

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інформаційних технологій та механічної інженерії

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра експлуатації та ремонту машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему *Обґрунтування оцінних критеріїв доцільності переобладнання
силового агрегату вантажного автомобіля*

Виконав: здобувач вищої освіти

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

спеціальності

274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми

ОПП «Автомобільний транспорт»
(вид та назва освітньої програми)

групи *АТ-21мп*

Володимир РИГАЛЬОВ

(ім'я та прізвище здобувача)

Керівник *Олександр ЛИХОДІЙ*

(ім'я та прізвище)

Рецензент *Роман КРОЛЬ*

(ім'я та прізвище)

Оцінка захисту кваліфікаційної роботи

(сума балів, оцінка ECTS, оцінка за національною шкалою.)

Секретар ЕК _____ / *Віталій БОГОМОЛОВ* /

(підпис)

(ім'я та прізвище секретаря ЕК)

Дніпро – 2022

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ**

Інститут, факультет інформаційних технологій та механічної інженерії
Кафедра експлуатації та ремонту машин
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр та назва)
Освітня програма ОПП «Автомобільний транспорт»
(вид та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
к.т.н., доц. Олександр ЛИХОДІЙ
« 22 » вересня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Володимиру РИГАЛЬОВУ
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Обґрунтування оцінних критеріїв доцільності переобладнання
силового агрегату вантажного автомобіля

керівник роботи к.т.н., доцент, Олександр ЛИХОДІЙ
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора від « 22 » вересня 2022 року № 340-кс

2. Строк подання роботи до захисту « 22 » грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Технічна характеристика сидельних тягачів КрАЗ-5444,
КамАЗ-54115 та самоскиду КрАЗ-7133С4. Комп'ютерна програма для визначення
експлуатаційних властивостей автомобілів. Характеристика випробувальних
маршрутів.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.
1. Вибір джерела енергії для транспортного засобу. 2. Визначення
кінематичних параметрів коробок зміни передач вантажних автомобілів.
3. Обґрунтування вибору КЗП за кількістю передач за умов переобладнання
самоскиду. 4. Обґрунтування вибору ДВЗ та КЗП за кількістю передач за умов
переобладнання сидельних тягачів. Висновки. Список використаних джерел.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

6. Дата видачі завдання « 12 » вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунково-пояснювальна записка:		
1.1	<i>Вступ. Вибір джерела енергії для транспортного засобу.</i>	<i>до 29.09</i>	
1.2	<i>Визначення кінематичних параметрів коробок зміни передач вантажних автомобілів.</i>	<i>до 20.10</i>	
1.3	<i>Обґрунтування вибору КЗП за кількістю передач за умов переобладнання самоскиду</i>	<i>до 04.11</i>	
1.4	<i>Обґрунтування вибору ДВЗ та КЗП за кількістю передач за умов переобладнання сідельних тягачів</i>	<i>до 17.11</i>	
1.5	<i>Висновки. Список використаних джерел</i>	<i>до 30.11</i>	
2	Оформлення кваліфікаційної роботи	<i>до 07.12</i>	
3	Підготовка до попереднього захисту кваліфікаційної роботи	<i>до 14.12</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

/ Володимир РИГАЛЬОВ /

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

/ Олександр ЛИХОДІЙ /

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «*Обґрунтування оцінних критеріїв доцільності переобладнання силового агрегату вантажного автомобіля*» складається із 63 аркушів формату А4, на яких містяться 4-ри розділи, 29-ть таблиць, 52 рисунки, 15-ть джерел інформації.

Об'єкт дослідження. Робочі процеси, що відбуваються в силових агрегатах вантажних автомобілів після їх переобладнання.

Предмет дослідження. Вплив на динамічні та паливно-економічні властивості вантажних автомобілів переобладнання їх силових агрегатів.

За мету кваліфікаційної роботи прийнято виконання теоретичних досліджень руху вантажного автомобіля відповідним випробувальним маршрутом та визначення ступіня впливу процесу переобладнання силового агрегату на параметри руху автомобіля.

Результати теоретичних досліджень доповнюють освітні курси «Аналіз конструкцій автомобілів з елементами розрахунків» і «Переобладнання та дообладнання колісних транспортних засобів» методикою обґрунтування доцільності переобладнання КТЗ.

Матеріали кваліфікаційної роботи доповідались на Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції, присвяченій До дня автомобіліста та дорожника «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» (Харків, ХНАДУ, 19-21 жовтня 2022 р.).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СІДЕЛЬНИЙ АВТОПОЇЗД, САМОСКИД, ПЕРЕОБЛАДНАННЯ, ЗШХ ДВЗ, КОРОБКА ЗМІНИ ПЕРЕДАЧ, ВИПРОБУВАЛЬНИЙ МАРШРУТ, КОМПЛЕКСНІ ПОКАЗНИКИ РУХУ.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
1. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ	8
1.1. Технічна характеристика транспортного засобу	8
1.2. Вибір двигунів для порівняльної оцінки експлуатаційних показників автопоїзда	13
1.3. Апроксимація ЗШХ вибраних двигунів	15
Висновки до першого розділу	18
2. ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОРОБОК ЗМІНИ ПЕРЕДАЧ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	19
2.1. Технічна характеристика самоскиду КрАЗ-7133С4	19
2.2. Визначення передаточних чисел для КЗП самоскиду	21
2.3. Технічна характеристика автопоїзда КрАЗ-5444+МТМ-9330	30
2.4. Визначення передаточних чисел для КЗП сідельного тягача	33
Висновки до другого розділу	36
3. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КЗП ЗА КІЛЬКІСТЮ ПЕРЕДАЧ ЗА УМОВ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ САМОСКИДУ	37
3.1. Характеристика маршруту для дослідження руху самоскиду	37
3.2. Аналіз параметрів руху самоскиду	38
Висновки до третього розділу	44
4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДВЗ ТА КЗП ЗА КІЛЬКІСТЮ ПЕРЕДАЧ ЗА УМОВ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ	45
4.1. Характеристика маршруту для дослідження руху автопоїзда	45
4.2. Аналіз параметрів руху автопоїзда	47
Висновки до четвертого розділу	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	63

ВСТУП

Останнім часом спостерігається особлива зацікавленість розвинутих країн світу до координальних змін в частині використання ненафтових типів джерел енергії для нових автомобілів, що в деяких країнах вже зафіксовано на законодавчому рівні. Для цього необхідно розвинути інфраструктуру, тобто заправочні станції, станції технічного обслуговування, організація вторинного ринку. Такі країни, як Україна ще довгий час залишатимуться головним споживачем вживаних автомобілів з джерелами енергії, працюючих на нафтовому паливі. Кожного року, за статистичними даними, в середньому імпортується вживаних автомобілів до 150 тис., з них 25 % віком до 5 років [1].

Такий стан речей жодним чином не впливає на постійно зростаючі вимоги екологічної безпеки, що залишає два можливих варіанти: постійне, раз на п'ять років, оновлення автомобілів або можливий варіант, пов'язаний з переобладнанням автомобілів. Останнє значною мірою покликане зменшити витрату палива, на що істотно впливає режим руху автомобіля і вибір оптимальних швидкостей. Тобто, дві складових силового агрегату (джерело енергії та коробка зміни передач) за умови класності водія дозволяють економити 20...25 % палива. Останнє дозволяє з великою ймовірністю спрогнозувати у найближчому майбутньому збільшення частки переобладнаних вживаних автомобілів по відношенню до нових.

Переобладнання транспортних засобів – це зміна моделі (марки) або типу, параметрів конструкції автомобіля, що знаходяться в експлуатації, шляхом установки кузова, кабіни або їх деталей, спеціального обладнання і номерних агрегатів, які не передбачені нормативно-технічною документацією на даний автомобіль [4].

Постанова № 607 від 21 липня 2010 р. встановлює порядок переобладнання транспортних засобів, що призводить до зміни повної маси та її розподілу по осях, розміщення центру ваги, типу двигуна, його ваги і потужності, колісної бази чи колісної формули, системи гальмового і рульового керування та

трансмисії, зокрема для роботи на газовому моторному паливі та альтернативних видах рідкого і газового палива, що призвело до зміни облікових даних КТЗ та повинно бути відображено у його реєстраційних документах.

Переобладнання транспортного засобу проводиться суб'єктом господарювання, який має нормативно-технічну документацію на відповідний вид переобладнання, узгоджену з МВС та Мінінфраструктури, і свідоцтво про погодження конструкції транспортного засобу щодо забезпечення безпеки дорожнього руху.

Актуальність теми. Законодавча недолугість, низькі темпи розвитку інфраструктури міст, адаптованої під інше джерело енергії автомобілів, низька купівельна спроможність населення залишають актуальним питанням стосовно доцільності переобладнання силового агрегату КТЗ. Інший аспект стосується процесу проєтування автомобілів, заснований на відповідних дорожніх умовах, що залишає за собою варіант адаптації силового агрегату під дорожні умови значної за часом експлуатації. В більшій степені це стосується вантажних автомобілів. Додатково вирішується задача щодо збереження або покращення комфорту в процесі керування автомобілем.

Крім цього, однією із задач сучасної науки в галузі динаміки автомобілів залишається впровадження в практику методів дослідження функціонування складних динамічних систем. Комп'ютерне моделювання з використанням сучасних прикладних програм є на сьогодні одним із найбільш актуальних засобів для дослідження подібних систем, а також доведення доцільності конструктивних змін їх складових.

Об'єкт дослідження. Робочі процеси, що відбуваються в силових агрегатах вантажних автомобілів після їх переобладнання.

Предмет дослідження. Вплив на динамічні та паливно-економічні властивості вантажних автомобілів переобладнання їх силових агрегатів.

За мету кваліфікаційної роботи прийнято виконання теоретичних досліджень руху вантажного автомобіля відповідним випробувальним

маршрутом та визначення ступіня впливу процесу переобладнання силового агрегату на параметри руху автомобіля.

У відповідності до сформульованої мети визначимо наступні **задачі**:

1. Для заданого сідельного тягача здійснити обґрунтований вибір напівпричепу, декілька варіантів джерел енергії, виконати апроксимацію кривих ЗШХ ДВЗ.

2. Для заданих вантажних автомобілів різного призначення визначити кінематичні параметри коробок зміни передач з різною їх кількістю.

3. Запропонувати методику обґрунтованого вибору двигуна внутрішнього згоряння та коробки зміни передач для вантажних автомобілів різного призначення з доведенням доцільності переобладнання складових силового агрегату.

Методи дослідження. Засновані на математичному (аналітичному та імітаційному) моделюванні процесу прямолінійного руху автомобілів по випробувальним маршрутам та робочих процесів, що відбуваються в силових агрегатах на підставі фундаментальних законів теорії автомобілів з подальшою реалізацією у вигляді комп'ютерних програм, розроблених у середовищі математичного пакету MatLab.

Апробація результатів досліджень. Основні положення кваліфікаційної роботи доповідались на Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції, присвяченій До дня автомобіліста та дорожника «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» (Харків, ХНАДУ, 19-21 жовтня 2022 р.), матеріали доповіді опубліковані у збірнику наукових праць конференції за темою: «Обґрунтування вибору джерела енергії для вантажних автомобілів міжміського призначення».

РОЗДІЛ 1

ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

1.1. Технічна характеристика транспортного засобу

Для встановлення впливу характеристик двигунів, які можуть бути використані для сідельних тягачів, на динамічні та економічні характеристики автопоїздів візьмемо сідельний тягач (СТ) КамАЗ-54115 (рис. 1.1) і розглянемо його технічну характеристику.

Сідельний тягач КамАЗ-54115 виконаний за компоувальної схеми «Двигун позаду переднього моста, кабіна максимально зміщена вперед – передня кабіна».

Технічну характеристику двигуна базової комплектації тягача представимо у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Технічна характеристика двигуна КамАЗ-740.11-240 (Євро 1).

№ з/п	Параметр	Значення параметра
1	Тип двигуна	8V ,дизельний, з турбонаддувом, рідинне охолодження
2	Робочий об'єм, л	10,85
3	Діаметр циліндра / хід поршня, мм	120/120
4	Степінь стискання	16,5
5	Максимальна потужність (нетто), кВт	165,0
6	Максимальний крутний момент (нетто), Нм	780,2
7	Частота обертання двигуна при максимальній потужності, хв ⁻¹	2200
8	Частота обертання двигуна при максимальному крутному моменті, хв ⁻¹	1400
9	Питома витрата пального при N_{max} , г/(кВт·г)	220,0
10	Момент інерції двигуна, кг·м ²	2,07
11	Суха маса двигуна, кг	803

Трансмiсія сiдельного тягача КамАЗ-54115 складається з наступних елементiв.

Зчеплення – фрикцiйне, сухе, дводискове з натискним пристроєм периферiйного типу. Привод зчеплення – гiдравлiчний з пневматичним пiдсилювачем.

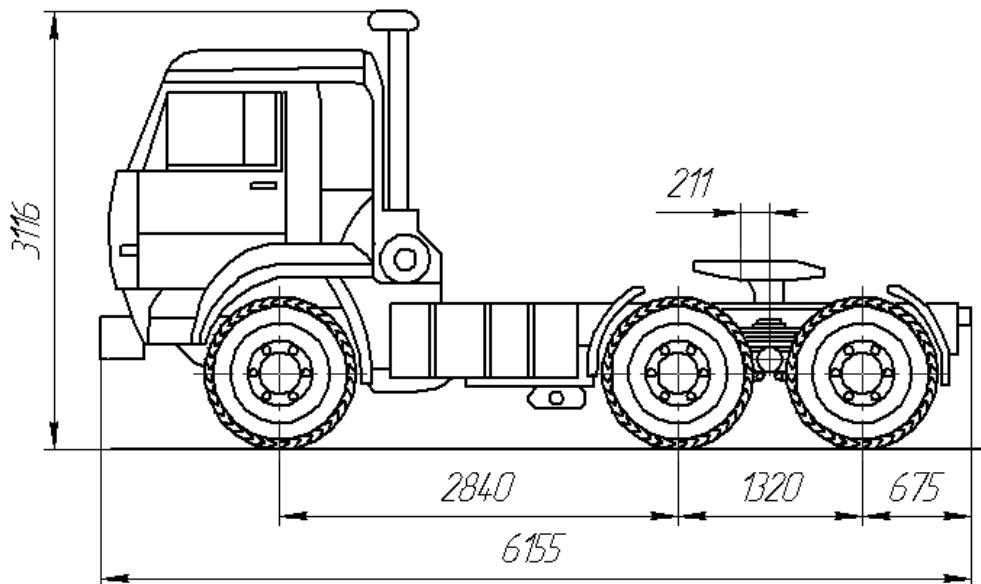


Рис. 1.1 Сiдельний тягач КамАЗ-54115

Коробка змiни передач – багатоступiнчаста, складається з 5-тиступiнчастої основної i 2-хступiнчастої додаткової коробок передач, основна коробка передач трьохвальна, всi передачі синхронiзованi. Привод основної коробки передач – механiчний, додаткової – пневматичний.

Карданна передача вiдкрита з пристроєм для компенсацiї шлицьового типу, три шарнiра ШНКШ для з'єднання КЗП з головною передачею середнього моста i два шарнiра ШНКШ для з'єднання головної передачі середнього моста з головною передачею заднього моста.

Головна передача – одноступiнчаста, подвiйна, центральна. В середньому мостi передбачений симетричний конiчний мiжосьовий диференцiал.

Технiчна характеристика сiдельного тягача базової комплектацiї представлена в табл. 1.2.

Технічна характеристика автомобіля КамАЗ-54115 базової комплектації.

№ з/п	Параметр	Значення параметра	
1	Двигун	КамАЗ-740.11-240 (Євро 1)	
2	Максимальна повна маса напівпричепа, що конструктивно дозволяється на СЗП, кг	12000	
4	Власна маса СТ, кг	всього тягача	7400
		на передню вісь	3780
		на задню вісь	3620
5	Передаточні числа	ОКЗП	7,82; 4,03; 2,50; 1,53; 1,0
		дільника	0,815; 1,0
		головної передачі	5,23 (в замін 5,43)
6	К.к.д. трансмісії	максимальний	0,932
		мінімальний	0,895
7	Марка шин	10,00R20	
8	Статичний радіус колеса, м	0,491	
9	Кількість коліс СТ	10	
10	Момент інерції колеса, кг·м ²	12,25	
11	Втрати холостого ходу в трансмісії	98,1+23,544V	

1) Визначимо фактор опору повітря:

$$W = k_b \cdot B \cdot K' = 0,7 \cdot 2,975 \cdot 2,025 = 4,217 \text{ Н с}^2/\text{м}^2, \quad (1.1)$$

де $B = 2,975 \text{ м}$ – габаритна висота СТ;

$K' = 2,050 \text{ м}$ – колія передніх коліс СТ;

$k_b = 0,7 \text{ Н с}^2/\text{м}^4$ – коефіцієнт обтічності, [1], для бортового напівпричепа з тентом.

2) Визначимо максимальну швидкість сідельного тягача, що забезпечується кінематикою трансмісії:

$$V_{\max} = \frac{0,377 \cdot n_v \cdot r_k}{i_{кзпmin} \cdot i_{гп}} = \frac{0,377 \cdot 2200 \cdot 0,520}{0,815 \cdot 5,23} = 101 \text{ км/г,} \quad (1.2)$$

де $n_v = 2200 \text{ хв}^{-1}$ – максимальні оберти колінчастого вала ДВЗ;

$r_k = r_{cm} \cdot 1,06 = 0,520 \text{ м}$ – радіус кочення колеса;

$i_{кзпmin} = 0,815$ – передаточне число дільника;

$i_{гп} = 5,23$ – передаточне число головної передачі;

3) Визначимо повну масу автопоїзда, яка обмежується максимальною швидкістю:

$$m_{авп} = \left(3600 \cdot N_{\max} \cdot \eta_{тp} \cdot K_p / V_{\max} - W \cdot V_{\max}^2 / 13 \right) / \left(9,81 \cdot \left(f_o + 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot V_{\max}^2 \right) \right) = \quad (1.3)$$

$$= \left(3600 \cdot 165 \cdot 0,932 \cdot 0,95 / 101 - 4,217 \cdot 101^2 / 13 \right) / \left(9,81 \cdot \left(0,016 + 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot 101^2 \right) \right) = 8996 \text{ кг,}$$

де $K_p = 0,95$ – коефіцієнт, який визначає втрати потужності на приведення агрегатів, які обслуговують двигун і шасі, [5];

$\eta_{тp} = 0,932$ – ккд трансмісії при русі автопоїзда з максимальною швидкістю;

$f_o = 0,016$ – коефіцієнт опору кочення при малих швидкостях руху.

Тобто, для забезпечення максимальної швидкості руху автопоїзда зі 100% завантаженості потрібен напівпричіп з повною масою 1596 кг, але найменша повна маса напівпричепів, що виробляються в країнах СНД, дорівнює 11400 кг.

Згідно з ДСТ 21398-89 максимальна швидкість руху автопоїзда повинна бути не менш за 85 км/г. За таких умов максимальна повна маса автопоїзда складе 19687,71 кг, а напівпричепа – 12287,71 кг, що дозволяє використовувати в складі автопоїзда напівпричіп САТ-124 з максимальною повною масою на шворінь

5520 кг, а це значно менше за масу, що конструктивно допускається на СЗП тягача.

Для отримання автопоїзда шляхом поєднання сідельного тягача КамАЗ-54115 і напівпричепа з повною масою, що приходить на шворінь наближеною до маси, що конструктивно допускається на СЗП тягача, не

змінюючи параметри головної передачі, треба застосувати більш потужний двигун.

Найбільш наближеними за повною масою на шворінь є два бортових напівпричепа (НЕФАЗ-9334-010 і СЗАП-93272) та один контейнеровоз (СЗАП-9905). Розглянемо їх характеристику.

Таблиця 1.3

Технічна характеристика напівпричепів

№ з/п	Параметр	Значення параметра			
		НЕФАЗ-9334-010	СЗАП-93272	СЗАП-9905	
1	Власна маса НП, кг	5800	8000	3200	
2	Вантажопідйомність НП, кг	20000	19500	24000	
3	Повна маса НП, кг	загальна	25800	27500	27200
		на шворінь	11100	11500	11100
		на задній візок	14700	16000	16100
4	Марка шин	9,00R20	9,00R20	9,00R20	
5	Кількість коліс НП	8	8	8	

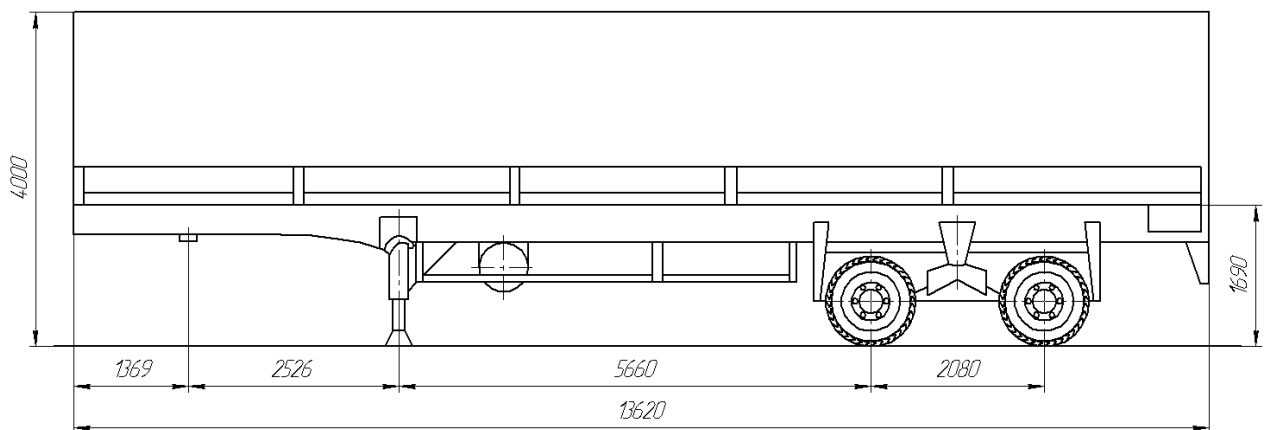


Рис. 1.2. Напівпричіп СЗАП-93272

1.2. Вибір двигунів для порівняльної оцінки експлуатаційних показників автопоїзда

1) Визначимо, яка потрібна потужність (нетто) двигуна СТ для буксування повністю завантаженого напівпричепа СЗАП-93272 зі швидкістю 85 км/Г:

$$N_{\max} = \left((f_o + 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot V_{\max}^2) \cdot m_{авт} \cdot g + W \cdot V_{\max}^2 / 13 \right) \cdot V_{\max} / (3600 \cdot \eta_{TP} \cdot k_p) = \quad (1.4)$$

$$= \left((0,016 + 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot 85^2) \cdot 34900 \cdot 9,81 + 4,217 \cdot 85^2 / 13 \right) \cdot 85 / (3600 \cdot 0,932 \cdot 0,95) = 244,20 \text{ кВт.}$$

Спробуємо вибрати двигуни з модельного ряду ЯМЗ, КамАЗ, Mercedes Benz. У двигунів модельного ряду ЯМЗ, що мають потужність (нетто) 243 кВт, максимальна частота обертання колінчастого вала складає 2100 хв⁻¹ (маса двигунів – 1130 кг), з більшою потужністю – 1900 хв⁻¹ (маса двигунів – 1215 кг). У всіх двигунів модельного ряду КамАЗ з потужністю (нетто) 200 кВт і більше максимальна частота обертання колінчастого вала складає 2200 хв⁻¹, маса двигунів – 885 кг. У двигунів модельного ряду Mercedes Benz (ОМ-402 і ОМ-442) максимальна частота обертання колінчастого вала складає 2100 хв⁻¹, маса двигунів 8V – 875 кг.

2) Визначимо за допомоги формули 1.2 максимальну швидкість руху сідельного тягача, що забезпечується кінематикою трансмісії.

Таблиця 1.4

Максимальні кінематичні швидкості руху.

$n_N, \text{хв.}^{-1}$	1900	2000	2100	2200
$V_{\max}, \text{км/Г}$	87,4	92,0	96,6	101,0

Тобто, двигуни з діапазоном частот обертання при максимальній потужності 1900 – 2200 хв⁻¹ підходять для спільної роботи з трансмісією сідельного тягача.

3) Визначимо за допомоги формули 1.4 максимальну потужність двигуна для забезпечення руху автопоїзда повною масою з максимальною швидкістю (табл. 1.4). При визначенні максимальної потужності двигуна власна маса

сідельного тягача скоректована відповідно до маси двигуна. Результати розрахунків занесені до табл. 1.5.

Остаточню обираємо варіант автопоїзда, що складається з сідельного тягача КамАЗ-54115 і напівпричепа СЗАП-93272 з максимальною швидкістю руху по дорозі в доброму стані без уклонів 87 км/год за умови завантаженості напівпричепа на 100 %. Свій вибір можна пояснити обмеженим вибором двигунів КамАЗ за максимальною потужністю, найбільше значення якої дорівнює 250 кВт (нетто).

Таблиця 1.5

Максимальна потужність двигуна.

Марка ДВЗ	максимальна швидкість руху							
	85	86	87	88	89	90	91	92
КамАЗ	244,63	249,86	255,17	260,56	266,04	271,61	277,26	283
ЯМЗ (1900)	246,35	251,6	256,94	262,37	267,88	273,47	279,15	284,92
ЯМЗ (2100)	245,9	251,15	256,49	261,9	267,41	272,99	278,67	284,43
Mercedes	244,58	249,8	255,12	260,51	265,99	271,55	277,2	282,94
Марка ДВЗ	максимальна швидкість руху							
	93	94	95	96	97	98	99	100
КамАЗ	288,83	294,74	300,75	306,85	313,04	319,32	325,7	332,17
ЯМЗ (1900)	290,78	296,73	302,77	308,89	315,12	321,43	327,84	334,34
ЯМЗ (2100)	290,28	296,22	302,25	308,37	314,58	320,89	327,29	333,78
Mercedes	288,77	294,68	300,69	306,79	312,98	319,26	325,63	332,11

Користуючись даними табл. 1.5 зупинимо свій вибір на наступних двигунах: ЯМЗ-238Д, ЯМЗ-7512.10, КамАЗ-740.50-360 і OM442A фірми DAIMLER-BENZ. Технічну характеристику двигунів представимо в табл. 1.6.

Технічна характеристика вибраних двигунів.

№ з/п	Параметр	Значення параметра			
		ЯМЗ-238Д	ЯМЗ-7512.10	КамАЗ-740.50-360	ОМ442А
1	Марка двигуна	ЯМЗ-238Д	ЯМЗ-7512.10	КамАЗ-740.50-360	ОМ442А
2	Тип двигуна	8V ,дизельний, з турбонаддувом і попереднім охолодженням повітря, рідинне охолодження			
3	Робочий об'єм, л	14,86	14,86	11,76	10,96
4	Діаметр циліндра / хід поршня, мм	130/140	130/140	120/130	128/142
5	Степінь стискання	16,5	16,5	16,5	16,7
6	Максимальна потужність (нетто), кВт	243,0	264,0	250,0	255,6
7	Максимальний крутний момент (нетто), Нм	1225	1570	1430	1595
8	Частота обертання к.в. двигуна при N_{max} , xv^{-1}	2100	1900	2200	2100
9	Частота обертання к.в. двигуна при M_{max} , xv^{-1}	1200 – 1300	1300	1400	1000 – 1600
10	Питома витрата пального при N_{max} , г/(кВт·год)	220,0	210,0	218,0	208,0
11	Момент інерції двигуна, $кг \cdot м^2$	2,37	2,37	2,20	2,08
12	Суха маса двигуна, кг	1130	1215	885	875

1.3. Апроксимація ЗШХ вибраних двигунів

Апроксимацію кривих ЗШХ двигунів також виконаємо підбором полінома з показником степені, який найбільш наближає залежність до експериментально отриманих [7]. Якщо це не вдається зробити, то крива залежності розбивається на ділянки з подальшою їх апроксимацією.

Опишемо послідовність виконання дій. Спершу, з емпірично отриманої ЗШХ отримуємо значення функції крутних моментів і потужності залежно від частоти обертання двигуна. Потім складаємо поліном необхідної степені, наприклад: $N_e = a \cdot n_e^2 + b \cdot n_e + c$. Завдання полягає у відшуванні невідомих

коефіцієнтів полінома, що найбільш ефективно буде здійснено, використовуючи метод найменших квадратів, який полягає в отриманні постійних коефіцієнтів, що забезпечують мінімальне значення відхилень від емпіричних значень, тобто:

$$F = \sum_{i=1}^m [N_i - (a \cdot n_i^2 + b \cdot n_i + c)]^2 = \min. \quad (1.5)$$

Через необхідну умову екстремуму функції декілька змінних отримаємо наступну систему:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial a} = 2 \cdot \sum_{i=1}^m [N_i - (a \cdot n_i^2 + b \cdot n_i + c)] \cdot (-n_i^2) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial b} = 2 \cdot \sum_{i=1}^m [N_i - (a \cdot n_i^2 + b \cdot n_i + c)] \cdot (-n_i) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial c} = 2 \cdot \sum_{i=1}^m [N_i - (a \cdot n_i^2 + b \cdot n_i + c)] \cdot (-1) = 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Звідки, після перетворень отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m n_i^4 + b \sum_{i=1}^m n_i^3 + c \sum_{i=1}^m n_i^2 = \sum_{i=1}^m n_i^2 \cdot N_i, \\ a \sum_{i=1}^m n_i^3 + b \sum_{i=1}^m n_i^2 + c \sum_{i=1}^m n_i = \sum_{i=1}^m n_i \cdot N_i, \\ a \sum_{i=1}^m n_i^2 + b \sum_{i=1}^m n_i + m = \sum_{i=1}^m N_i. \end{cases} \quad (1.7)$$

Вирішуючи вказану систему рівнянь визначимо невідомі постійні коефіцієнти полінома.

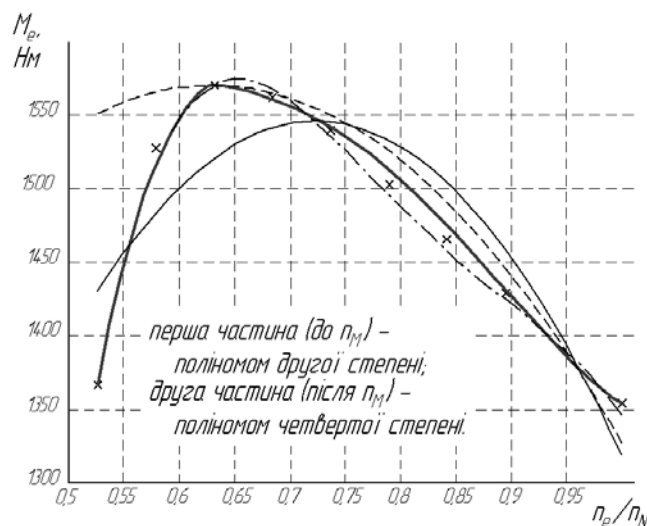


Рис. 1.3. Апроксимація кривої крутного моменту ЗШХ двигуна ЯМЗ-7512.10

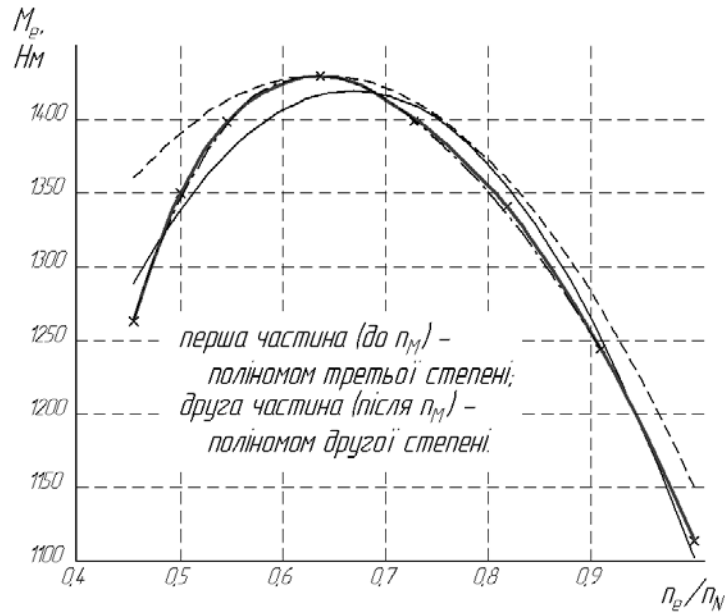


Рис. 1.4. Апроксимація кривої крутного моменту ЗШХ двигуна КамАЗ-740.50-360

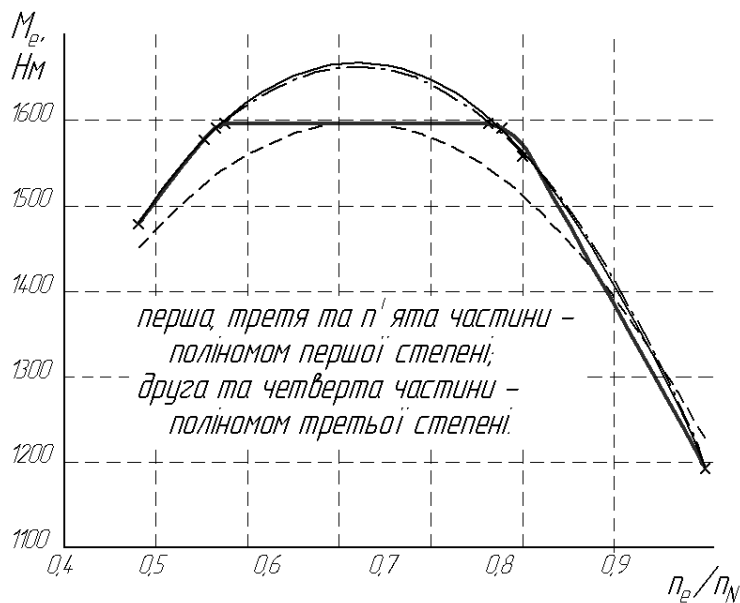


Рис. 1.5. Апроксимація кривої крутного моменту ЗШХ двигуна OM-442

- - апроксимація з теорії автомобілів;
- - апроксимація поліномом другої степені;
- · - · - · - апроксимація поліномом четвертої степені;
- - апроксимація частин кривої крутного моменту;
- × × × - емпіричні значення крутного моменту.

Максимальну швидкість руху повністю завантаженого автопоїзда за динамічними ознаками визначимо, використовуючи програму RAZGON, що

складена в середовищі *MATLAB* за методикою, яка розглянута в наступному розділі пояснювальної записки.

Умови розрахунку: автопоїзд рухається по дорозі з $f_0 = 0,016$ та $i = 0 \%$ з прискоренням; перемикання передач здійснюється з максимальної швидкості відповідної передачі. Результати розрахунку представимо в табличній формі.

Таблиця 1.7

Максимальна швидкість руху автопоїзда.

за ознаками	марка двигуна			
	ЯМЗ-238Д	ЯМЗ-7512.10	КамАЗ-740.50-360	ОМ442А
кінематичними	88,5			
енергоємкисними	84,5	88,4	86,1	87,1
динамічними	77,0	87,0	86,0	87,0

Висновки до першого розділу

Результати вибору ДВЗ для сідельного тягача дозволив сформулювати наступні висновки:

1. З табл. 1.7 видно, що використання двигуна ЯМЗ-238Д відповідно до ГОСТ 21398-89 для сідельного тягача КамАЗ-54115 в складі з напівприцепом СЗАП-93272 є недоцільним.

2. Форму кривих зовнішньої швидкісної характеристики сучасних двигунів, отриманих експериментально, важко апроксимувати поліномом однієї степені, доцільно застосовувати для цього процесу апроксимацію окремих частин кривих ЗШХ індивідуальними поліномами або поліноми вищої степені. Так, для двигунів з турбонаддувом, найбільша похибка від апроксимації кривих ЗШХ поліномом будь-якої степені доходить в середньому до 5%.

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КОРОБОК ЗМІНИ ПЕРЕДАЧ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

2.1 Технічна характеристика самоскиду КрАЗ-7133С4

Самоскид КрАЗ-7133С4 виконаний за компоувальною схемою «Кабіна за двигуном поміж двох керованих осей – капотна компоновка», спеціалізується на перевезенні сипучих та навалочних вантажів з питомою масою $0,5...1,13 \text{ т/м}^3$ по дорогам різного типу. Кліматичне виконання – помірне (температура навколишнього середовища – $-45...+50^\circ\text{C}$).

Опишемо особливості конструкції елементів силової передачі заданого самоскиду. Загальний вид автомобіля представлено на рис. 2.1, а його коротка технічна характеристика – в табл. 2.1.

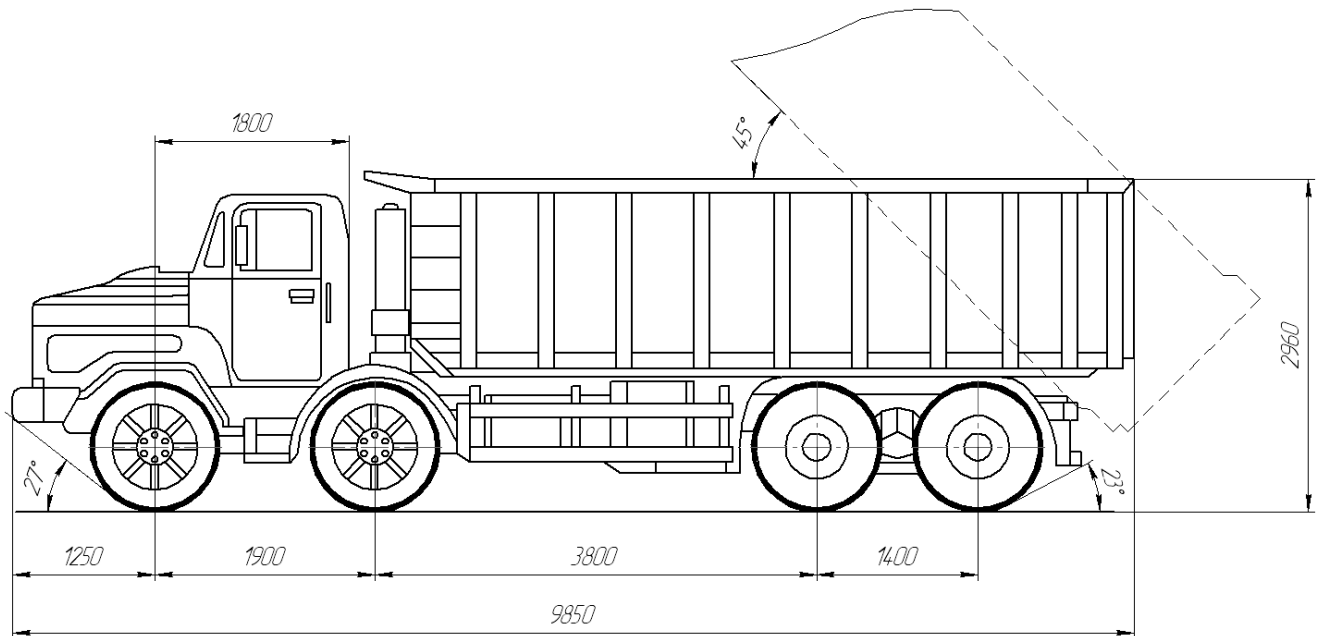


Рис. 2.1 Загальний вид самоскиду КрАЗ-7133С4

Двигун ЯМЗ-238ДЕ2 (EURO-2) – дизельний, чотиритактний, восьмициліндровий, V-подібний з порядком роботи циліндрів: 1-5-4-2-6-3-7-8, з рідинним охолодженням. Зчеплення – сухе, однодискове з діафрагмовим

натискним пристроєм, з механічним приводом, забезпеченим пневматичним підсилювачем. Коробка передач – механічна, восьмиступінчаста, багатовальна, з синхронізаторами інерційного типу на всіх передачах. Коробка передач складається з основної чотириступінчастої і додаткової (демультиплікатора) двоступінчатого редуктора. Перемикання передач в основній коробці здійснюється за допомогою механічного приводу, демультиплікатор управляється за допомогою дистанційного електропневмоприводу. Карданна передача відкритого типу трьохшарнірна з ШНКШ з компенсаційним пристроєм у вигляді шліцьового з'єднання. Головна передача одноступінчата, подвійна центрального типу.

Таблиця 2.1.

Коротка технічна характеристика самоскиду КрАЗ-7133С4

№ з/п	Параметр		Позначення	Значення параметру
1	Споряджена маса ТЗ (тягача), кг	всього автомобіля	m_0	15700
		на дві перші осі	m_{01}	8100
		на задній візок	m_{02}	7600
2	Повна маса ТЗ (тягача), кг	всього автомобіля	m_a	38300
		на дві перші осі	m_{a1}	12400
		на задній візок	m_{a2}	25900
3	Вантажопідйомність, кг		m_b	22500
4	Максимальна швидкість, км/год		V_{max}	90
5	Поперечна база передніх коліс ТЗ, м		K'	2,000
6	Мінімальний радіус повороту за слідом зовнішнього колеса, м		$R_{(min)}$	13
7	Тип двигуна (кількість тактів, циліндрів, тип СО, СЖ)		V8 з рідинним охолодженням ДТ	
8	Робочий об'єм двигуна, л		V_h	14,86
9	Максимальна потужність двигуна, кВт		N_{max}	243,0
10	Максимальний крутний момент, Нм		M_{max}	1274

№ з/п	Параметр	Позначення	Значення параметру
11	Частота обертання колінчастого валу ДВЗ, хв^{-1} при N_{\max}	n_N	2100
	при M_{\max}	n_M	1200
12	Марка шин	12,00R20	
13	Статичний радіус колеса, м	$r_{\text{ст}}$	0,526
14	Фактор опору повітря, $\text{Н с}^2 / \text{м}^2$	W	1,0
15	Передаточні числа: окзп	$i_{\text{кзпI}}, i_{\text{кзпII}}, \dots,$ $i_{\text{кзпn}}$	1,96; 1,39; 1,00; 0,71.
	дкп (демультиплікатор)	$i_{\text{дк}}$	3,5; 1,0
	головної передачі	$i_{\text{гп}}$	6,154
16	К.к.д. трансмісії на j -тій передачі її елементів	$\eta_{\text{трI}}, \eta_{\text{трII}}, \dots,$ $\eta_{\text{трn}}$	0,89; 0,92.

2.2 Визначення передаточних чисел для КЗП самоскиду

Порівняння експлуатаційних властивостей самоскиду КраЗ-7133С4 з застосуванням у трансмісії КЗП з різною кількістю передач здійснюється за умови збереження параметрів базових вузлів та агрегатів, для усіх КЗП, що використовуються для розрахунків, вища передача приймається підвищуючою.

1) Визначаємо максимальне передаточне число трансмісії:

– за умовою подолання максимального дорожнього опору для самоскиду

повною масою:

$$i_{\text{мп(max)}\psi} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi \cdot r_d}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{мп(1)max}} \cdot K_p} = \frac{38300 \cdot 9,8 \cdot 0,35 \cdot 0,526}{1274 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 66,31, \quad (2.1)$$

– за умовою подолання максимального дорожнього опору для самоскиду

спорядженою масою:

$$i_{\text{мп(max)}\psi} = \frac{m_0 \cdot g \cdot \psi \cdot r_d}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{мп(1)max}} \cdot K_p} = \frac{15700 \cdot 9,8 \cdot 0,35 \cdot 0,526}{1274 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 27,18, \quad (2.2)$$

– за умовою забезпечення зчеплення шин з дорогою:

$$i_{mp(max)\varphi} = \frac{m_{a\varphi} \cdot g \cdot \varphi \cdot r_d}{M_{max} \cdot \eta_{mp(I)max} \cdot K_p} = \frac{25900 \cdot 9,81 \cdot 0,75 \cdot 0,526}{1274 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 96,09, \quad (2.3)$$

де $\eta_{TP(I)max} = 0,89$ – ккд трансмісії при увімкненій нижчій передачі у коробці зміни передач;

$\psi = 0,35$ – сумарний коефіцієнт опору кочення;

$m_{a\varphi} = 25900$ кг – повна маса автомобіля, що діє на ведучі колеса.

$\varphi = 0,75$ – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою (за умовою руху по «сухому шосе» у хорошому стані).

Умова: $i_{TP\psi(max)} < i_{TP\varphi(max)}$ виконується.

– за умовою забезпечення мінімальної швидкості руху:

$$i_{mp(max)V_{min}} = \frac{0,377 \cdot n_{max} \cdot r_{ке}}{V_{min} \cdot i_{zn}} = \frac{0,377 \cdot 2100 \cdot 0,526 \cdot 1,02}{5} = 84,95. \quad (2.4)$$

3) Визначаємо передаточне число першої передачі КЗП для самоскиду:

– повною масою за умовою ψ_{max} :

$$i_{кнI\psi} = i_{mp(max)\psi} / i_{дк(max)} \cdot i_{zn(min)} = 66,31 / 6,154 = 10,775, \quad (2.5)$$

де $i_{дк(max)} = 1,0$ – нижча передача додаткового редуктора, [1, 2].

– повною масою за умовою V_{min} :

$$i_{кнIv} = i_{mp(max)V_{min}} / i_{дк(max)} \cdot i_{zn(min)} = 84,95 / 6,154 = 13,804, \quad (2.6)$$

– спорядженою масою:

$$i_{кнI} = i_{mp(max)\psi} / i_{дк(max)} \cdot i_{zn(min)} = 27,18 / 6,154 = 4,417. \quad (2.7)$$

4) Визначаємо передаточні числа інших передач КЗП за умови розподілу їх за геометричною прогресією:

$$i_{кнj} = i_{кнI} \cdot i_{кнI}^{(j-1)/(1-n)}, \quad (2.8)$$

де j – порядковий номер передачі КЗП для якої розраховується передаточне число;

n – номер прямої передачі.

Результати розрахунків занесемо до табл. 2.2 та табл. 2.3.

Таблиця 2.2.

Результати визначення передаточних чисел КЗП з $i_{кнIу}$ для самоскиду

j	Кількість передач в КЗП самоскиду				
	8 (базов.)	10	12	14	16
1	7,722	10,775	10,775	10,775	10,775
2	4,865	8,005	8,495	8,839	9,092
3	3,500	5,947	6,698	7,250	7,672
4	2,485	4,418	5,281	5,947	6,474
5	1,96	3,283	4,163	4,878	5,463
6	1,39	2,439	3,283	4,002	4,610
7	1,00	1,812	2,588	3,283	3,890
8	0,71	1,346	2,040	2,693	3,283
9	--	1,0	1,609	2,209	2,770
10	--	0,743	1,268	1,812	2,337
11	--	--	1,0	1,486	1,972
12	--	--	0,788	1,219	1,664
13	--	--	--	1,0	1,404
14	--	--	--	0,820	1,185
15	--	--	--	--	1,0
16	--	--	--	--	0,844

Таблиця 2.3.

Результати визначення передаточних чисел КЗП з $i_{кнIV}$ для самоскиду

j	Кількість передач в КЗП самоскиду				
	8 (базов.)	10	12	14	16
1	2	3	4	5	6
1	7,722	13,804	13,804	13,804	13,804
2	4,865	9,943	10,617	11,092	11,444
3	3,500	7,162	8,166	8,913	9,487
4	2,485	5,158	6,281	7,162	7,865
5	1,96	3,715	4,831	5,754	6,521

1	2	3	4	5	6
6	1,39	2,676	3,715	4,624	5,406
7	1,00	1,928	2,858	3,715	4,482
8	0,71	1,388	2,198	2,985	3,715
9	--	1,0	1,690	2,399	3,080
10	--	0,720	1,300	1,928	2,554
11	--	--	1,0	1,549	2,117
12	--	--	0,769	1,245	1,755
13	--	--	--	1,0	1,455
14	--	--	--	0,804	1,206
15	--	--	--	--	1,0
16	--	--	--	--	0,829

За допомогою програми Exr1rpror, розробленої на кафедрі ЕРМ ДВНЗ «ПДАБА» у математичному пакеті MATLAB отримаємо динамічні паспорти самоскиду та графіки прискорень, використовуючи різні за кількістю передач КЗП.

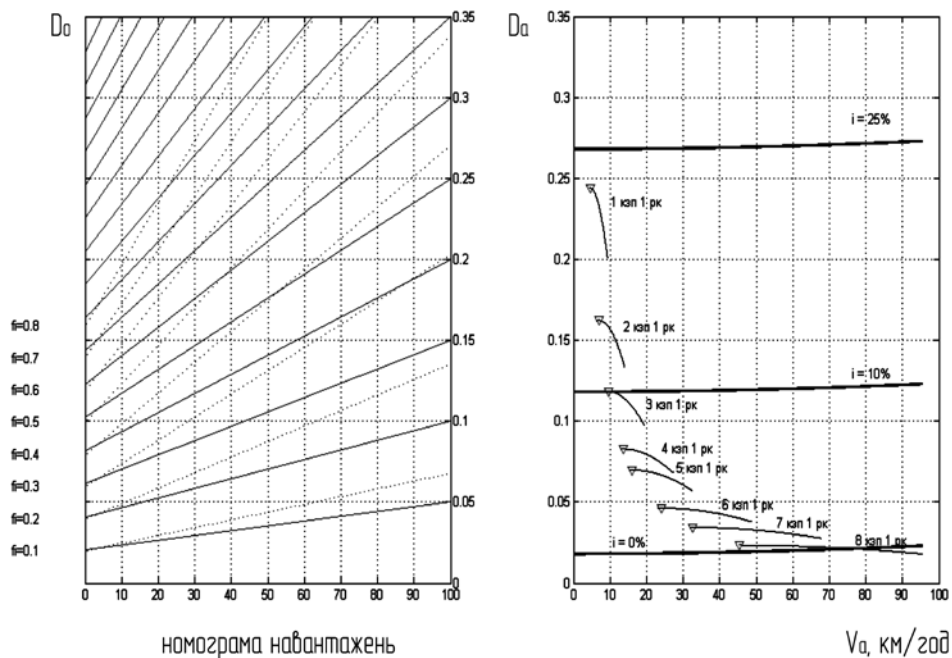


Рис. 2.2 Динамічний паспорт самоскиду з 8-миступінчатою КЗП.

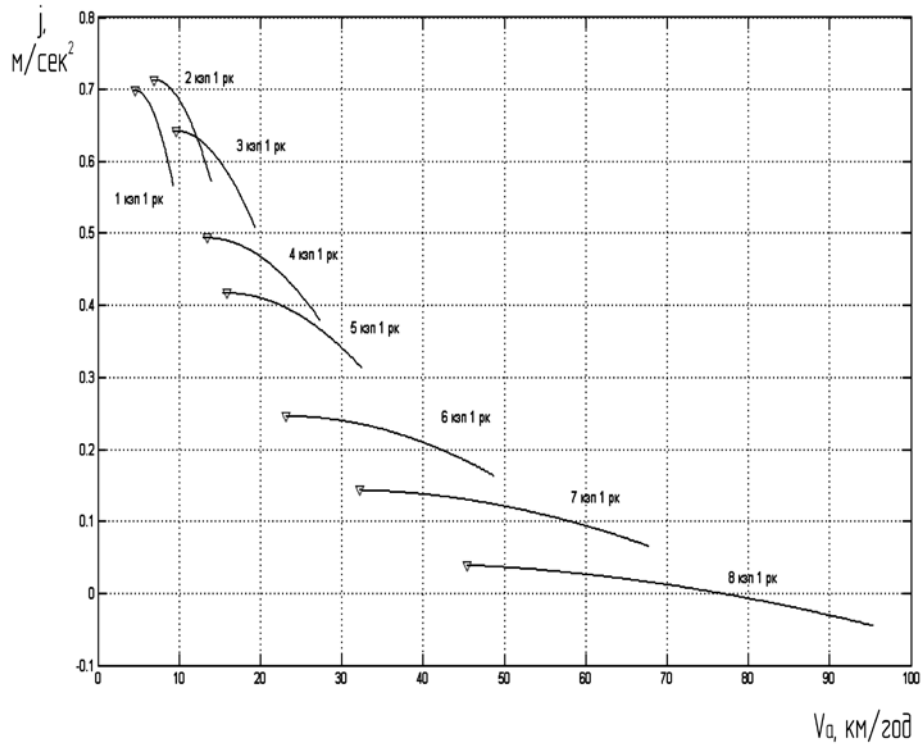


Рис. 2.3 Графік прискорень з 8-миступінчастою КЗП

З динамічного паспорту видно, що максимальна швидкість руху самоскида по дорозі без уклонів складе 79 км/год при включеній 8-мій передачі КЗП, 10-тивідсотковий підйом самоскид подолає при включеній 3-тій передачі КЗП.

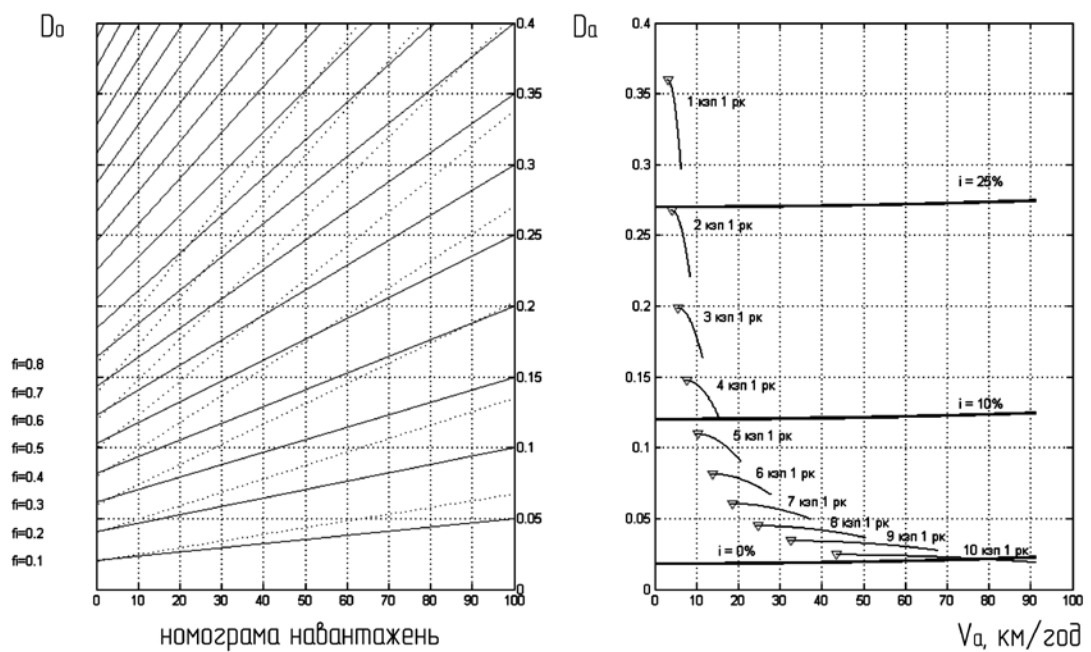


Рис. 2.4 Динамічний паспорт самоскиду з 10-тиступінчастою КЗП

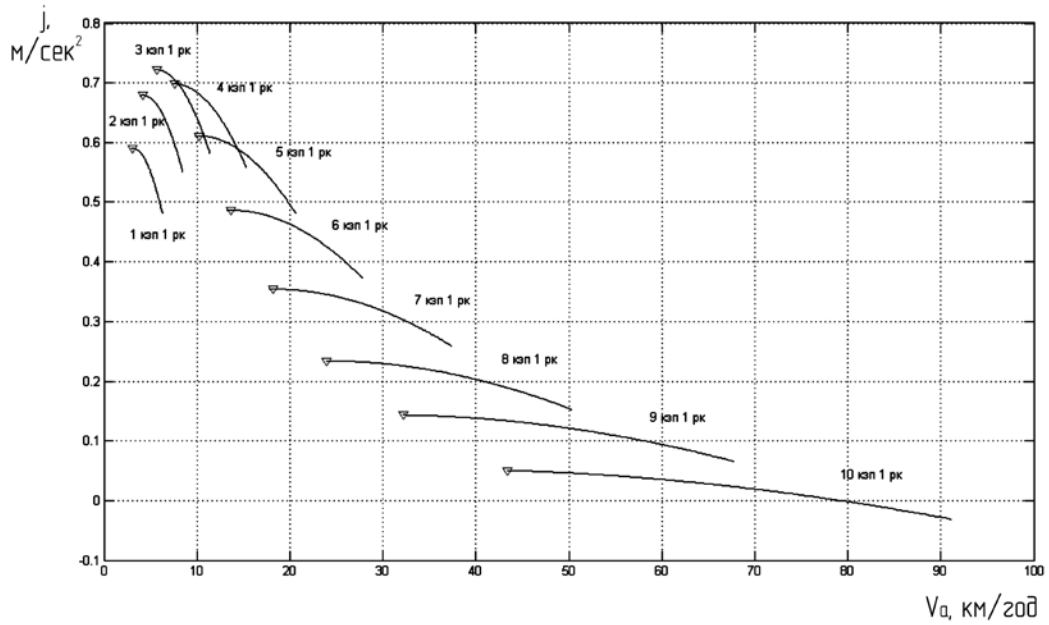


Рис. 2.5 Графік прискорень з 10-тиступінчастою КЗП

З динамічного паспорта видно, що максимальна швидкість руху самоскида по дорозі без уклонів складе 82 км/год при включеній 10-тій передачі КЗП, 10-тивідсотковий підйом самоскид подолає при включеній 4-тій передачі КЗП. Із графіка прискорень видно, що 3-тю передачу КЗП використовувати при розгоні не доцільно.

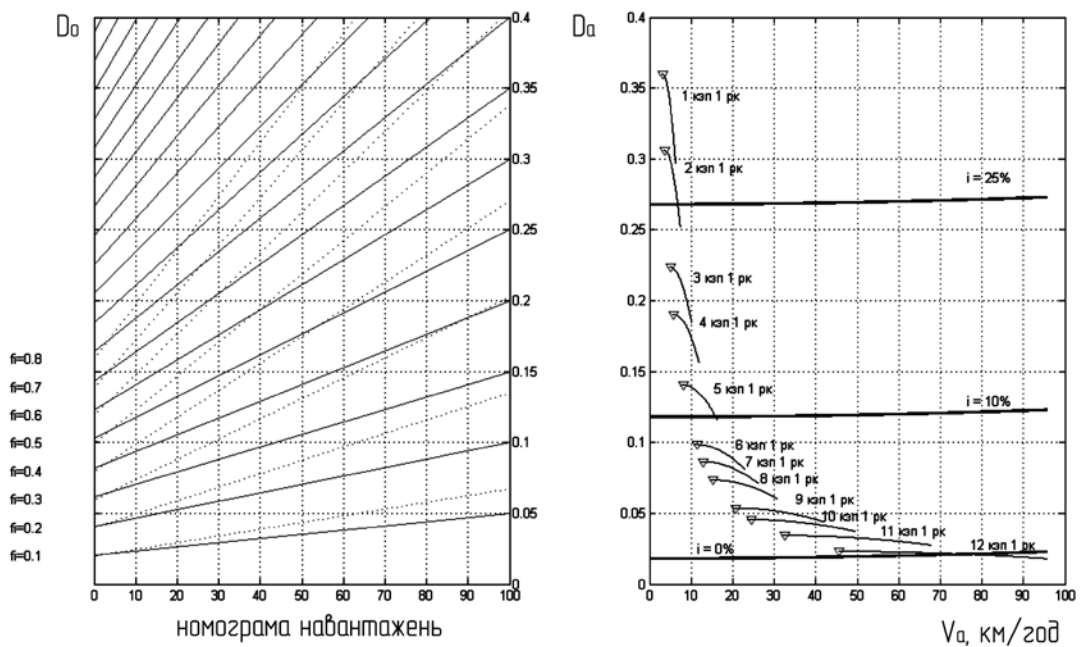


Рис. 2.6 Динамічний паспорт самоскиду з 12-тиступінчастою КЗП

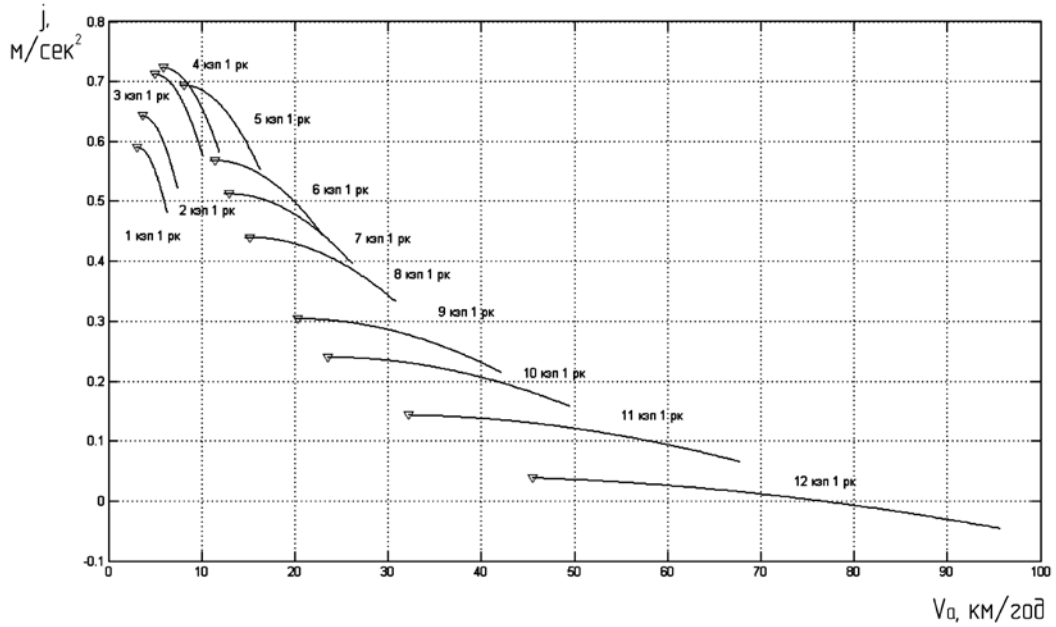


Рис. 2.7 Графік прискорень з 12-тиступінчастою КЗП

З динамічного паспорта видно, що максимальна швидкість руху самоскида по дорозі без уклонів складе 79 км/год при включеній 12-тій передачі КЗП, 10-тивідсотковий підйом самоскид подолає при включеній 5-тій передачі КЗП. Із графіка прискорень видно, що 4-ту передачу КЗП використовувати при розгоні не доцільно.

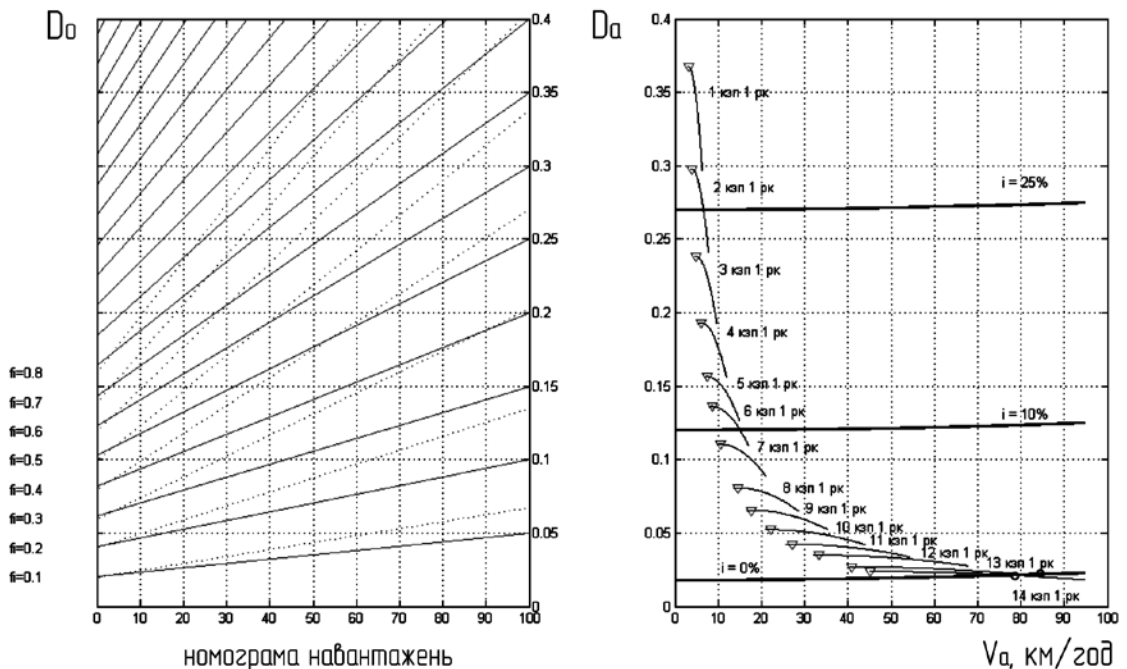


Рис. 2.8 Динамічний паспорт самоскиду з 14-тиступінчастою КЗП

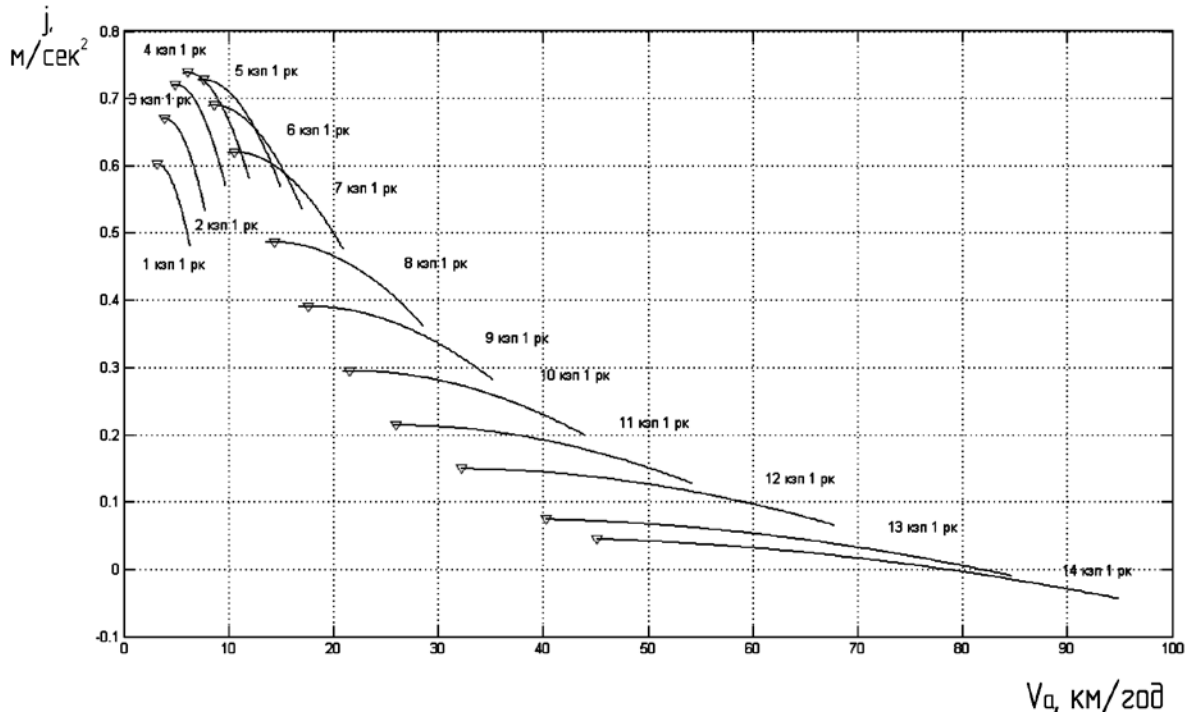


Рис. 2.9 Графік прискорень з 14-тиступінчастою КЗП

З динамічного паспорта видно, що максимальна швидкість руху самоскида по дорозі без уклонів складе 84 км/год при включеній 13-тій передачі КЗП, 14-ту передачу КЗП використовують тільки для економії палива, 10-тивідсотковий підйом самоскид подолає при включеній 5-тій передачі КЗП. Із графіка прискорень видно, що 4-ту та 6-ту передачі КЗП використовувати при розгоні не доцільно.

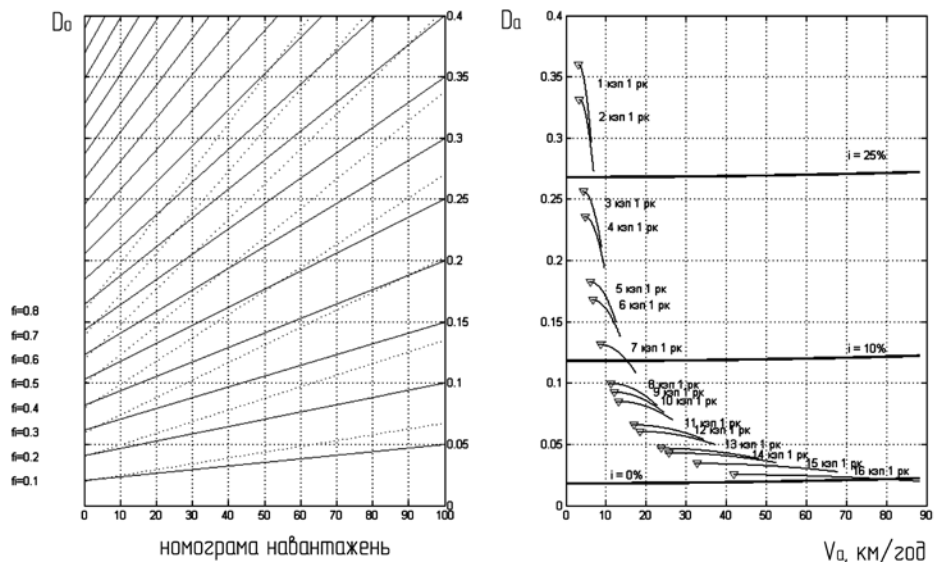


Рис. 2.10 Динамічний паспорт самоскиду з 16-тиступінчастою КЗП

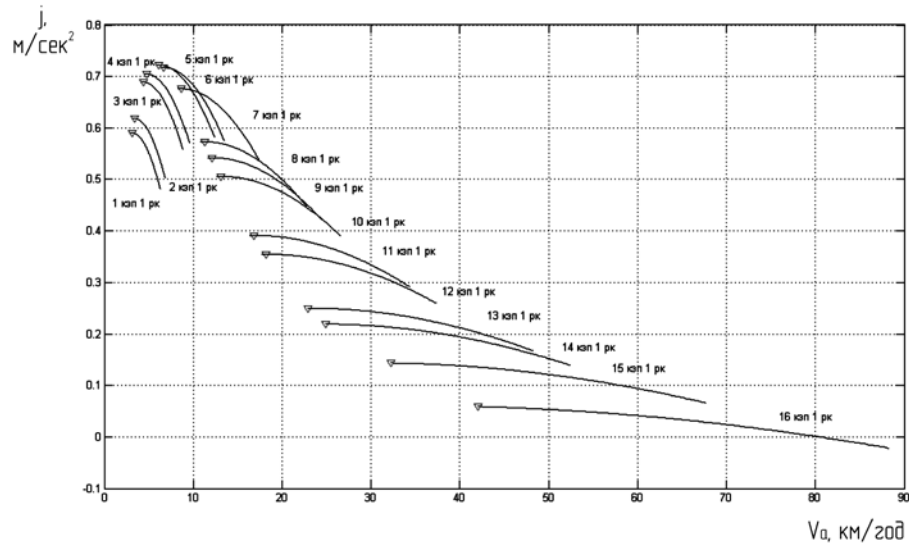


Рис. 2.11 Графік прискорень з 16-тиступінчастою КЗП

З динамічного паспорту видно, що максимальна швидкість руху самоскида по дорозі без уклонів складе 83 км/год при включеній 16-тій передачі КЗП, 10-тивідсотковий підйом самоскид подолає при включеній 7-мій передачі КЗП. Із графіка прискорень видно, що 2-гу, 5-ту та 6-ту передачі КЗП використовувати при розгоні не доцільно.

В табл. 2.4 занесемо оціночні параметри КЗП з різною кількістю передач для самоскиду.

Таблиця 2.4.

Оціночні показники КЗП за варіантом табл. 2.3 для самоскиду

Параметр	Кількість передач в КЗП самоскиду				
	8 (базов.)	10	12	14	16
діапазон	10,303	19,172	17,351	17,169	16,651
щільність ряду	1,408	1,389	1,300	1,244	1,206
V_{max} км/год	79	82	79	84	83

2.3 Технічна характеристика автопоїзда КрАЗ-5444+МТМ-9330

Сідельний тягач КрАЗ-5444 виконаний за компоувальною схемою «Двигун над переднім мостом, кабіна за двигуном – капотна компоновка».

Опишемо особливості конструкції елементів силової передачі заданого сідельного тягача.

Компоувальна схема автопоїзда (напівпричіп без тенту) представлена на рис. 2.12, а його коротка технічна характеристика – в табл. 2.5.

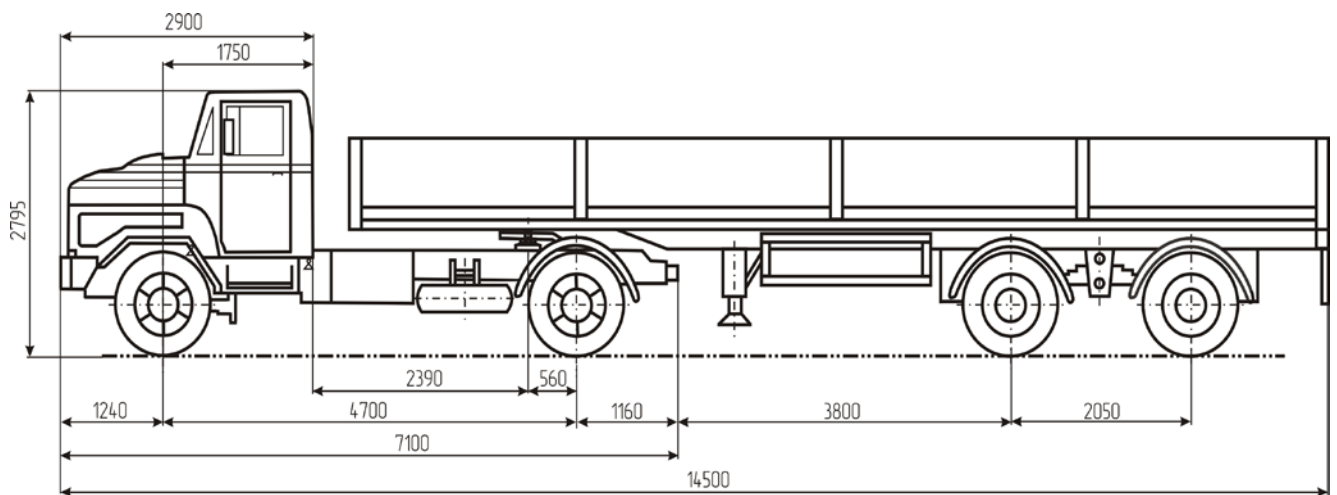


Рис. 2.12 Компоувальна схема автопоїзда КрАЗ-5444 + МТМ-9330А4

Двигун ЯМЗ-238Д – дизельний, чотиритактний, восьмициліндровий, V-образний з порядком роботи циліндрів: 1-5-4-2-6-3-7-8, з рідинним охолодженням. Зчеплення ЯМЗ-238Н – сухе, дводискове, з механічним приводом, забезпеченим пневматичним підсилювачем. Коробка передач ЯМЗ-238А – механічна, восьмиступінчаста, тривальна, з синхронізаторами інерційного типу на всіх передачах, окрім заднього ходу. Коробка передач складається з основної чотириступінчастої і додаткової (демультиплікатор) двоступінчастої коробки передач. Перемикання передач в основній коробці здійснюється за допомогою механічного приводу, демультиплікатор управляється за допомогою дистанційного електропневмоприводу. Карданна

передача відкритого типу трьохшарнірна з ШНКШ з компенсаційним пристроєм у вигляді шліцьового з'єднання. Головна передача одноступінчата, подвійна центральної компоновки.

Таблиця 2.5.

Коротка технічна характеристика автопоїзда КрАЗ-5444 + МТМ-9330А4

№ з/п	Параметр	Позначення	Значення параметра	
1	Повна маса напівпричепа, що максимально допускається на СЗП, кг	$m_{СЗПТ}$	9300	
2	Споряджена маса СТ, кг	всього тягача	$m_{0Т}$	8000
		на передню вісь	$m_{01Т}$	4700
		на задню вісь	$m_{02Т}$	3300
3	Повна маса СТ, кг	всього тягача	$m_{аТ}$	16400
		на передню вісь	$m_{а1Т}$	5622
		на задню вісь	$m_{а2Т}$	10778
4	Максимальна швидкість СТ, км/год	V_{max}	95	
5	Максимальна потужність двигуна, кВт	N_{max}	243	
6	Максимальний крутний момент, Нм	M_{max}	1225	
7	Частота обертання колінчастого валу двигуна, $\square \text{аб}^{-1}$ при N_{max}	n_N	2100	
	при M_{max}	n_M	1300	
8	Коефіцієнт пристосовності двигуна за крутним моментом	K_M	1,181	
	за частотою обертання колінчастого валу	K_ω	1,77	
9	Питома ефективна витрата палива при N_{max} , г/кВт · год	g_N	210	
10	Коефіцієнт корекції характеристики ДВЗ	K_p	0,97	
11	Момент інерції ДВЗ, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$J_{ДВ}$	3,42	

№ з/п	Параметр	Позначення	Значення параметра
12	Передавальні числа: ОКЗП	$i_{кпI}; i_{кпII};$ $i_{кпIII}; i_{кпIV}$.	1,96; 1,39; 1,00; 0,71.
	Демультіплікатора	$i_{дкзп}$	3,94; 1,0
	головної передачі	$i_{гп}$	5,259
13	Ккд трансмісії на j-тій передачі кзп	$\eta_{трI,II,IV}, \eta_{трIII},$ $\eta_{трV,VI,VIII},$ $\eta_{трVII}$.	0,864; 0,899; 0,899; 0,936.
14	Марка шин	—	11,00R20
15	Момент інерції колеса, $кг \cdot м^2$	J_k	20,28
16	Тиск в шинах, МПа передніх коліс	$P_{ш1}$	0,80
	задніх коліс	$P_{ш2}$	0,67
17	Геометричні параметри СТ, м: габаритна довжина	Д	7,100
	габаритна ширина	Ш	2,500
	габаритна висота	В	2,795
	поздовжня база	Б	4,700
	колія передніх коліс	К'	1,970
	передній звис	Z_p	1,240
	зсув сідельно-зчіпного прист. висота сидла тягача	Г B_p	0,560 1,275
18	Статичний радіус колеса, м	$r_{ст}$	0,526
19	Споряджена маса автопоїзда, кг	$m_{0авп}$	13800
20	Вантажопідйомність автопоїзда, кг	m_v	22000
21	Повна маса автопоїзда, кг:	$m_{авп}$	35800
22	Кількість коліс	тягача	6
		автопоїзда	14
23	Фактор опору повітря, $Н \cdot с^2/м^2$	$k_v F$	3,217
24	Коефіцієнт опору коченню коліс при малих швидкостях руху	f_o	0,015
25	Втрати холостого ходу в трансмісії	$P_{тро}$	88,6+23,544V

2.4 Визначення передаточних чисел для КЗП сідельного тягача

Порівняння експлуатаційних властивостей автопоїзда КрАЗ-5444 + МТМ-9330А4 із застосуванням у трансмісії тягача КЗП з різною кількістю передач здійснюється за умови збереження параметрів базових вузлів та агрегатів, для усіх КЗП, що використовуються для розрахунків, вища передача приймається підвищуючою.

1) Визначаємо максимальне передаточне число трансмісії:

– за умовою подолання максимального дорожнього опору для автопоїзда повною масою:

$$i_{mp(max)\psi} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi \cdot r_0}{M_{max} \cdot \eta_{mp(I)max} \cdot K_p} = \frac{35800 \cdot 9,8 \cdot 0,35 \cdot 0,526}{1225 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 64,46, \quad (2.9)$$

– за умовою подолання максимального дорожнього опору для автопоїзда спорядженою масою:

$$i_{mp(max)\psi} = \frac{m_0 \cdot g \cdot \psi \cdot r_0}{M_{max} \cdot \eta_{mp(I)max} \cdot K_p} = \frac{13800 \cdot 9,8 \cdot 0,35 \cdot 0,526}{1225 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 24,85, \quad (2.10)$$

– за умовою забезпечення зчеплення шин з дорогою:

$$i_{mp(max)\varphi} = \frac{m_{a\varphi} \cdot g \cdot \phi \cdot r_0}{M_{max} \cdot \eta_{mp(I)max} \cdot K_p} = \frac{10778 \cdot 9,81 \cdot 0,85 \cdot 0,526}{1225 \cdot 0,89 \cdot 0,92} = 76,25, \quad (2.11)$$

де $\eta_{TP(I)max} = 0,89$ – ккд трансмісії при увімкненій нижчій передачі у коробці зміни передач;

$\psi = 0,35$ – сумарний коефіцієнт опору кочення;

$m_{a\varphi} = 10778$ кг – повна маса автомобіля, що діє на ведучі колеса.

$\phi = 0,75$ – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою (за умовою руху по «сухому шосе» у хорошому стані).

Умова: $i_{TP\psi(max)} < i_{TP\varphi(max)}$ виконується.

– за умовою забезпечення мінімальної швидкості руху:

$$i_{mp(max)V_{min}} = \frac{0,377 \cdot n_{max} \cdot r_{кв}}{V_{min} \cdot i_{zn}} = \frac{0,377 \cdot 2100 \cdot 0,526 \cdot 1,02}{5} = 84,95, \quad (2.12)$$

3) Визначаємо передаточне число першої передачі КЗП тягача для автопоїзда:

– повною масою за умовою ψ_{max} :

$$i_{кнI\psi} = i_{mp(max)\psi} / i_{ок(max)} \cdot i_{en(min)} = 64,46 / 5,259 = 12,257, \quad (2.13)$$

де $i_{ок(max)} = 1,0$ – нижча передача додаткового редуктора, [1, 2].

– повною масою за умовою V_{min} :

$$i_{кнIv} = i_{mp(max)V_{min}} / i_{ок(max)} \cdot i_{en(min)} = 84,95 / 5,259 = 16,153, \quad (2.14)$$

– спорядженою масою:

$$i_{кнI} = i_{mp(max)\psi} / i_{ок(max)} \cdot i_{en(min)} = 24,85 / 5,259 = 4,725. \quad (2.15)$$

4) Визначаємо передаточні числа інших передач КЗП за умови розподілу їх за геометричною прогресією:

$$i_{кнj} = i_{кнI} \cdot i_{кнI}^{(j-1)/(1-n)}, \quad (2.16)$$

де j – порядковий номер передачі КЗП для якої розраховується передаточне число;

n – номер прямої передачі.

Результати розрахунків занесемо до табл. 2.6 та табл. 2.7.

Таблиця 2.6.

Результати визначення передаточних чисел КЗП з $i_{кнI\psi}$ для тягача

j	Кількість передач в КЗП тягача				
	8 (базов.)	10	12	14	16
1	2	3	4	5	6
1	7,722	12,257	12,257	12,257	12,257
2	5,477	8,961	9,540	9,947	10,248
3	3,94	6,551	7,425	8,072	8,568
4	2,797	4,789	5,779	6,551	7,164
5	1,96	3,501	4,498	5,316	5,990
6	1,39	2,559	3,501	4,314	5,008
7	1,00	1,871	2,725	3,501	4,187

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
8	0,71	1,368	2,121	2,841	3,501
9	--	1,0	1,651	2,306	2,927
10	--	0,731	1,285	1,871	2,447
11	--	--	1,0	1,518	2,046
12	--	--	0,778	1,232	1,711
13	--	--	--	1,0	1,431
14	--	--	--	0,812	1,196
15	--	--	--	--	1,0
16	--	--	--	--	0,836

Таблиця 2.7.

Результати визначення передаточних чисел КЗП з $i_{кпiv}$ для тягача

j	Кількість передач в КЗП тягача				
	8 (базов.)	10	12	14	16
1	7,722	16,153	16,153	16,153	16,153
2	5,477	11,408	12,230	12,811	13,242
3	3,94	8,057	9,260	10,160	10,855
4	2,797	5,691	7,011	8,057	8,899
5	1,96	4,019	5,308	6,390	7,295
6	1,39	2,839	4,019	5,068	5,981
7	1,00	2,005	3,043	4,019	4,903
8	0,71	1,416	2,304	3,187	4,019
9	--	1,0	1,744	2,528	3,295
10	--	0,706	1,321	2,005	2,701
11	--	--	1,0	1,590	2,214
12	--	--	0,757	1,261	1,815
13	--	--	--	1,0	1,488
14	--	--	--	0,793	1,220
15	--	--	--	--	1,0
16	--	--	--	--	0,820

В табл. 2.8 занесемо оціночні параметри КЗП з різною кількістю передач для тягача.

Таблиця 2.8.

Оціночні показники КЗП за варіантом табл. 2.7 для тягача

Параметр	Кількість передач в КЗП тягача				
	<i>8 (базов.)</i>	<i>10</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>16</i>
діапазон	<i>10,303</i>	<i>22,880</i>	<i>21,338</i>	<i>20,369</i>	<i>19,699</i>
щільність ряду	<i>1,408</i>	<i>1,416</i>	<i>1,321</i>	<i>1,261</i>	<i>1,220</i>

Висновки до другого розділу

Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволив сформулювати наступні висновки:

1. З таблиць 2.2, 2.3 та 2.6, 2.7 видно, що, отримане за умови забезпечення руху вантажних автомобілів з мінімально можливою швидкістю передаточне число першої передачі КЗП дозволить використовувати перший діапазон демультіплікатора на перших двох передачах КЗП за умов руху автомобілів спорядженою масою, на відміну від варіанту отримання передаточного числа першої передачі за умови подолання максимального опору дороги (три передачі КЗП). Для подальших досліджень вибрана КЗП за варіантом табл. 2.3, 2.7 відповідно.

2. Отримані значення щільності ряду коробки зміни передач для сідельного тягача на 2 % більші за відповідні значення коробки зміни передач для самоскиду, але знаходяться у діапазоні значень, що рекомендуються (1,3...1,6 [1, 2]). Це пов'язано з тим, що передаточне число головної передачі сідельного тягача на 14,5 % менше за передаточне число головної передачі самоскиду.

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КЗП ЗА КІЛЬКІСТЮ ПЕРЕДАЧ ЗА УМОВ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ САМОСКИДУ

3.1 Характеристика маршруту для дослідження руху самоскиду

Для деяких спеціалізованих автомобілів типові умови експлуатації могли бути специфічними. Істотно відрізняються умови експлуатації будівельних автомобілів-самоскидів, що працюють із заїздом в кар'єри. Не дивлячись на велику різноманітність маршрутів, по яких здійснюється їх рух, вони мають багато загального. Це відноситься, перш за все, до профілю маршрутів, який може бути представлений у вигляді трьох характерних ділянок (рис. 3.1): A – від місця завантаження до виїзду з кар'єру, B – виїзд з кар'єру, B – рух від кар'єру до місця розвантаження.

Найбільш характерне використання автомобілів-самоскидів в кар'єрах, у яких $l_A = 150...600$ м, $l_B = 100...500$ м, $l_B = 4000...10000$ м, для ділянки l_B крутизна підйому складає 6...12 %. Остаточо, для випробувального маршруту вибрані наступні параметри: $l_A = 500$ м, $l_B = 300$ м, $l_B = 5000$ м, для ділянки l_B крутизна підйому складає 10 %.

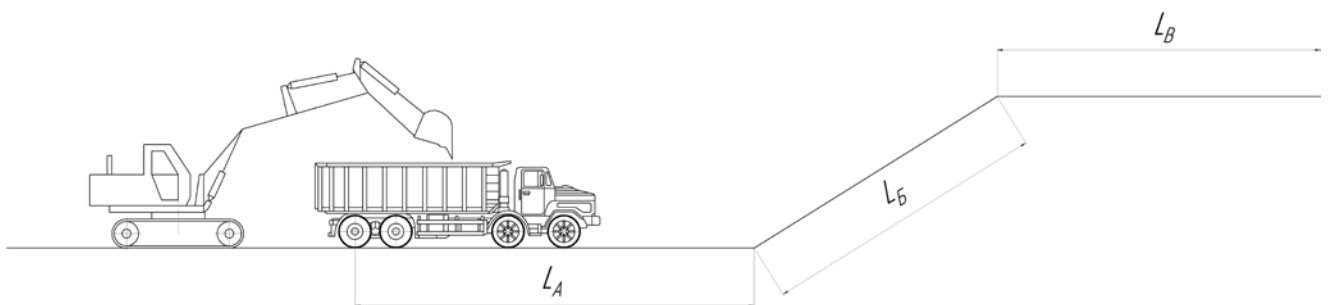


Рис. 3.1 Характеристика маршруту для дослідження
руху самоскиду

Для визначення параметрів руху самоскиду по заданому маршруту встановимо режими його руху. Після завершення завантажувальних робіт

самоскид розганяється до максимально можливої швидкості руху на другій ділянці і рухається з цією швидкістю до третьої ділянки. Далі, самоскид розганяється до швидкості на 10% нижче від максимально можливої і рухається з цією швидкістю, наближаючись до пункту розвантаження за допомогою екстреного гальмування самоскид зупиняється. При застосуванні масових параметрів самоскиду при розрахунках не враховувалася її зміна при використанні різного типу КЗП. Параметри руху самоскиду визначались на режимі роботи двигуна по ЗШХ.

3.2 Аналіз параметрів руху самоскиду

Для оцінки параметрів руху самоскиду побудуємо допоміжні графіки часу та шляху розгону, витрати пального при сталому русі та при розгоні.

Для визначення часу та шляху проходження самоскидом при екстреному гальмуванні прийняті наступні параметри: час реакції водія – $t_p = 0,8$ сек; час спрацювання приводу гальмівної системи – $t_{np} = 0,512$ сек; час початку гальмування – $t_n = 0,1$ сек; коефіцієнт ефективності – $K_e = 1,4$. Час гальмування визначається за формулою:

$$t_z = \frac{V_n}{(3,6 \cdot g \cdot \varphi)}, \quad (3.1)$$

де V_n – початкова швидкість гальмування автомобіля;

g – прискорення вільного падіння;

$\varphi = 0,8$ – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою.

Загальний час гальмування визначається як сума вказаних вище складників. Шлях гальмування визначається за формулою:

$$S_r = \frac{V_n \cdot t_{np}}{3,6} + \frac{V_n \cdot t_n}{3,6} + \frac{0,5 \cdot K_e \cdot V_n^2}{3,6^2 \cdot \varphi \cdot g}. \quad (3.2)$$

8-миступінчаста КЗП

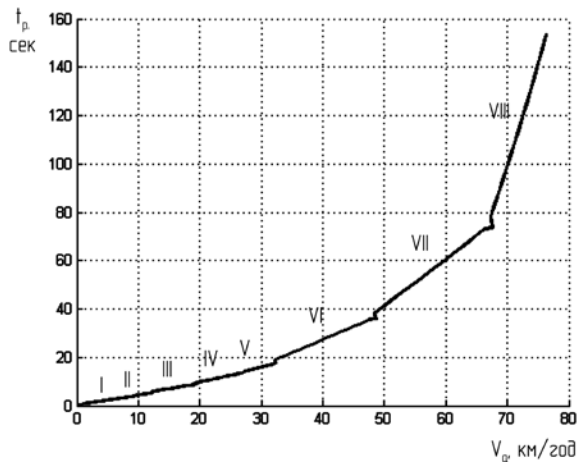


Рис. 3.2 Час розгону самоскиду

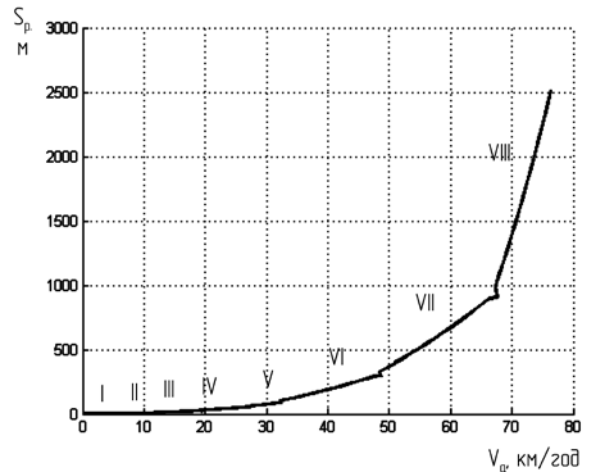


Рис. 3.3 Шлях розгону самоскиду

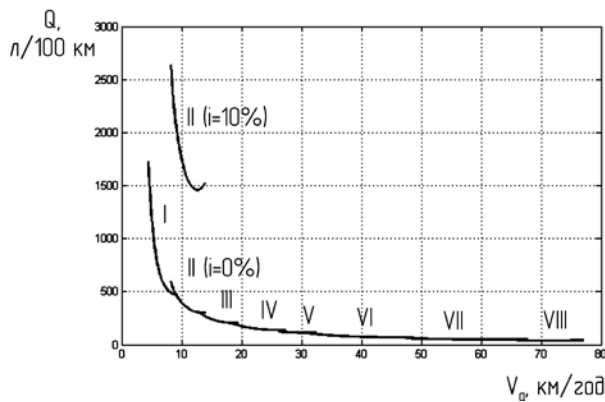


Рис. 3.4 Витрата палива при сталому русі

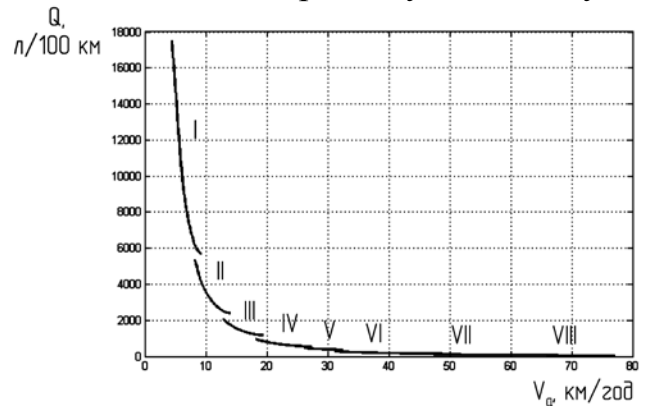


Рис. 3.5 Витрата палива при розгоні

Для самоскиду з 8-миступінчастою КЗП V_{\max}^{II} дорівнює 14 км/год, $0,1V_{\max} - 69$ км/год.

10-миступінчаста КЗП

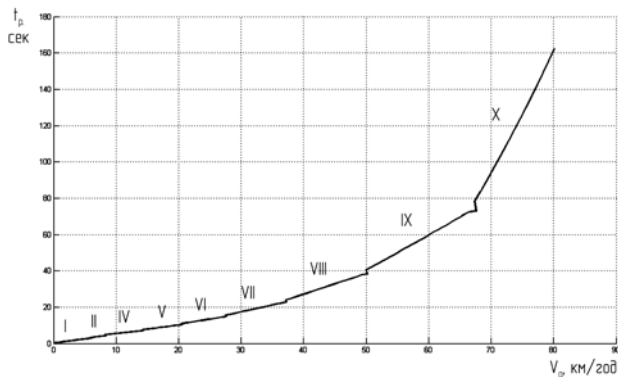


Рис. 3.6 Час розгону самоскиду

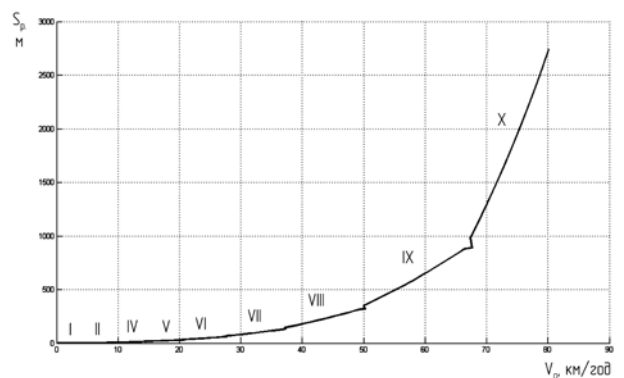


Рис. 3.7 Шлях розгону самоскиду

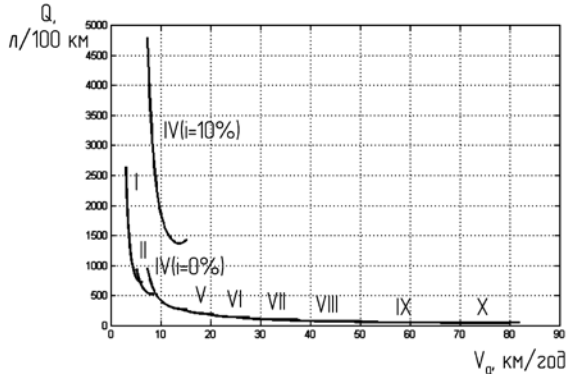


Рис. 3.8 Витрата палива при сталому русі

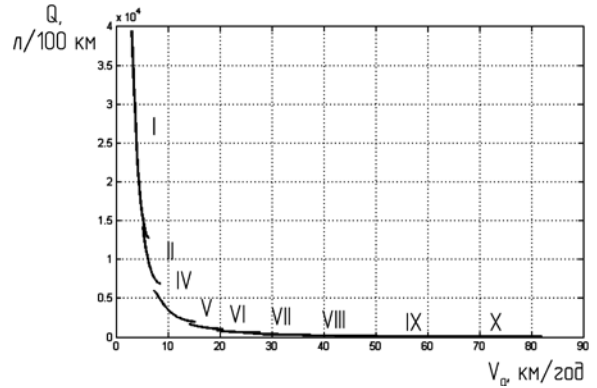


Рис. 3.9 Витрата палива при розгоні

Для самоскиду з 10-тиступінчастою КЗП V_{max}^{II} дорівнює 15,5 км/год, $0,1V_{max} - 74$ км/год.

12-тиступінчаста КЗП

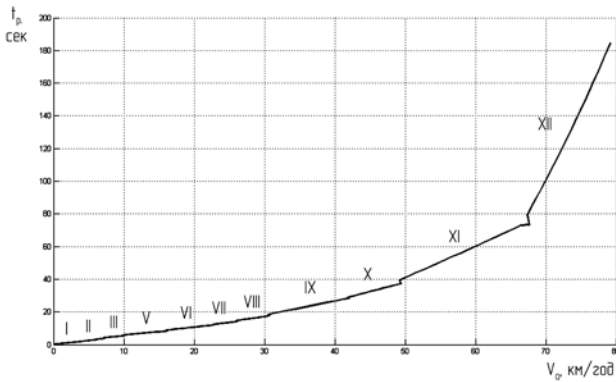


Рис. 3.10 Час розгону самоскиду

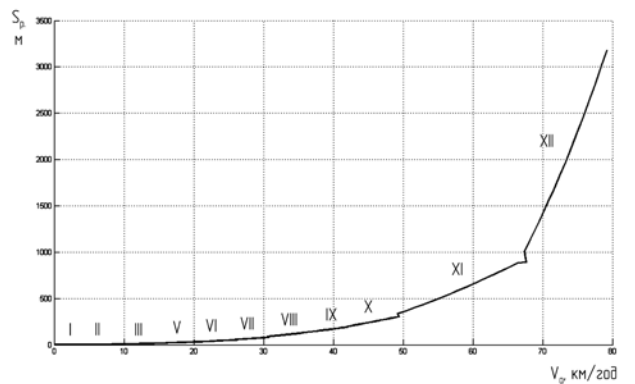


Рис. 3.11 Шлях розгону самоскиду

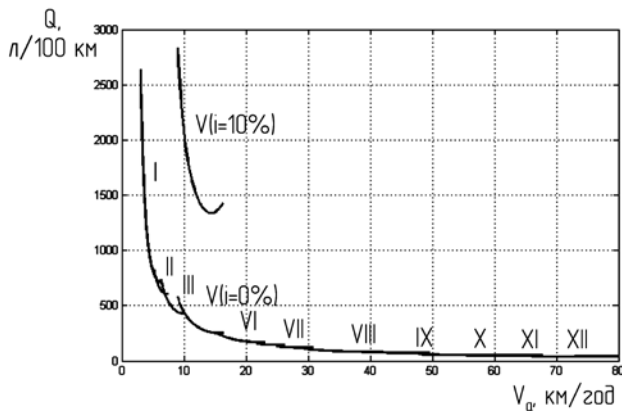


Рис. 3.12 Витрата палива при сталому русі

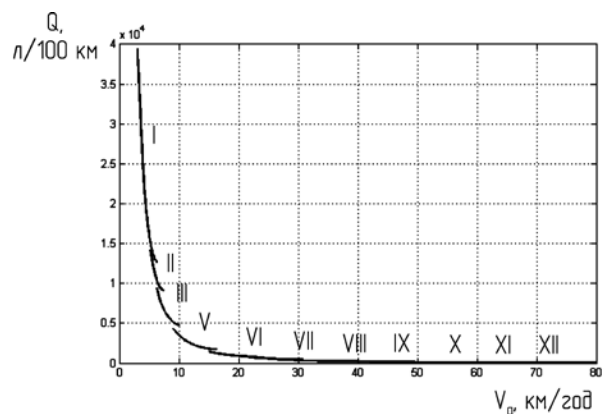


Рис. 3.13 Витрата палива при розгоні

Для самоскиду з 12-тиступінчастою КЗП V_{max}^{II} дорівнює 15,5 км/год, $0,1V_{max} - 72$ км/год.

14-тиступінчаста КЗП

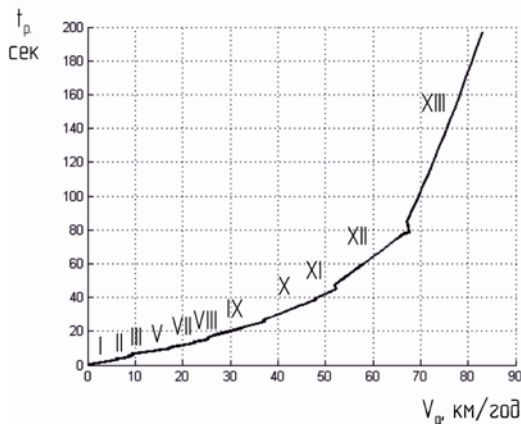


Рис. 3.14 Час розгону самоскиду.

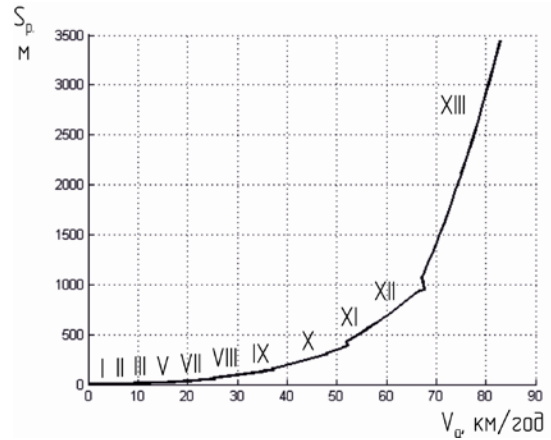


Рис. 3.15 Шлях розгону самоскиду.

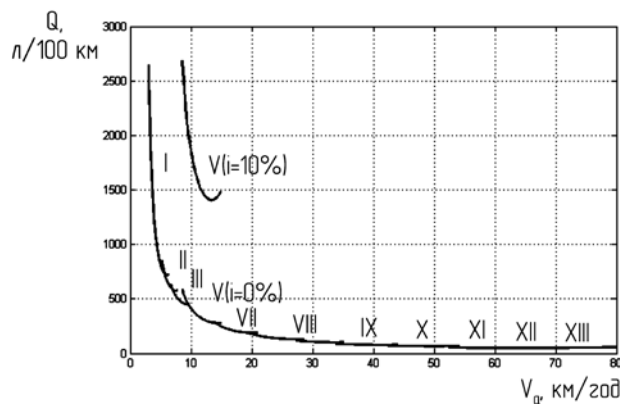


Рис. 3.16 Витрата палива при сталому русі.

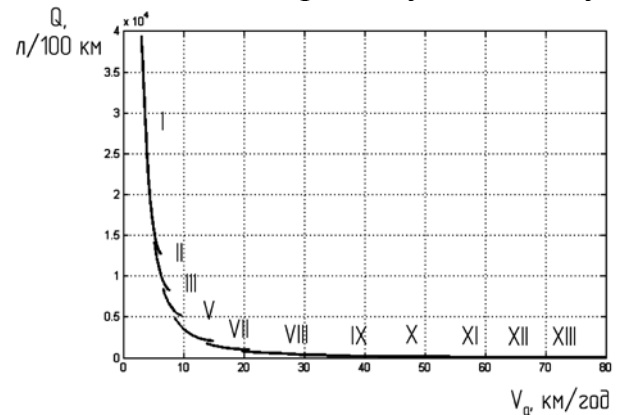


Рис. 3.17 Витрата палива при розгоні.

Для самоскиду з 14-тиступінчастою КЗП V_{\max}^{II} дорівнює 15,2 км/год, $0,1V_{\max} - 74$ км/год.

16-тиступінчаста КЗП

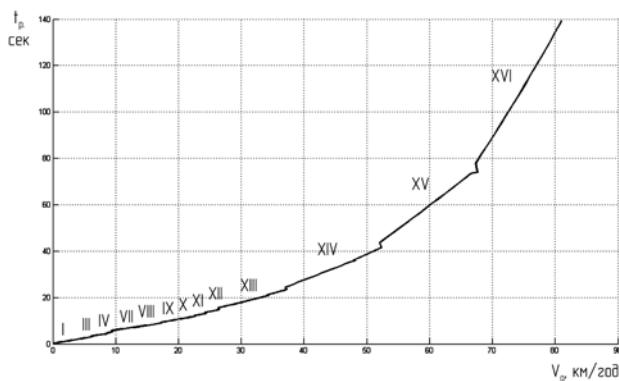


Рис. 3.18 Час розгону самоскиду.

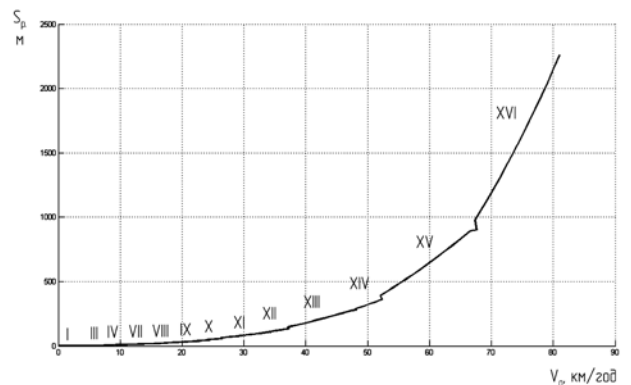


Рис. 3.19 Шлях розгону самоскиду.

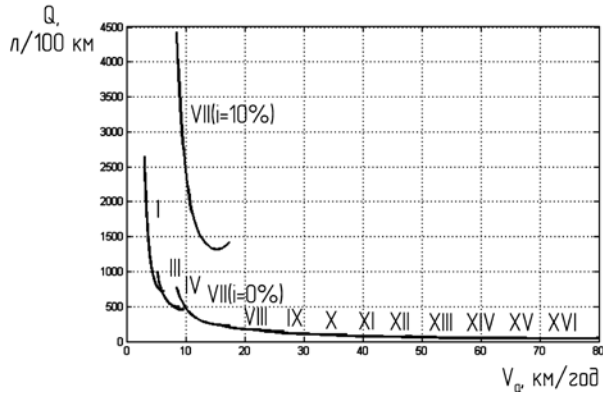


Рис. 3.20 Витрата палива при сталому русі

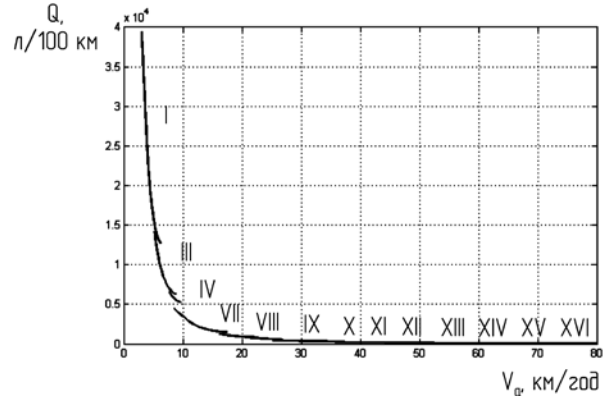


Рис. 3.21 Витрата палива при розгоні

Для самоскиду з 16-тиступінчастою КЗП V_{\max}^{II} дорівнює 16 км/год, $0,1V_{\max} - 75$ км/год.

Результати розрахунків представимо у вигляді табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Параметри руху самоскиду

Кількість передач у КЗП	режим руху самоскиду								
	ділянка №1 (500 м)						ділянка №2 (300 м)		
	розгін до V_{\max}^{II}			рух з V_{\max}^{II}					
	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$
8	6,5	14,2	0,919	124,42	485,6	1,470	77,11	300	4,569
10	8,9	20,2	2,051	111,20	479,8	1,119	69,72		4,326
12	8,8	18,8	1,947	111,46	481,2	1,179	69,72		4,101
14	8,84	19	1,905	113,92	481	1,195	71,05		4,440
16	9,1	20	1,957	117,96	480	1,119	67,52		3,994

Продовження табл. 3.1.

Кількість передач у КЗП	режим руху самоскиду								
	ділянка №3 (5000 м)								
	розгін до $0,1V_{\max}$			рух з $0,1V_{\max}$			зупинка		
	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$	$t, \text{сек}$	$S, \text{м}$	$Q_{\text{діл}}, \text{л}$
8	84,3	1219	6,495	195,18	3741,8	1,400	2,44	39,2	0,0016
10	114,32	1836,6	5,291	151,50	3114,3	1,314	2,62	49,1	0,0020
12	113,9	1791,2	6,624	158,11	3162	1,217	2,55	46,8	0,0019
14	114,66	1896,8	4,431	150,84	3100,7	1,902	2,51	45,7	0,0019
16	114,2	1827,2	5,430	168,82	3122,5	1,358	2,65	50,3	0,0021

В якості комплексних показників за аналогією з випробуваннями автопоїздів використаємо два показники – технічну продуктивність та паливно-швидкісний показник.

Технічна продуктивність визначається за формулою:

$$W_{тех} = m_a \cdot V_{сер}, \text{ т} \cdot \text{км}/\text{год}. \quad (3.3)$$

Паливно-швидкісний показник визначається за формулою:

$$K_{пш} = V_{сер} / Q_S, \text{ км}/(\text{год} \cdot \text{л}), \quad (3.4)$$

де $V_{сер}$ – середня швидкість руху автомобіля, (км/год);

Q_S – витрата пального на фіксованій ділянці, (л).

Результати розрахунків занесемо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Комплексні показники руху самоскидів

параметри	Кількість передач в КЗП самоскиду				
	8	10	12	14	16
$t_m, \text{ сек}$	489,95	457,63	464,54	475,48	480,25
$S_m, \text{ м}$	5800				
$V_{сер}, \text{ км}/\text{год}$	42,62	45,63	44,95	43,91	43,48
$Q_m, \text{ л}$	14,85	14,10	15,07	13,83	13,86
$K_{пш}, \text{ км}/(\text{год} \cdot \text{л})$	2,869	3,236	2,983	3,214	3,137
$W_{техн}, \text{ т} \cdot \text{км}/\text{год}$	1632,35	1747,63	1721,60	1681,75	1665,28

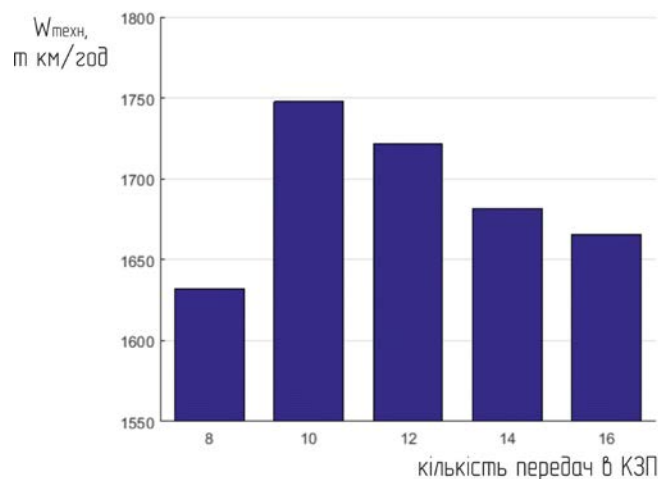


Рис. 3.22 Технічна продуктивність самоскиду

Для кращого сприйняття отриманих результатів розрахунку параметрів руху самоскиду з різними за кількістю передач коробками зміни передач представимо їх у вигляді стовпчикових діаграм (рис. 3.22, 3.23).

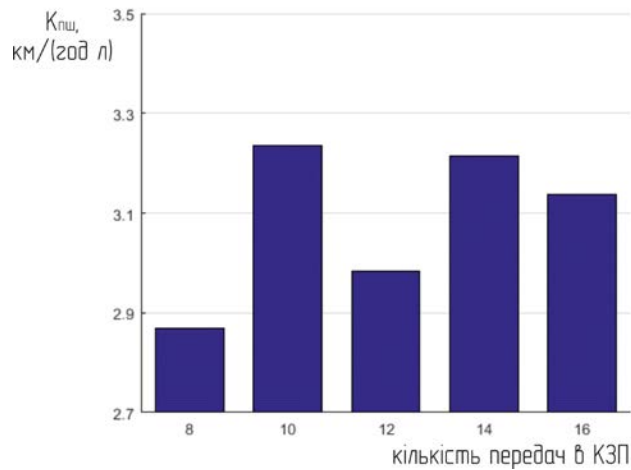


Рис. 3.23 Паливно-швидкісний показник самоскиду

Висновки до третього розділу

Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволив сформулювати наступні висновки:

1. Для визначення параметрів руху, використовуючи параметри маршруту, які рекомендовані [9], за критерієм повного використання передач в КЗП самоскиду рекомендували режими його руху при подоланні відповідних ділянок маршруту.

2. За комплексними показниками руху самоскиду КрАЗ-7133С4 переважає використання 10-тиступінчастої КЗП як за динамічними так і за економічними ознаками. У порівнянні з базовою (8-миступінчастою) КЗП 10-тиступінчаста за технічною продуктивністю переважає на 6,5 %, а за паливно-швидкісним показником переважає на 11 %.

РОЗДІЛ 4

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ДВЗ ТА КЗП ЗА КІЛЬКІСТЮ ПЕРЕДАЧ ЗА УМОВ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ СІДЕЛЬНИХ ТЯГАЧІВ

4.1 Характеристика маршруту для дослідження руху автопоїзда

Відповідно до ГОСТ 22576-90 прийнятий маршрут, що складається з 9-ти ділянок, причому обов'язкова наявність одного підйому і одного спуску довжиною по 500 – 700 м з уклонами до 4 – 5 %:

Таблиця 4.1

Розподіл уклонів на досліджуваному маршруті									
№ ділянки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
довжина ділянки, м	630	1040	1500	2320	3020	2320	1500	1040	630
уклін, %	- 4	- 3	- 2	- 1	0	1	2	3	4

Коефіцієнт опору дороги при малих швидкостях руху $f_0 = 0,016$. При моделюванні маршруту не врахований додатковий опір при русі транспортного засобу по криволінійній траєкторії, унаслідок кутів відведення, що змінюються. Всі розрахунки проводилися з урахуванням роботи двигуна на режимі ЗШХ, відповідно до ГОСТ 20306-90.

Проте, як показали результати проведених розрахунків, даних стандарту недостатньо для повного опису швидкісної дороги, оскільки середня швидкість руху автопоїзда на швидкісній дорозі залежить ще і від послідовності ділянок.

Для визначення середньої швидкості руху автопоїзда по сукупності ділянок маршруту необхідно розрахунком визначити час проходження кожної ділянки, а потім, розділивши суму довжин ділянок на сумарний час руху, отримати середню швидкість руху подолання маршруту.

Послідовність встановлення режимів руху автопоїзда, згідно з ГОСТ 20306-90, представлена у вигляді операційної карти режимів випробування автопоїздів на дорозі з магістральним циклом.

Таблиця 4.2

Операційна карта режиму випробувань за визначенням витрати палива у магістральному циклі на маршруті відповідно до ГОСТ 20306-90 і ГОСТ 22576-90 при наступній послідовності ділянок: 9-4-5-7-3-2-1-6-8.

№ операції	Відмітка шляху, м / % уклону	Послідовність операції
1	нуль	Встановлення постійної швидкості 30 км/год. У момент перетину відмітки «нуль» включення, одночасно, всіх приладів, що вимірюють час руху і витрату палива.
2	0 – 630 / уклін +4	Рух зі сталою швидкістю 30 км/год.
3	630 – 2950 / уклін –1	Розгін до швидкості 50 км/год і рух з цією швидкістю.
4	2950 – 5970 / уклін 0	Розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю.
5	5970 – 7470 / уклін +2	Сповільнення двигуном до швидкості 50 км/год і рух з цією швидкістю.
6	7470 – 8970 / уклін – 2	Розгін до швидкості 70 км/год і рух з цією швидкістю.
7	8970 – 10010 / уклін – 3	Розгін до швидкості 75 км/год і рух з цією швидкістю.
8	10010 – 10640 / ухил – 4	Сповільнення двигуном до швидкості 65 км/год і рух з цією швидкістю.
9	10640 – 12960 / ухил + 1	Сповільнення двигуном до швидкості 45 км/год і рух з цією швидкістю.
10	12960 – 14000 / уклін +3	Рух зі сталою швидкістю 45 км/год.
11	--	У момент перетину відмітки «14000 м» виключення, одночасно, всіх приладів, що вимірюють час руху і витрату палива.
12	--	Занесення результатів вимірювань в протокол випробувань.

4.2 Аналіз параметрів руху автопоїзда

Згідно з операційною картою (табл. 4.2) визначимо середню швидкість руху автопоїзда і середню витрату палива для кожної ділянки траси. Результати розрахунків представимо в табличній формі.

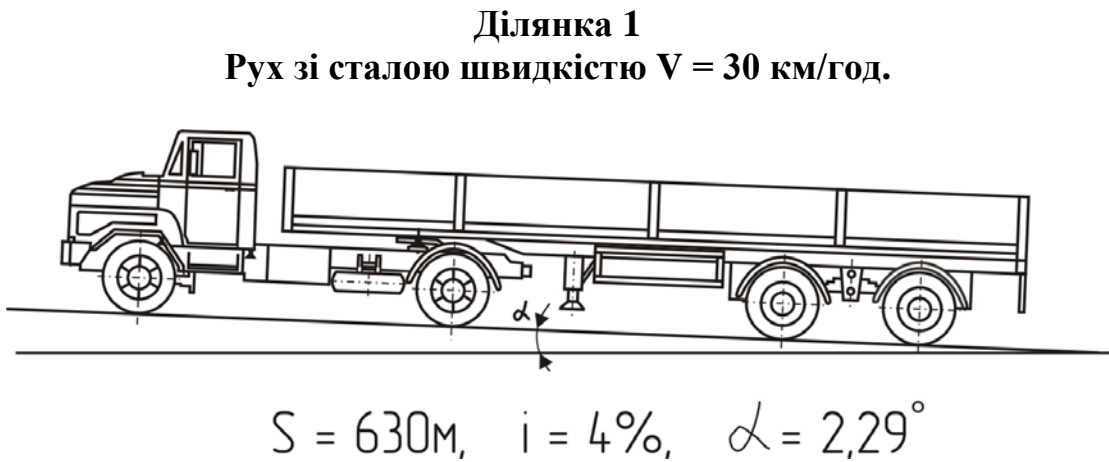


Рис. 4.1 Схема 1-ої ділянки маршруту

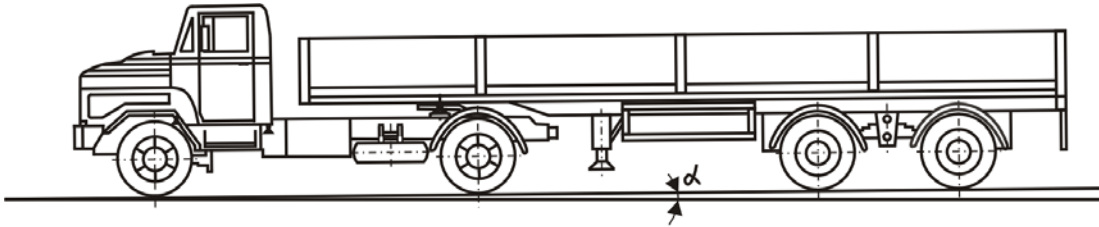
Таблиця 4.3

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянках № 1 і 9

Параметри	кількість передач КЗП									
	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
$\tau_{діль}, \text{сек}$	75,6					83,2				
$S_{діль}, \text{м}$	630					1040				
$V_{дон}, \text{км/год}$	30,50	34,68	34,27	33,40	35,70	42,35	37,55	42,60	39,06	42,90
$V_{сер}, \text{км/год}$	30					45				
$Q_S, \text{л/100 км}$	286,0	280,0	292,9	280,0	282,3	200,0	207,7	198,0	200,3	202,1
$Q_{діль}, \text{л}$	1,802	1,764	1,845	1,764	1,778	2,080	2,160	2,060	2,083	2,102

Ділянка 2

Розгін до швидкості $V = 50$ км/год і подальший рух з незміною швидкістю.



$$S = 2320\text{м}, \quad i = 1\%, \quad \alpha = 0,57^\circ$$

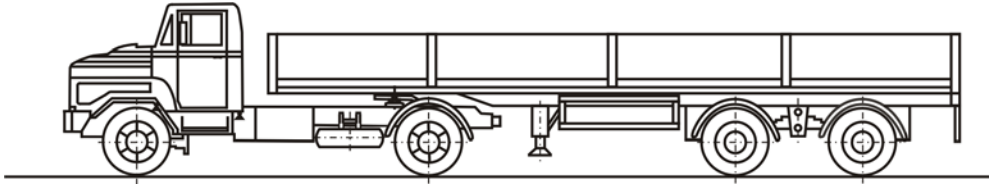
Рис. 4.2 Схема 2-ої ділянки маршруту

Таблиця 4.4

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №2

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Розгін з 30 до 50 км/г	Рух зі швид. $V = 50$ км/г	Розгін з 30 до 50 км/г	Рух зі швид. $V = 50$ км/г	Розгін з 30 до 50 км/г	Рух зі швид. $V = 50$ км/г	Розгін з 30 до 50 км/г	Рух зі швид. $V = 50$ км/г	Розгін з 30 до 50 км/г	Рух зі швид. $V = 50$ км/г
$\tau_{діль}$ сек	20,64	151,4	20,43	149,1	20,08	149,6	23,30	143,9	22,86	144,5
$S_{діль}$ м	217	2103	249	2071	242	2078	321	1999	313	2007
$V_{сер}$ км/год	37,85	50	43,88	50	43,39	50	49,60	50	49,29	50
Q_S л/100 км	291,8	64,77	306,1	64,36	312,5	64,00	306,7	69,0	314,5	66,35
$Q_{діль}$ л	0,633	1,362	0,762	1,333	0,756	1,330	0,985	1,379	0,984	1,332
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$ км/год	101,2		85,51		104,5		86,00		101,5	
$V_{сер}$ км/год	48,547		49,266		49,222		49,952		49,904	
$\tau_{діль}$ сек	172,04		169,53		169,68		167,20		167,36	
$Q_{діль}$ л	1,995		2,095		2,086		2,364		2,316	

Ділянка 3

Розгін до швидкості $V = 70$ км/год і подальший рух з незміною швидкістю.
 $S = 3020\text{м}, i = 0\%, \alpha = 0^\circ$
 Рис. 4.3 Схема 3-ої ділянки маршруту

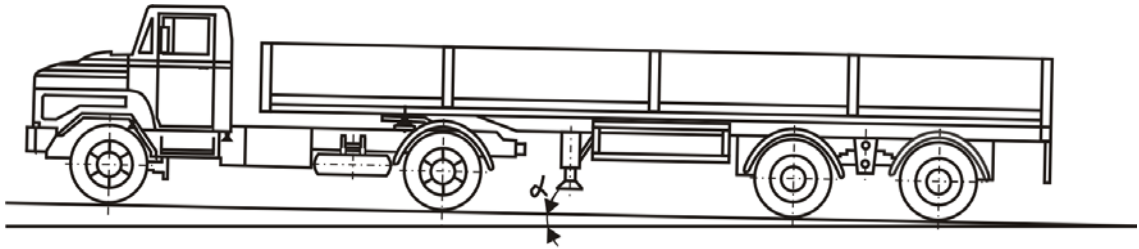
Таблиця 4.5

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №3

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Розгін з 50 до 70 км/г	Рух зі швид. $V = 70$ км/г	Розгін з 50 до 70 км/г	Рух зі швид. $V = 70$ км/г	Розгін з 50 до 70 км/г	Рух зі швид. $V = 70$ км/г	Розгін з 50 до 70 км/г	Рух зі швид. $V = 70$ км/г	Розгін з 50 до 70 км/г	Рух зі швид. $V = 70$ км/г
$\tau_{діль}$, сек	60,74	102,1	59,86	101,8	62,65	99,15	54,40	107,2	54,93	106,6
$S_{діль}$, м	1034	1986	1040	1980	1092	1928	936,0	2084	948,0	2072
$V_{сер}$, км/год	61,28	70	62,55	70	62,75	70	61,94	70	62,13	70
Q_S , л/100 км	79,15	42,28	83,56	45,68	78,00	42,28	85,09	46,0	81,72	42,28
$Q_{діль}$, л	0,818	0,840	0,869	0,904	0,852	0,815	0,796	0,959	0,775	0,876
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$, км/год	85,50		85,51		85,50		86,00		85,50	
$V_{сер}$, км/год	66,749		67,252		67,194		67,277		67,323	
$\tau_{діль}$, сек	162,88		161,66		161,80		161,60		161,49	
$Q_{діль}$, л	1,658		1,773		1,667		1,755		1,651	

Ділянка 4

Сповільнення за допомогою ДВЗ до швидкості $V = 50$ км/год і подальший рух з незміною швидкістю.



$$S = 1500\text{м}, \quad i = 2\%, \quad \alpha = 1,15^\circ$$

Рис. 4.4 Схема 4-ої ділянки маршруту

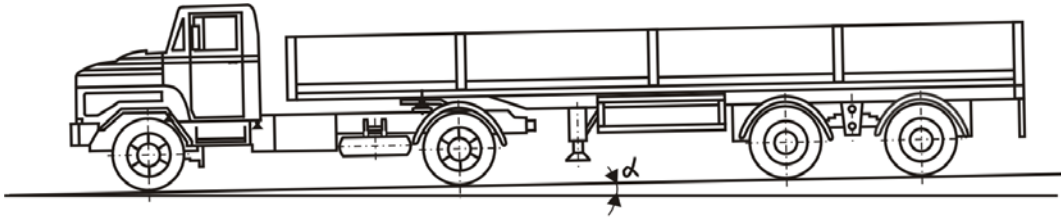
Таблиця 4.6

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №4

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Сповільн. з 70 до 50 км/Г	Рух зі швид. V = 50 км/Г	Сповільн. з 70 до 50 км/Г	Рух зі швид. V = 50 км/Г	Сповільн. з 70 до 50 км/Г	Рух зі швид. V = 50 км/Г	Сповільн. з 70 до 50 км/Г	Рух зі швид. V = 50 км/Г	Сповільн. з 70 до 50 км/Г	Рух зі швид. V = 50 км/Г
$\tau_{діль}$ сек	27,45	86,82	22,68	80,57	22,55	80,14	22,42	80,21	21,11	82,08
$S_{діль}$ м	422,0	1078	381,0	1119	387,0	1113	386,0	1114	360,0	1140
$V_{сер}$ км/год	55,34	44,70	60,48	50	61,78	50	61,98	50	61,39	50
Q_S л/100 км	3,79	125,0	3,79	128,6	3,79	130,8	3,79	130,4	3,79	128,0
$Q_{діль} 10^{-3}$, л	16,00	1348	14,44	1439	14,67	1456	13,95	1453	13,64	1459
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$ км/год	44,70		49,40		51,30		48,90		51,14	
$V_{сер}$ км/год	47,256		52,300		52,585		52,616		52,331	
$\tau_{діль}$ сек	114,27		103,25		102,69		102,63		103,19	
$Q_{діль}$ л	1,364		1,453		1,471		1,467		1,473	

Ділянка 5

Розгін до швидкості $V = 70$ км/год і подальший рух з незмінною швидкістю.



$$S = 1500\text{м}, \quad i = 2\%, \quad \alpha = 1,15^\circ$$

Рис. 4.5 Схема 5-ої ділянки маршруту

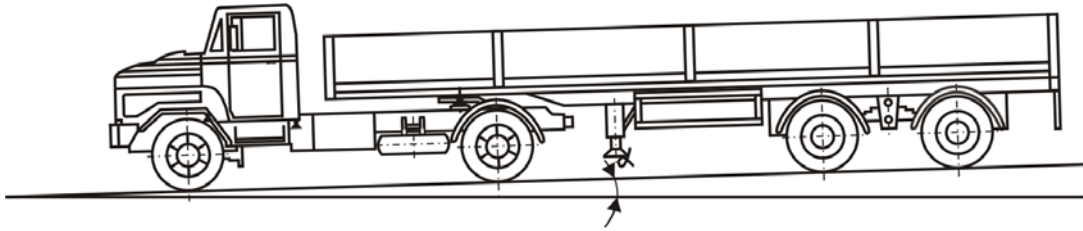
Таблиця 4.7

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №5

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Розгін з 50 до 70 км/Г	Рух зі швид. V = 70 км/Г	Розгін з 50 до 70 км/Г	Рух зі швид. V = 70 км/Г	Розгін з 50 до 70 км/Г	Рух зі швид. V = 70 км/Г	Розгін з 50 до 70 км/Г	Рух зі швид. V = 70 км/Г	Розгін з 50 до 70 км/Г	Рух зі швид. V = 70 км/Г
$\tau_{діль}$ сек	21,28	59,40	21,62	57,96	24,47	55,13	21,01	58,63	21,10	58,47
$S_{діль}$ м	345	1155	373	1127	428	1072	360	1140	363	1137
$V_{сер}$ км/год	58,36	70	62,11	70	62,9	70	61,68	70	61,93	70
Q_S л/100 км	174,2	56,32	173,5	56,32	173,0	56,32	179,4	56,32	179,4	56,32
$Q_{діль}$ л	0,601	0,650	0,647	0,635	0,740	0,604	0,646	0,642	0,651	0,640
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$ км/год	120,0		85,51		106,22		86,00		101,5	
$V_{сер}$ км/год	66,931		67,856		67,839		67,805		67,865	
$\tau_{діль}$ сек	80,68		79,58		79,60		79,64		79,57	
$Q_{діль}$ л	1,251		1,282		1,344		1,288		1,291	

Ділянка 6

Розгін до швидкості $V = 75$ км/год і подальший рух з незмінною швидкістю.



$$S = 1040\text{м}, \quad i = 3\%, \quad \alpha = 1,72^\circ$$

Рис. 4.6 Схема 6-ої ділянки маршруту

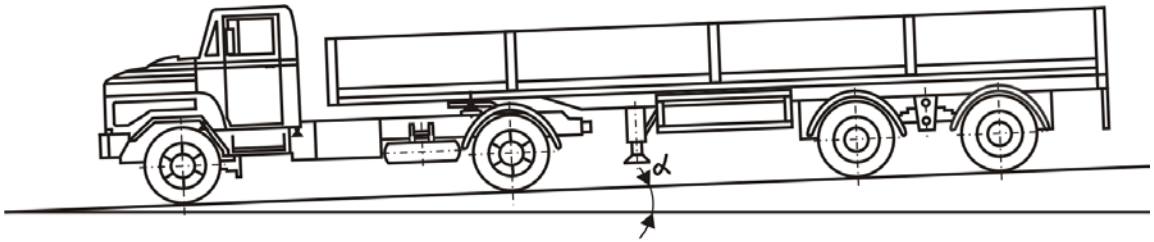
Таблиця 4.8

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №6

Параметри	кількість передач КЗП					
	8	10	12	14	16	
	Розгін з 70 до 75 км/год		Рух зі швид. $V = 75$ км/год		Розгін з 70 до 75 км/г	Рух зі швид. $V = 75$ км/г
$\tau_{діль}$, сек	4,12		45,94		7,24	42,91
$S_{діль}$, м	83		957		146	894
$V_{сер}$, км/год	72,52		75		72,60	75
Q_S , л/100 км	111,3		43,50		111,3	43,50
$Q_{діль}$, л	0,092		0,416		0,162	0,389
	для всієї ділянки					
$V_{дон}$, км/год	120,0	85,51	106,22	86,00	101,5	
$V_{сер}$, км/год	74,790				74,656	
$\tau_{діль}$, сек	50,06				50,15	
$Q_{діль}$, л	0,508				0,551	

Ділянка 7

Сповільнення за допомогою ДВЗ до швидкості $V = 65$ км/год і подальший рух з незміною швидкістю.



$$S = 630\text{м}, \quad i = 4\%, \quad \alpha = 2,29^\circ$$

Рис. 4.7 Схема 7-ої ділянки маршруту

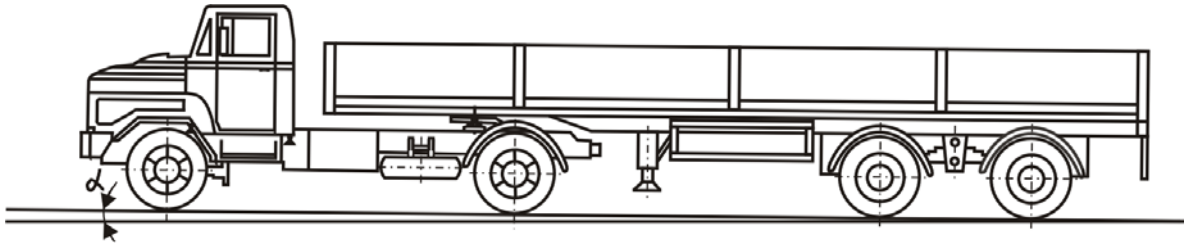
Таблиця 4.9

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №7

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Сповільн. з 75 до 65 км/Г	Рух зі швид. $V = 65$ км/Г	Сповільн. з 75 до 65 км/Г	Рух зі швид. $V = 65$ км/Г	Сповільн. з 75 до 65 км/Г	Рух зі швид. $V = 65$ км/Г	Сповільн. з 75 до 65 км/Г	Рух зі швид. $V = 65$ км/Г	Сповільн. з 75 до 65 км/Г	Рух зі швид. $V = 65$ км/Г
$\tau_{діль}$ сек	10,65	23,43	11,35	22,65	11,39	22,38	11,35	22,54	11,33	22,60
$S_{діль}$ м	207	423	221	409	226	404	223	407	222	408
$V_{сер}$ км/год	69,97	65	70,10	65	71,43	65	70,73	65	70,54	65
Q_S л/100 км	3,79	43,63	3,79	43,63	3,79	43,63	3,79	43,63	3,79	50,63
$Q_{діль} 10^{-3}$, л	7,85	184,6	8,38	178,4	8,57	176,3	8,45	177,6	8,41	206,6
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$ км/год	120,0		85,51		106,22		86,00		101,5	
$V_{сер}$ км/год	66,549		66,706		67,160		66,922		66,844	
$\tau_{діль}$ сек	34,08		34,00		33,77		33,89		33,93	
$Q_{діль}$ л	0,192		0,187		0,185		0,186		0,215	

Ділянка 8

Сповільнення за допомогою ДВЗ до швидкості $V = 45$ км/год і подальший рух з незміною швидкістю.



$$S = 2320\text{м}, \quad i = 1\%, \quad \alpha = 0,57^\circ$$

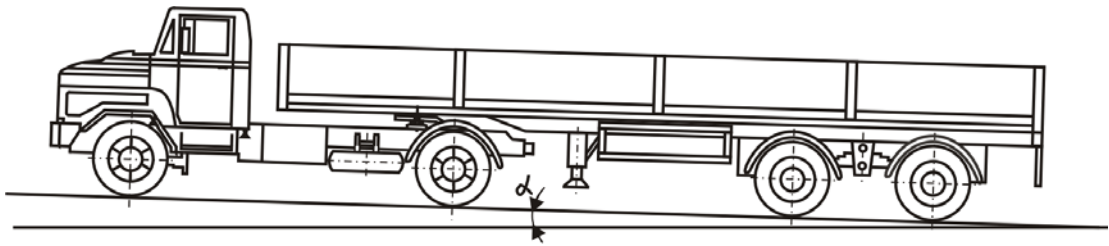
Рис. 4.8 Схема 8-ої ділянки маршруту

Таблиця 4.10

Експлуатаційні показники руху автопоїзда на ділянці №8

Параметри	кількість передач КЗП									
	8		10		12		14		16	
	Сповільн. з 65 до 45 км/Г	Рух зі швид. V = 45 км/Г	Сповільн. з 65 до 45 км/Г	Рух зі швид. V = 45 км/Г	Сповільн. з 65 до 45 км/Г	Рух зі швид. V = 45 км/Г	Сповільн. з 65 до 45 км/Г	Рух зі швид. V = 45 км/Г	Сповільн. з 65 до 45 км/Г	Рух зі швид. V = 45 км/Г
$\tau_{діль}$ сек	22,00	159,8	23,13	156,8	22,80	157,0	22,84	156,1	22,80	156,4
$S_{діль}$ м	322	1998	360	1960	357	1963	369	1951	365	1955
$V_{сер}$ км/год	52,69	45	56,03	45	56,37	45	58,16	45	57,63	45
Q_S л/100 км	3,79	82,37	3,79	85,48	3,79	87,50	3,79	84,73	3,79	92,23
$Q_{діль} 10^{-3}$, л	12,20	1646	13,64	1675	13,53	1718	13,99	1653	13,83	1803
	для всієї ділянки									
$V_{дон}$ км/год	61,50		65,00		65,15		63,20		62,63	
$V_{сер}$ км/год	45,930		46,418		46,452		46,680		46,607	
$\tau_{діль}$ сек	181,84		179,93		179,80		178,92		179,20	
$Q_{діль}$ л	1,658		1,689		1,731		1,667		1,817	

Ділянка 9
Рух з незмінною швидкістю $V = 45$ км/год.



$$S = 1040\text{м}, \quad i = 3\%, \quad \alpha = 1,72^\circ$$

Рис. 4.9 Схема 9-ої ділянки маршруту

Результати розрахунку параметрів руху автопоїзда на 9-тій ділянці представлені в табл. 4.3.

Для інженерних розрахунків рекомендовані комплексні показники такі як технічна продуктивність та паливно-швидкісний показник (3.3, 3.4) для оцінки технічних і економічних властивостей автопоїздів. В табл. 4.11 представимо результати подолання автопоїздом всього маршруту.

Таблиця 4.11

Параметри руху автопоїзда при подоланні всього маршруту

Параметри	кількість передач КЗП				
	8	10	12	14	16
$\tau_{мар}, \text{сек}$	954,65	936,81	936,20	932,74	933,69
$S_{мар}, \text{м}$	14000				
$V_{сер}, \text{км/год}$	52,794	53,800	53,835	54,034	53,979
$Q_s, \text{л/100 км}$	89,343	92,221	91,121	90,843	94,243
$Q_{мар}, \text{л}$	12,508	12,911	12,757	12,718	13,194
$K_{тп}, \text{км/(год л)}$	4,221	4,167	4,220	4,248	4,091
$W_{тех б}, \text{т км/год}$	1890,03	1926,04	1927,29	1934,42	1932,45

Для кращого сприйняття отриманих результатів розрахунку параметрів руху автопоїзда з різними за кількістю передач коробками зміни передач тягача представимо їх у вигляді стовпчикових діаграм (рис. 4.10, 4.11).

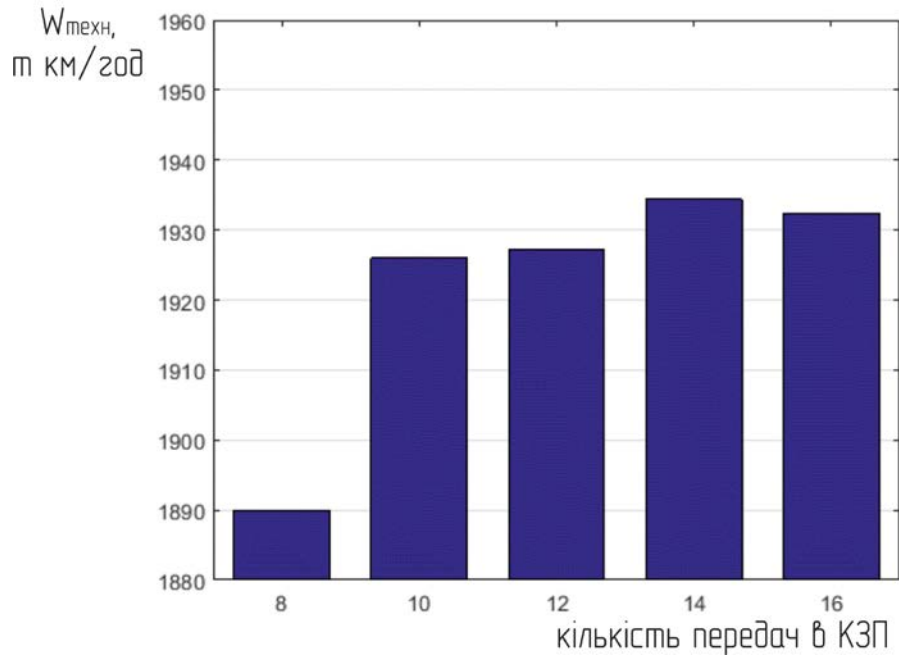


Рис. 4.10 Технічна продуктивність автопоїзда

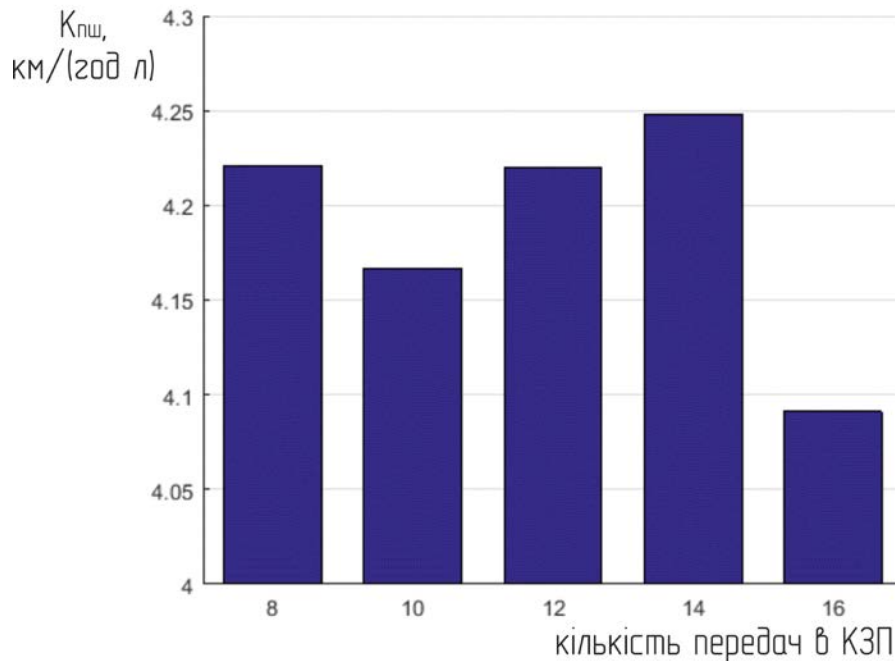


Рис. 4.11 Паливно-швидкісний показник руху автопоїзда

Аналогічним чином визначимо параметри руху автопоїзда КамАЗ-54115 + СЗАП-93272 при використанні різних моделей двигунів. Данні представимо в табличній формі.

Таблиця 4.12

Параметри руху автопоїзда при подоланні всього маршруту

Параметри	модель двигуна		
	ЯМЗ-7512.10	КамАЗ-740.50-360	ОМ442А
<i>l</i>	2	3	4
$\tau_{мар}, сек$	937,58	936,44	935,33
$S_{мар}, м$	14000		
$V_{сер}, км/г$	53,755	53,821	53,885
$Q_S, л/100 км$	80,221	81,329	62,071
$Q_{мар}, л$	11,231	11,386	8,690

Далі проаналізуємо середні показники руху автопоїзда КамАЗ-54115 + СЗАП-93272 (рис. 4.12) при застосуванні різних двигунів для сідельного тягача.

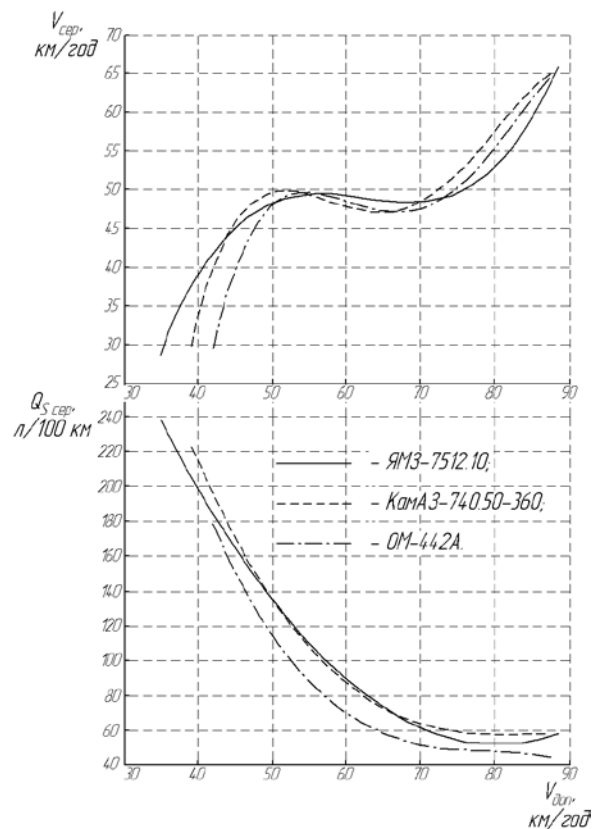


Рис. 4.12. Середні показники руху автопоїзда.

Висновки до четвертого розділу

Аналіз отриманих результатів розрахунків дозволив сформулювати наступні висновки:

1. Для визначення параметрів руху, використовуючи параметри маршруту, які рекомендовані [11], за критерієм можливості реалізації параметрів руху автопоїзда на відповідних ділянках маршруту визначили режими руху.

2. За комплексними показниками руху автопоїзда КрАЗ-5444+МТМ-9330 переважає використання 14-тиступінчастої КЗП як за динамічними так і за економічними ознаками. У порівнянні з базовою (8-миступінчастою) КЗП 14-тиступінчаста за технічною продуктивністю переважає на 2 %, а за паливно-швидкісним показником переважає на 0,5 %.

3. З рис. 4.12 видно, що в діапазоні найімовірніших допустимих швидкостей (60...80 км/год) середні швидкості руху автопоїзда мало відрізняються при використанні різних двигунів, а витрата палива на 100 км пробігу, в середньому, на 2,6 л менше при використанні двигуна ОМ-442А по відношенню до інших двигунів. При подоланні всього маршруту використання для сідельного тягача КамАЗ-54115 двигуна ОМ-442А є більш доцільним.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота виконана на достатньому науково-практичному рівні з використанням сучасних програмних продуктів. Основні результати, що отримані в процесі досліджень, полягають у наступному.

1. Для заданого сідельного тягача підібрано напівпричіп за параметрами навантаження на сідельно-зчіпний пристрій, типорозміру шин та маневрувальних радіусів, також, підібрано джерело енергії, в якості якого прийнято чотири ДВЗ. За параметрами максимальної швидкості руху автопоїзда для подальших розрахунків лишили три ДВЗ. Виконали апроксимацію кривих ЗШХ, під час якої з'ясували наступне, для сучасних двигунів апроксимація кривої характеристики крутного моменту поліномом другої степені призводить до похибки в розрахунках до 18%.

2. Для досліджень вибрали самоскид та сідельний тягач, різниця у повній масі яких складає 6,5 %, між передаточними числами головної передачі – 14,5 %, з однаковими параметрами двигуна та базового варіанту коробки зміни передач (8-миступінчаста), для останнього обгрунтовано вибрали напівпричіп. Для заданих КТЗ визначили кінематичні параметри 10-ти, 12-ти, 14-ти та 16-тиступінчастих коробок передач за умови забезпечення руху заданих КТЗ з мінімальною швидкістю.

3. Запропоновано під час обгрунтування доцільності переобладнання складових силового агрегату вантажних автомобілів керуватись їх призначенням та отриманими комплексними показниками руху. Так, для сідельного тягача КамАЗ-54115 більш доцільно застосовувати двигун ОМ-442А, за таких умов, за майже однаковими значеннями середньої швидкості руху автопоїзда витрата палива на 23% менша у порівнянні з іншими варіантами ДВЗ. За комплексними показниками руху автопоїзда КрАЗ-5444+МТМ-9330 переважає 14-тиступінчаста КЗП, самоскида КрАЗ-7133С4 – 10-тиступінчаста КЗП. У порівнянні з базовою 8-миступінчастою КЗП: для сідельного тягача 14-тиступінчаста за технічною продуктивністю переважає на 2 %, а за паливно-

швидкісним показником переважає на 0,5 %, для самоскиду 10-тиступінчаста за технічною продуктивністю переважає на 6,5 %, а за паливно-швидкісним показником переважає на 11 %.

Виконані дослідження виявили потенціал для майбутніх теоретичних досліджень в частині вдосконалення процесу обґрунтування переобладнання силових агрегатів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прейгер Д. Транспортна інфраструктура України: стан і проблеми посткризового розвитку / Д. Прейгер // Економіка України – 2011. – №6. – С. 50-58.
2. Прокофьев М. В. Автомобильные транспортные средства. Международные требования к конструкции и эксплуатации / М. В. Прокофьев. – 2-е изд., изм. и доп. – М. : ТРИАДА ЛТД, 2005. – 120 с. – ISBN 5-86344-184-4.
3. Фаробин Я. Е., Шупляков В. С. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок. – М.: Транспорт, 1983,– 200 с.
4. Закон України «Про дорожній рух» № 3353-ХІІ зі змінами : [прийнятий Верховною Радою України та підписаний президентом України 30 червня 1993 р. : станом на 27.10.2022 р.]. – К.: Парламентське видавництво ДП, 1993. – 28 с. – (Актуальний закон).
5. Протасов С. Новинки от ZF. Коробки передач // Основные средства. №4, 2005. С. 80-82.
7. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля : Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Арістей, 2010, – 155 с. – ISBN 966-8458-38-9.
8. Рудасьов В. Б. та інші. Автомобіль: Теорія експлуатаційних властивостей: Навчальний посібник для ВУЗів. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2001, – 287 с.
9. Гришкевич А. И. Автомобили. Теория. Минск: Высшая школа, 1986, 207 с.
10. Кузьо І. В., Житенко О. В., Костельницька. Моделювання в системі MATLAB SIMULINK динаміки автомобіля з урахуванням тіла людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/12241>
11. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 33 с.

12. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.

13. Лиходій О. С. Обґрунтування вибору джерела енергії для вантажних автомобілів міжміського призначення / О. С. Лиходій, В. В. Богомолів, В. І. Ригальов // Наукові праці Міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції, присвяченої До дня автомобіліста та дорожника «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» 19-21 жовтня 2022 року. – Х : ХНАДУ, 2022, С. 13-15.

14. Методичні вказівки до виконання та захисту кваліфікаційної роботи студентів другого (магістерського) рівня освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання / Укладачі: Заренбін В. Г., Лиходій О. С., Колеснікова Т. М. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2020, 48 с.

15. Вимоги до оформлення кваліфікаційних робіт, курсових робіт (проектів), звітів з практик, контрольних робіт. Методичні вказівки для студентів ступеня бакалавра та магістра спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання / Укладачі: Заренбін В. Г., Лиходій О. С., Колеснікова Т. М. – Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2021. – 32 с.