Для переведення масової витрати в об'ємну використовуємо густину дизельного пального: $\rho = 0,84 \text{ кг/л}$

$$Vt = Gt / \rho \quad (3.30)$$

Економія в літрах за годину:

$$\Delta Vt = \Delta Gt / \rho = 4,8 / 0,84 \approx 5,7 \text{ л/год}$$

Визначення відносної економії

Відносна економія визначається:

$$\eta_{\text{econ}} = \Delta Gt / Gt(\text{факт}) \cdot 100\% \quad (3.31)$$

$$\eta_{\text{econ}} = 4,8 / 30 \cdot 100\% \approx 16 \%$$

Отриманий результат свідчить, що підтримання двигуна у зоні мінімальної питомої витрати пального дозволяє знизити витрати пального приблизно на 15–18 %. Реальна економія залежить від умов експлуатації, профілю дороги та навантаження автомобіля.

Система вибору оптимальної передачі, яка використовує вимірювання крутного моменту на з'єднувальній муфті, дозволяє:

- уникати перевантаження двигуна;
- запобігати роботі на підвищених обертах без потреби;
- підтримувати режим максимальної ефективності.

У результаті виконаного розрахунку встановлено, що впровадження системи вибору оптимальної передачі може забезпечити економію пального до 16 % у порівнянні з нераціональним режимом керування. Це підтверджує технічну та економічну доцільність розробленої системи.

3.5. Висновки

1. Розроблено систему вибору оптимальної передачі для автомобіля КрАЗ-6130С4 з двигуном ЯМЗ-238 на основі прямого тензометричного вимірювання крутного моменту. Вимірювальний вузол інтегровано в з'єднувальну муфту між коробкою передач і карданним валом, що забезпечує реєстрацію фактичного навантаження трансмісії.

2. Розрахунками встановлено, що розрахунковий момент на муфті становить 9 кН·м, а прийнятий діаметр торсіонного елемента 65 мм забезпечує роботу в межах допустимих напружень. Оцінювання режимів роботи двигуна показало можливість зниження витрати пального приблизно на 16 % при підтриманні оптимальної передачі.

3. Запропонована система є технічно обґрунтованою та доцільною для підвищення паливної економічності й надійності трансмісії автомобіля КрАЗ.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз умов праці при експлуатації автомобіля

Експлуатація вантажного автомобіля КрАЗ-6130С4 у складі транспортного забезпечення аграрного виробництва пов'язана з впливом комплексу виробничих факторів, що можуть негативно впливати на безпеку праці водія та технічний стан транспортного засобу. Аналіз умов праці дозволяє визначити потенційні ризики, оцінити рівень їх впливу та сформувати заходи щодо підвищення безпеки експлуатації [28, 29].

Автомобіль працює в умовах змінних дорожніх покриттів, включаючи асфальтовані дороги, ґрунтові шляхи, польові під'їзди та виробничі майданчики. Нерівності покриття, пил, волога та сезонні кліматичні фактори створюють підвищене динамічне навантаження на вузли трансмісії, підвіску та кабінку водія. При русі по нерівній поверхні виникають вібраційні коливання, що передаються на робоче місце водія та можуть спричиняти підвищену втоми.

До основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації автомобіля належать:

- механічні фактори (рухомі частини трансмісії, обертові елементи карданної передачі, з'єднувальна муфта);
- підвищений рівень шуму від роботи двигуна та трансмісії;
- вібрація кабінки та органів керування;
- несприятливі метеорологічні умови (висока або низька температура, вологість, пил);
- ризик дорожньо-транспортних пригод;
- фізичне перевантаження водія при тривалій роботі.

Рівень шуму дизельного двигуна типу ЯМЗ-238 у номінальному режимі може перевищувати 85 дБ, що потребує належної шумоізоляції кабінки.

Вібраційні навантаження виникають внаслідок роботи двигуна та нерівностей дорожнього покриття, що особливо характерно для польових умов. Тривалий вплив вібрації може призводити до зниження концентрації уваги та підвищення стомлюваності водія.

Додатковим фактором є змінність навантаження автомобіля. При перевезенні сільськогосподарської продукції можливі коливання маси вантажу, що впливає на стійкість транспортного засобу та динаміку руху. Нераціональний вибір передачі в умовах перевантаження може призводити до підвищених напружень у трансмісії та перевитрати пального.

Впровадження системи вибору оптимальної передачі позитивно впливає на умови праці водія. Об'єктивний контроль крутного моменту дозволяє зменшити кількість помилкових перемикачів передач, уникнути перевантаження двигуна та трансмісії, знизити рівень шуму й вібрації внаслідок роботи в більш раціональному режимі. Крім того, інформаційна підтримка водія сприяє зменшенню психоемоційного навантаження та підвищує безпеку руху.

Таким чином, умови праці при експлуатації автомобіля КрАЗ характеризуються наявністю механічних, фізичних та психофізіологічних факторів, які потребують врахування під час проєктування та впровадження технічних рішень. Запропонована система вибору оптимальної передачі сприяє зниженню негативного впливу частини зазначених факторів та підвищує загальний рівень безпеки експлуатації транспортного засобу.

4.2. Заходи безпеки при встановленні та обслуговуванні вимірювального вузла

Встановлення та технічне обслуговування вимірювального вузла крутного моменту, інтегрованого в з'єднувальну муфту трансмісії автомобіля КрАЗ, повинно виконуватися з дотриманням вимог охорони праці,

електробезпеки та безпеки під час робіт з механічним обладнанням. Оскільки вузол розташований у зоні обертання карданної передачі, порушення правил монтажу або експлуатації може призвести до травмування персоналу та пошкодження обладнання.

Перед початком монтажних робіт автомобіль необхідно встановити на рівному майданчику, зафіксувати стоянковим гальмом та підкласти противідкатні упори під колеса. Двигун повинен бути повністю зупинений, ключ запалювання вилучений, а акумуляторна батарея від'єднана для запобігання випадковому запуску силового агрегату. Роботи дозволяється виконувати лише після повного припинення обертання карданного валу.

Монтаж з'єднувальної муфти з інтегрованим тензоблоком повинен здійснюватися із застосуванням штатного інструменту та дотриманням моментів затягування різьбових з'єднань. Перевищення допустимого зусилля затягування може спричинити появу додаткових внутрішніх напружень у торсіонному елементі, що негативно вплине на точність вимірювання. Недостатнє затягування, у свою чергу, може призвести до ослаблення з'єднання та виникнення ударних навантажень під час руху.

Особливу увагу необхідно приділяти електронній частині системи. Під час встановлення тензорезисторів слід уникати механічних пошкоджень чутливих елементів і контактних доріжок. Роботи з електронними компонентами повинні виконуватися з урахуванням заходів захисту від статичної електрики. Підключення підсилювача сигналу, радіомодуля та блоку обробки даних здійснюється при відключеному живленні.

Під час експлуатації забороняється проводити будь-які роботи в зоні карданної передачі при працюючому двигуні. Обертові частини трансмісії становлять підвищену небезпеку через можливість захоплення одягу або інструменту. Усі обертові елементи повинні бути закриті захисними кожухами, що унеможливають випадковий контакт.

Технічне обслуговування вимірювального вузла включає періодичний візуальний огляд муфти, перевірку цілісності тензоблоку, стану кріплень та електричних з'єднань. Необхідно контролювати відсутність тріщин, слідів перегріву, ослаблення різьбових з'єднань і пошкодження ізоляції провідників. Перевірка калібрування системи повинна виконуватися згідно з регламентом підприємства із застосуванням еталонних навантажень.



Рисунок 4.1 Заходи безпеки при експлуатації вимірювального вузла

Оскільки живлення обертового блоку здійснюється від Li-ion акумулятора, необхідно дотримуватися правил безпечної експлуатації акумуляторних батарей: уникати короткого замикання, перегріву та механічного пошкодження. Заряджання повинно виконуватися спеціалізованим зарядним пристроєм із контролем напруги та струму.

Запропонована конструкція з безконтактною передачею сигналу виключає застосування ковзних контактів, що зменшує ризик іскроутворення та підвищує пожежну безпеку системи. Це особливо важливо при експлуатації

автомобіля в умовах перевезення зерна та інших сипучих матеріалів, які можуть утворювати пилові вибухонебезпечні середовища.

Таким чином, дотримання встановлених заходів безпеки під час монтажу та обслуговування вимірювального вузла забезпечує безпечну експлуатацію автомобіля, збереження точності вимірювання крутного моменту та довговічність елементів системи вибору оптимальної передачі.

4.3. Електробезпека та пожежна безпека

Встановлення та технічне обслуговування вимірювального вузла крутного моменту, інтегрованого в з'єднувальну муфту трансмісії автомобіля КрАЗ, повинно виконуватися з дотриманням вимог охорони праці, електробезпеки та безпеки під час робіт з механічним обладнанням [30]. Оскільки вузол розташований у зоні обертання карданної передачі, порушення правил монтажу або експлуатації може призвести до травмування персоналу та пошкодження обладнання.

Перед початком монтажних робіт автомобіль необхідно встановити на рівному майданчику, зафіксувати стоянковим гальмом та підкласти противідкатні упори під колеса. Двигун повинен бути повністю зупинений, ключ запалювання вилучений, а акумуляторна батарея від'єднана для запобігання випадковому запуску силового агрегату. Роботи дозволяється виконувати лише після повного припинення обертання карданного валу.

Монтаж з'єднувальної муфти з інтегрованим тензоблоком повинен здійснюватися із застосуванням штатного інструменту та дотриманням моментів затягування різьбових з'єднань. Перевищення допустимого зусилля затягування може спричинити появу додаткових внутрішніх напружень у торсіонному елементі, що негативно вплине на точність вимірювання.

Недостатнє затягування, у свою чергу, може призвести до ослаблення з'єднання та виникнення ударних навантажень під час руху.

Особливу увагу необхідно приділяти електронній частині системи. Під час встановлення тензорезисторів слід уникати механічних пошкоджень чутливих елементів і контактних доріжок. Роботи з електронними компонентами повинні виконуватися з урахуванням заходів захисту від статичної електрики. Підключення підсилювача сигналу, радіомодуля та блоку обробки даних здійснюється при відключеному живленні.

Під час експлуатації забороняється проводити будь-які роботи в зоні карданної передачі при працюючому двигуні. Обертові частини трансмісії становлять підвищену небезпеку через можливість захоплення одягу або інструменту. Усі обертові елементи повинні бути закриті захисними кожухами, що унеможливають випадковий контакт.

Технічне обслуговування вимірювального вузла включає періодичний візуальний огляд муфти, перевірку цілісності тензоблоку, стану кріплень та електричних з'єднань. Необхідно контролювати відсутність тріщин, слідів перегріву, ослаблення різьбових з'єднань і пошкодження ізоляції провідників. Перевірка калібрування системи повинна виконуватися згідно з регламентом підприємства із застосуванням еталонних навантажень.

Оскільки живлення обертового блоку здійснюється від Li-ion акумулятора, необхідно дотримуватися правил безпечної експлуатації акумуляторних батарей: уникати короткого замикання, перегріву та механічного пошкодження. Заряджання повинно виконуватися спеціалізованим зарядним пристроєм із контролем напруги та струму.

Запропонована конструкція з безконтактною передачею сигналу виключає застосування ковзних контактів, що зменшує ризик іскроутворення та підвищує пожежну безпеку системи. Це особливо важливо при експлуатації

автомобіля в умовах перевезення зерна та інших сипучих матеріалів, які можуть утворювати пилові вибухонебезпечні середовища.

Таким чином, дотримання встановлених заходів безпеки під час монтажу та обслуговування вимірювального вузла забезпечує безпечну експлуатацію автомобіля, збереження точності вимірювання крутного моменту та довговічність елементів системи вибору оптимальної передачі.

4.4. Екологічні аспекти зниження витрати пального

Експлуатація вантажних автомобілів у аграрному виробництві супроводжується споживанням значних обсягів дизельного пального, що зумовлює викиди шкідливих речовин у атмосферу та негативний вплив на навколишнє природне середовище. Зменшення витрати пального безпосередньо пов'язане зі зниженням обсягів викидів продуктів згоряння, підвищенням енергетичної ефективності та раціональним використанням природних ресурсів.

Основними компонентами відпрацьованих газів дизельних двигунів є оксиди азоту (NO_x), оксид вуглецю (CO), вуглекислий газ (CO_2), тверді частинки (сажа) та незгорілі вуглеводні. Кількість цих викидів прямо залежить від режиму роботи двигуна, ступеня його навантаження та питомої витрати пального. Робота силового агрегату в нераціональних режимах — при перевантаженні або на підвищених обертах без потреби — призводить до збільшення витрати пального і, відповідно, зростання концентрації шкідливих речовин у вихлопі.

Запропонована система вибору оптимальної передачі забезпечує підтримання двигуна в зоні мінімальної питомої витрати пального. Це сприяє більш повному згорянню пального, стабілізації температурного режиму та зменшенню утворення токсичних компонентів. За результатами виконаних

розрахунків встановлено можливість зниження годинної витрати пального приблизно на 16 %, що безпосередньо зменшує обсяг викидів CO₂ на аналогічну величину.

Враховуючи, що при згорянні 1 кг дизельного пального утворюється приблизно 3,15 кг CO₂, зменшення витрати на 4,8 кг/год дозволяє скоротити викиди вуглекислого газу майже на 15 кг за годину роботи автомобіля. У масштабах річної експлуатації транспортного засобу це дає суттєвий екологічний ефект, особливо для автопарків сільськогосподарських підприємств.

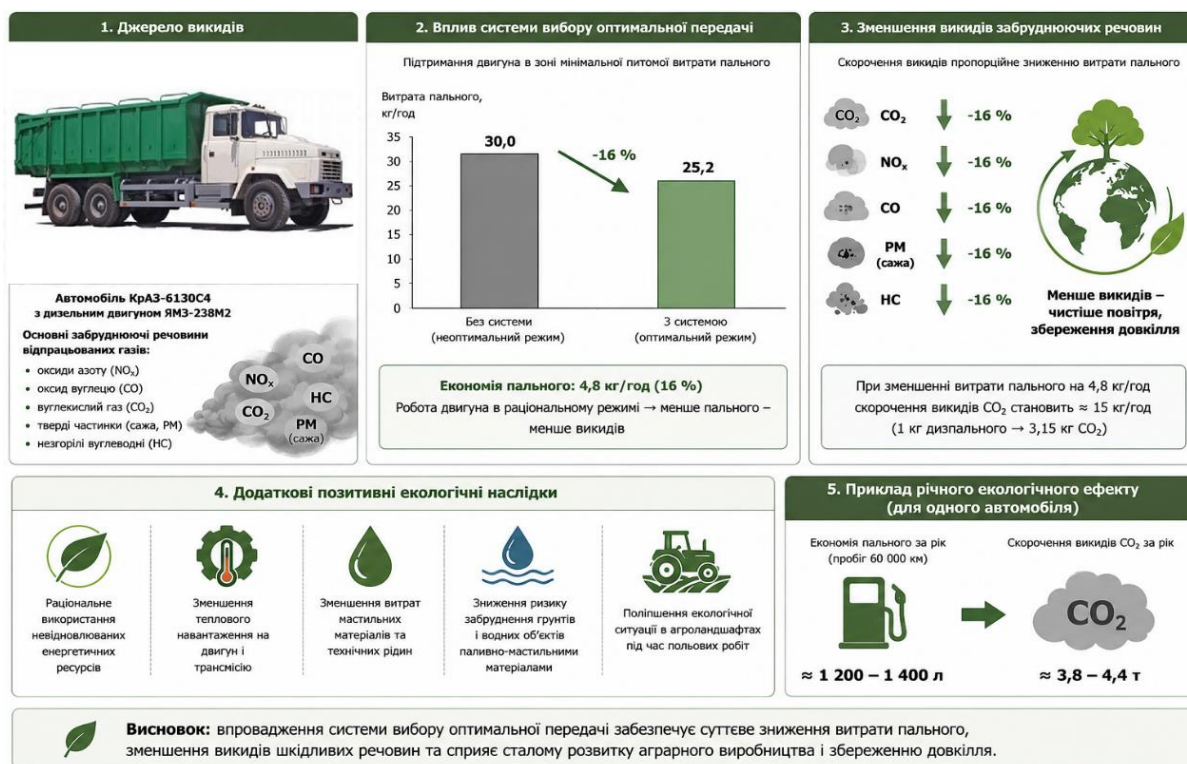


Рисунок 4.2 – Екологічні аспекти зниження витрати пального

Крім зниження атмосферних викидів, зменшення витрати пального позитивно впливає на:

- скорочення споживання невідновлюваних енергетичних ресурсів;
- зниження теплового навантаження на двигун і трансмісію;
- зменшення кількості технічних рідин та витратних матеріалів;

- зниження ризику забруднення ґрунтів і водних ресурсів паливно-мастильними матеріалами.

Особливо важливим є екологічний аспект для аграрного виробництва, де транспортні засоби часто експлуатуються безпосередньо на полях, поблизу посівів і водних об'єктів. Раціоналізація режимів роботи трансмісії сприяє зменшенню локального забруднення повітря та збереженню екологічної рівноваги агроландшафтів.

Таким чином, впровадження системи вибору оптимальної передачі має не лише економічне, але й виражене екологічне значення. Зниження витрати пального забезпечує скорочення викидів шкідливих речовин, підвищення енергоефективності та сприяє більш сталому функціонуванню транспортного забезпечення аграрного виробництва.

4.5. Висновки

У розділі проаналізовано умови праці водія при експлуатації автомобіля КрАЗ-6130С4 та визначено основні небезпечні фактори: шум, вібрацію, пил, змінні дорожні умови й психоемоційне навантаження. Показано, що раціоналізація режимів роботи двигуна і трансмісії сприяє зменшенню перевантажень та покращенню умов праці.

Розглянуто заходи електробезпеки та пожежної безпеки під час встановлення й обслуговування вимірювального вузла. Використання безконтактної передачі сигналу підвищує надійність та знижує ризик іскроутворення.

Встановлено, що зменшення витрати пального на 16 % забезпечує відповідне скорочення викидів шкідливих речовин. Отже, впровадження системи вибору оптимальної передачі є технічно безпечним і екологічно доцільним.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Ефективність впровадження системи вибору оптимальної передачі повинна оцінюватися не лише з технічної, але й з економічної точки зору. Основною метою техніко-економічного обґрунтування є визначення доцільності реалізації запропонованого рішення шляхом зіставлення витрат на його розробку, виготовлення, монтаж і обслуговування з очікуваним економічним ефектом від зменшення витрати пального, підвищення ресурсу агрегатів трансмісії та зниження супутніх експлуатаційних витрат. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити результативність проекту та підтвердити його практичну цінність для транспортного забезпечення аграрного підприємства [31].

У попередніх розділах встановлено, що впровадження системи забезпечує зниження годинної витрати пального приблизно на 16 % завдяки підтриманню двигуна в зоні мінімальної питомої витрати та уникненню перевантажень. Це безпосередньо впливає на структуру експлуатаційних витрат підприємства, оскільки паливна складова є однією з найбільших у собівартості транспортних робіт. Крім прямої економії пального, очікується зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт трансмісії, підвищення надійності роботи автомобіля та скорочення простоїв техніки. Особливо вагомим цей ефект є в умовах інтенсивної сезонної експлуатації вантажних автомобілів в аграрному виробництві, де навіть незначне відсоткове зниження витрат у перерахунку на річний обсяг робіт формує суттєвий економічний результат.

5.1. Розрахунок вартості удосконалення

Для оцінювання економічної доцільності проекту [31, 32] необхідно визначити загальний обсяг капітальних витрат, пов'язаних із виготовленням, придбанням та встановленням системи вибору оптимальної передачі. Структура витрат наведена у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Структура капітальних витрат на впровадження системи

№	Стаття витрат	Позначення	Вартість, грн
1	Виготовлення торсіонної муфти	К _м	25 000
2	Тензодатчики та підсилювач	К _т	8 000
3	Радіомодуль і приймач	К _р	5 000
4	Блок обробки та дисплей	К _б	7 000
5	Монтажні роботи та налаштування	К _{мон}	10 000

До складу витрат входять витрати на виготовлення з'єднувальної торсіонної муфти, придбання тензометричних датчиків і підсилювача сигналу, радіомодуля з приймальним блоком, блоку цифрової обробки та інформаційного дисплея, а також витрати на монтажні роботи та налаштування системи.

Загальні капітальні витрати визначаються як сума всіх складових:

$$K = K_m + K_t + K_r + K_b + K_{\text{мон}} \quad (5.1)$$

де K_m — вартість виготовлення торсіонної муфти;

K_t — вартість тензодатчиків та підсилювача;

K_r — вартість радіомодуля і приймача;

K_b — вартість блоку обробки та дисплея;

$K_{\text{мон}}$ — витрати на монтажні роботи.

$$K = 25\,000 + 8\,000 + 5\,000 + 7\,000 + 10\,000 = 55\,000 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальний обсяг інвестицій у впровадження системи вибору оптимальної передачі на один автомобіль становить 55 000 грн, що враховано при подальшому розрахунку економічної ефективності.

5.2. Розрахунок економічної ефективності

Для визначення економічного ефекту від впровадження системи вибору оптимальної передачі необхідно розрахувати річну витрату пального у базовому та проєктному варіантах експлуатації автомобіля КрАЗ-6130С4.

Визначення річної витрати пального у базовому варіанті

Річна витрата пального визначається як добуток середньої питомої витрати на пробіг та річного пробігу автомобіля:

$$Q_0 = (G_0 \cdot L) / 100 \quad (5.2)$$

де G_0 – середня витрата пального без системи, л/100 км;

L – річний пробіг автомобіля, км;

100 – коефіцієнт переходу до 1 км пробігу.

Для автомобіля КрАЗ-6130С4 приймаємо:

$G_0 = 35$ л/100 км

$L = 60\,000$ км/рік

Підставляємо значення:

$$Q_0 = (35 \cdot 60\,000) / 100 = 21\,000 \text{ л/рік}$$

Отже, при традиційній експлуатації без системи вибору оптимальної передачі автомобіль споживає 21 000 літрів дизельного пального на рік.

Визначення річної витрати пального у проєктному варіанті

Встановлено, що впровадження системи дозволяє знизити витрату пального на 16 %. Тоді річна витрата з урахуванням економії визначається:

$$Q_1 = Q_0 \cdot (1 - \delta) \quad (5.3)$$

Де δ – відносне зниження витрати пального (0,16).

$$Q_1 = 21\,000 \cdot (1 - 0,16) = 17\,640 \text{ л/рік}$$

Визначення річної економії пального

Річна економія визначається як різниця між витратами базового та проєктного варіантів:

$$\Delta Q = Q_0 - Q_1 = 21\,000 - 17\,640 = 3\,360 \text{ л/рік} \quad (5.4)$$

Відносна економія

Відносна економія перевіряється:

$$\eta = (\Delta Q / Q_0) \cdot 100 \% \quad (5.5)$$

$$\eta = (3\,360 / 21\,000) \cdot 100 \% = 16 \%$$

Річний економічний ефект від економії пального:

$$E_p = \Delta Q \cdot C \quad (5.6)$$

Де C – ціна дизельного пального, грн/л.

$$E_p = 3\,360 \cdot 88 = 295\,680 \text{ грн/рік}$$

Зниження витрат на ремонт

З урахуванням зменшення перевантажень економія становить приблизно 12 % від базових витрат. Прийmemo середні річні витрати на ремонт трансмісії $R_0 = 80\,000$ грн/рік.

Річна економія визначається:

$$E_r = R_0 \cdot 0,12 = 80\,000 \cdot 0,12 = 9\,600 \text{ грн/рік} \quad (5.7)$$

Загальний річний економічний ефект

$$E_{\text{заг}} = E_p + E_r \quad (5.8)$$

$$E_{\text{заг}} = 295\,680 + 9\,600 = 305\,280 \text{ грн/рік}$$

Коефіцієнт економічної ефективності

$$E = E_{\text{заг}} / K = 305\,280 / 55\,000 = 5,55 \text{ грн} \quad (5.9)$$

Отже, на 1 грн вкладених коштів отримуємо понад 5 грн річного ефекту.

Термін окупності

$$T = K / E_{\text{заг}}$$

$$T = 55\,000 / 305\,280 = 0,18 \text{ року} \approx 2,2 \text{ місяця}$$

Результати розрахунку економічної ефективності наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Порівняння базового та проєктного варіантів експлуатації автомобіля КрАЗ-6130С4

№	Показник	Одиниця виміру	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення (+/-)
1	Річний пробіг	км	60 000	60 000	–
2	Витрата пального	л/100 км	35	29,4	–5,6
3	Річна витрата пального	л	21 000	17 640	–3 360
4	Ціна дизельного пального	грн/л	88	88	–
5	Річні витрати на пальне	грн	1 848 000	1 552 320	–295 680
6	Річні витрати на ремонт трансмісії	грн	80 000	70 400	–9 600
7	Загальні річні експлуатаційні витрати	грн	1 928 000	1 622 720	–305 280
8	Викиди CO ₂	т/рік	55,6	46,7	–8,9
9	Капітальні витрати на систему	грн	55 000		
10	Загальний річний економічний ефект	грн	305 280		
11	Термін окупності	років	0,18		

5.3. Висновки

Розрахунками встановлено, що впровадження системи вибору оптимальної передачі забезпечує зниження витрати пального на 16 %, що дає річну економію 3 360 л або 295 680 грн. Додаткове скорочення витрат на ремонт трансмісії становить 9 600 грн на рік.

Загальний економічний ефект дорівнює 305 280 грн при капітальних витратах 55 000 грн. Термін окупності системи складає близько 2 місяців, що підтверджує економічну доцільність її впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню паливної економічності вантажних автомобілів КрАЗ шляхом розробки системи вибору оптимальної передачі на основі прямого вимірювання крутного моменту в трансмісії.

Метою роботи було зниження витрати пального та підвищення ефективності експлуатації автомобіля за рахунок раціоналізації тягових режимів. У процесі виконання роботи проведено аналіз умов експлуатації автомобіля в аграрному виробництві, досліджено сучасні методи зниження витрати пального та способи контролю навантаження трансмісії. За результатами аналізу обґрунтовано доцільність застосування тензометричного способу вимірювання крутного моменту з безконтактною передачею сигналу.

Розроблено конструкцію вимірювального вузла, інтегрованого в з'єднувальну муфту між коробкою передач і карданним валом. У результаті розрахунків встановлено, що розрахунковий момент на муфті становить 9 кН·м, а прийнятий діаметр торсіонного елемента 65 мм забезпечує роботу в межах допустимих напружень. Отримані результати підтверджують міцність та працездатність конструкції.

Оцінювання впливу оптимізації режимів роботи двигуна показало можливість зниження витрати пального на 16 %, що відповідає економії 3 360 л дизельного пального на рік. Грошовий ефект становить 295 680 грн, а з урахуванням зменшення витрат на ремонт трансмісії — 305 280 грн на рік. При капітальних витратах 55 000 грн термін окупності системи складає близько 0,18 року.

У розділі з охорони праці визначено основні виробничі фактори, що впливають на водія під час експлуатації автомобіля, зокрема шум, вібрацію, динамічні навантаження та електробезпеку. Розроблено заходи безпечного встановлення та обслуговування вимірювального вузла, передбачено захист обертових частин і електронних компонентів, що забезпечує відповідність вимогам безпеки експлуатації.

Екологічний аналіз показав, що зменшення витрати пального забезпечує скорочення викидів CO₂ приблизно на 9 т на рік, а також знижує загальне техногенне навантаження на довкілля. Таким чином, розроблена система має не лише економічне, а й екологічне значення.

Отже, поставлена мета досягнута, а запропонована система вибору оптимальної передачі є технічно обґрунтованою, економічно ефективною, безпечною в експлуатації та екологічно доцільною для застосування у вантажних автомобілях КрАЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бажинов О. В., Смирнов О. П. Автомобілі: конструкція, теорія та розрахунок : підручник. – Харків : ХНАДУ, 2018. – 528 с.
2. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів : навч. посіб. – Київ : Каравела, 2016. – 312 с.
3. Говорущенко М. Я. Економічність автомобілів і тракторів : навч. посіб. – Харків : Основа, 2015. – 384 с.
4. Мельник І. І., Марченко В. І. Енергетичні засоби в аграрному виробництві : навч. посіб. – Київ : Аграрна освіта, 2016. – 352 с.
5. Лудченко О. А. Технічна експлуатація автомобілів : підручник. – Київ : Знання, 2018. – 463 с.
6. КрАЗ-6130С4. Технічні характеристики // АвтоКрАЗ. URL: <https://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/fotovideo/avtomobili/kraz-6130s4> (дата звернення: 10.05.2026).
7. Двигуни ЯМЗ-238. Технічний опис та інструкція з експлуатації. – Ярославль : Автодизель, 2014. – 276 с.
8. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 42 с.
9. ДСТУ 4278:2012. Автомобільний транспорт. Терміни та визначення понять. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2013. – 36 с.
10. Петров Л. М. Паливна економічність транспортних засобів : монографія. – Харків : ХНАДУ, 2017. – 284 с.
11. Кравченко О. П., Руденко М. М. Трансмисії вантажних автомобілів : навч. посіб. – Київ : НУБіП України, 2017. – 296 с.
12. Кузьмін В. О. Основи теорії автомобіля : підручник. – Львів : Світ, 2019. – 408 с.
13. Подригало М. А. Теорія автомобіля : підручник. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – 412 с.

14. Соколовський В. М. Автомобілі КрАЗ. Конструкція та експлуатація : довідник. – Кременчук : КрАЗ, 2013. – 318 с.
15. Трансмисії автомобілів : навч. посіб. / за ред. О. В. Бажинова. – Харків : ХНАДУ, 2019. – 340 с.
16. Шатров М. Г. Автомобильные двигатели : учебник. – Москва : Академия, 2016. – 464 с.
17. Bosch R. Diesel-Engine Management. – 5th ed. – Stuttgart : Robert Bosch GmbH, 2018. – 512 p.
18. Gillespie T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. – Warrendale : SAE International, 2015. – 495 p.
19. Heywood J. B. Internal Combustion Engine Fundamentals. – 2nd ed. – New York : McGraw-Hill Education, 2018. – 1034 p.
20. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2017. – 688 p.
21. SAE International. Fuel Economy Measurement Procedures for Heavy-Duty Vehicles. – SAE Standard J1321. – Warrendale, 2014. – 24 p.
22. Гутаревич Ю. Ф., Говорун А. М., Мержиєвський В. С. Експлуатаційні властивості автомобілів : підручник. Київ: Арістей, 2015. 352 с
23. Луканін В. Н., Трофименко Ю. В., Мартиненко А. М. Автомобільні двигуни : підручник. Київ : Вища школа, 2016. 383 с.
24. Кравченко В. І., Дудник О. М. Мехатронні системи мобільних машин : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2017. 420 с.
25. Марченко А. П. Двигуни внутрішнього згоряння : підручник. Харків : Прапор, 2015. 488 с.
26. Гаврилюк В. П. Теорія автомобіля : підручник. Львів : Афіша, 2016. 408 с.
27. Коваленко Ю. М. Деталі машин : підручник. Київ : Каравела, 2018. 520 с.

28. Охорона праці : підручник / за ред. К. Н. Ткачука. Київ : Основа, 2016. 456 с.
29. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : № 1264-ХІІ від 25.06.1991 (зі змін. станом на 2015 р.). Київ : Верховна Рада України, 2015.
30. Правила пожежної безпеки в Україні : затв. наказом МВС України № 1417 від 30.12.2014 (зі змін.). Київ : МВС України, 2015. 120 с.
31. Покропивний С. Ф. Економіка підприємства : підручник. Київ : КНЕУ, 2015. 528 с.
32. Методичні рекомендації з оцінки ефективності інвестиційних проектів та їх відбору для фінансування : затв. наказом Міністерства економіки України № 281 від 04.07.2006 (зі змінами). Київ : Міністерство економіки України.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані для розрахунку

№	Параметр	Позначення	Значення	Одиниці виміру	Примітка
1	Модель автомобіля	—	КрАЗ-6130С4	—	Базова модель
2	Тип двигуна	—	ЯМЗ-238М2	—	Дизельний
3	Номінальна потужність двигуна	Неном	176	кВт	при 2100 об/хв
4	Частота обертання двигуна	ne	2100	об/хв	номінальна
5	Максимальний крутний момент	Me	883	Н·м	при 1500 об/хв
6	Передаточне число 1 передачі	i1	7,82	—	КПП
7	Передаточне число головної передачі	i0	6,53	—	Задній міст
8	ККД коробки передач	$\eta_{кпп}$	0,95	—	Прийнято
9	ККД карданної передачі	$\eta_{кар}$	0,98	—	Прийнято
10	ККД головної передачі	$\eta_{гп}$	0,97	—	Прийнято
11	Загальний ККД трансмісії	η_t	0,903	—	Розрахункове
12	Коефіцієнт динамічності	kd	1,4	—	Ударні навантаження
13	Розрахунковий момент на муфті	Мрозр	9000	Н·м	Прийнято

14	Матеріал муфти	–	Сталь 40Х	–	Загартована
15	Межа текучості	$\sigma_{0,2}$	785	МПа	Для сталі 40Х
16	Коефіцієнт запасу міцності	ns	2	–	Прийнято
17	Модуль зсуву	G	$8 \cdot 10^{10}$	Па	Для сталі
18	Довжина торсіонного елемента	L	0,12	м	Конструктивно
19	Прийнятий діаметр муфти	d	0,065	м	65 мм
20	Питома витрата (факт)	geфакт	0,25	кг/(кВт·год)	Неоптимальний режим
21	Питома витрата (мін.)	геопт	0,21	кг/(кВт·год)	Оптимальний режим
22	Густина дизпального	ρ	0,84	кг/л	ДСТУ

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Структурні складові системи вибору оптимальної передачі

№	Найменування елемента	Позначення на схемі	Функціональне призначення
1	З'єднувальна торсіонна муфта	1	Передача крутного моменту та сприйняття кутових деформацій
2	Пружний (чутливий) елемент муфти	2	Створення пружної деформації під дією моменту
3	Тензорезистори ($\pm 45^\circ$)	3	Вимірювання зсувних деформацій
4	Тензометричний міст	4	Перетворення деформації в електричний сигнал
5	Інструментальний підсилювач	5	Підсилення мілівольтного сигналу
6	Радіомодуль передачі	6	Безконтактна передача даних
7	Джерело живлення (Li-ion)	7	Живлення обертового вимірювального блоку
8	Приймальний модуль	8	Прийом радіосигналу
9	Блок цифрової обробки	9	Обробка, фільтрація та аналіз сигналу
10	Інформаційний дисплей	10	Відображення рекомендацій водію
11	Датчик частоти обертання	—	Визначення режиму роботи двигуна
12	Датчик швидкості руху	—	Визначення кінематичних параметрів
13	Датчик положення педалі	—	Аналіз навантаження двигуна

Таблиця Б.2 – Технічні характеристики основних елементів системи

№	Елемент	Основні параметри	Значення
1	Торсіонна муфта	Розрахунковий момент	9 кН·м
		Діаметр	65 мм
		Матеріал	Сталь 40Х
2	Тензорезистори	Номінальний опір	120 Ом
		Чутливість	2,0 мВ/В
3	Підсилювач	Тип	INA333 / НХ711
		Розрядність АЦП	24 біт
4	Радіомодуль	Тип	SX1278
		Частота	433 МГц
		Дальність передачі	до 50 м
5	Акумулятор	Напруга	3,7 В
		Тип	Li-ion
6	Блок обробки	Тип	STM32 / Arduino Industrial
		Частота оновлення	до 100 Гц
7	Система в цілому	Похибка вимірювання	±2 %
		Температурна компенсація	Мостова схема

[illegible]