

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури

**Пояснювальна записка
до дипломної роботи**

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Оптимізація силової установки автомобіля КрАЗ 63221 в спеціальних
випадках експлуатації»

ХАІ.107.163т.220.274. 9622655.ПЗ

Виконав: здобувач (ка) 2 курсу групи
№ 163т

Галузь знань 27 Транспорт
(код та найменування)

Спеціальність 274 «Автомобільний
транспорт»
(код та найменування)

Освітня програма Автомобілі та
автомобільне господарство
(найменування)

Голдобін В.О.
(прізвище та ініціали здобувача (ки))

Керівник: Болдовський В.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____.

Харків – 2022

ЛИСТ ЗАВДАННЯ

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 94 с., 42 рис., 37 табл., 12 джерел.

Мета роботи – дослідження та обґрунтування можливості переобладнання силової установки КрАЗ 63221 новими моделями двигунів.

Об'єкт дослідження – процес виконання оптимізація силової установки КрАЗ 63221.

Метод дослідження – порівняльний аналіз; теоретичні розрахунки, методи обробки результатів

У першому розділі дипломної роботи виконано розрахунок тягово-швидкісних характеристик на базі автомобіля КрАЗ 63221 САРМ-В з двигуном ЯМЗ-238ДЕ2 та двигуном Cummins ISL 360 50.

У другому розділі дипломної роботи виконано розрахунок тягово-швидкісних характеристик на базі автомобіля КрАЗ 63221 2С22 з двигуном WP12.400 E40 та ISX15 400.

У третьому розділі розраховано економічна ефективність проведення робіт по заміні двигуна ЯМЗ-238ДЕ2 на двигун Cummins ISL 360 50 на автомобілі КрАЗ 63221 САРМ-В.

**АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬ, КОЛІСНА САМОХІДНА
ГАУБИЦЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ**

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Оптимізація силової установки краз-63221 САРМ-В.....	7
1.1 Аналіз варіантів вирішення задачі.....	8
1.2 Вихідні дані для розрахунку.....	11
1.3 Визначення значення ККД трансмісії	13
1.4 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна ЯМЗ-238.....	14
1.5 Побудова графіків силового балансу	17
1.6 Оцінка показників розгону автомобіля	23
1.7 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля	29
1.8 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля	31
1.9 Вибір вихідних даних для пропонованого двигуна	33
1.10 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики пропонованого двигуна CUMMINS ISL 360 50.....	34
1.11 Побудова графіків силового балансу.....	37
1.12 Оцінка показників розгону автомобіля.....	42
1.13 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля.....	47
1.14 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля.....	49
1.15 Аналіз отриманих результатів	51
2 Модернізація силової установки колісної самохідної гаубиці на шасі КрАЗ 63221.....	52
2.1 Вихідні дані для розрахунку.....	52
2.2 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна WP12.400 E40.....	54
2.3 Побудова графіків силового балансу	56
2.4 Оцінка показників розгону автомобіля	62
2.5 Побудова графіка потужностного балансу автомобіля	67
2.6 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля	68
2.7 Вибір вихідних даних для пропонованого двигуна	70
2.8 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики пропонованого двигуна CUMMINS ISX15 400.....	72
2.9 Побудова графіків силового балансу.....	73
2.10 Оцінка показників розгону автомобіля.....	79
2.11 Побудова графіка потужностного балансу автомобіля.....	83

2.12 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля.....	85
3 Економічна частина.....	88
3.1 Розрахунок економічної доцільності модернізації аварійно-рятувального автомобіля на шасі КрАЗ 63221.....	88
3.2 Розрахунок річних витрат експлуатації двигуна ЯМЗ-238ДЕ2.....	89
3.3 Розрахунок річних витрат експлуатації двигуна CUMMINS ISL 360 50.....	90
3.4 Розрахунок точки початку економії.....	92
Висновки.....	93
Перелік посилань.....	94

ВСТУП

Зважаючи на сучасну геополітичну ситуацію виробництво автомобілів КрАЗ цивільного та військового сектору вимушене шукати варіанти рішень деяких проблем, пов'язаних з випуском нових транспортних засобів.

Основні проблеми, з якими стикається вітчизняне виробництво автомобілів:

- підвищення оборонної та мобілізаційної спроможності критичних та силових структур.

- виключення використання деталей, вузлів та агрегатів виробництва країн-агресорів та тих, що підтримують агресію та ескалацію військового конфлікту в бік України;

- поліпшення техніко-економічних показників автотранспорту;

- удосконалення технології виробничих процесів та модернізація наявного устаткування та парку автомобілів.

Звертаючись до відкритих джерел інформації про роботу автомобільного заводу КрАЗ маємо дані, що в 2014 році були спроби ввести двигун Cummins в виробництво, як основний, але пізніше все ж таки автомобілі КрАЗ виготовлялись с двигунами ЯМЗ, Cummins, Weichai.

У 2019 році підприємство Weichai уклало договір з білоруським заводом МАЗ про повну співпрацю та передало ліцензію на регіональне поширення продукції білоруському виробництву.

Наявний військовий конфлікт з російською федерацією та відкрита підтримка керівництва білорусі унеможлиблює співпрацю та «спонсорвання» виробничих потужностей країн-агресорів.

Беручи до уваги посилення партнерських відносин з керівництвом Сполучених Штатів Америки та інших західних партнерів є доцільним розгляд переведення автомобільного парку ЗСУ, МВС, МНС та інших структур на силові установки західного зразка, та випуск нових автомобілів з західними двигунами.

1 ОПТИМІЗАЦІЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ КрАЗ-63221 САРМ-В

В Україні налічується велика кількість спеціальної автомобільної техніки, що застосовується для виконання різних робіт з недопущення або для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, проведення аварійно-рятувальних робіт та багато іншого.

В дипломній роботі досліджується доцільність переобладнання аварійно-рятувального автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В, а саме, заміна силового агрегату з метою покращення тягово-швидкісних та екологічних показників цих автомобілів [8].

Для підготовки та обладнання спеціальних автомобілів використовується повнопривідний автомобіль-шасі підвищеної прохідності КрАЗ-63221 з колісною формулою 6х6, загальний вигляд якого представлено на рисунку 1.1.

Автомобіль-шасі КрАЗ-63221 є довгобазною модифікацією автомобіля КрАЗ-6322 і призначений для використання під монтаж різного обладнання та техніки [1, 2, 7].



Рисунок 1.1 – Автомобіль-шасі КрАЗ-63221

Основні габаритні розміри автомобіля-шасі КрАЗ-63221, представлено на рисунку 1.2.

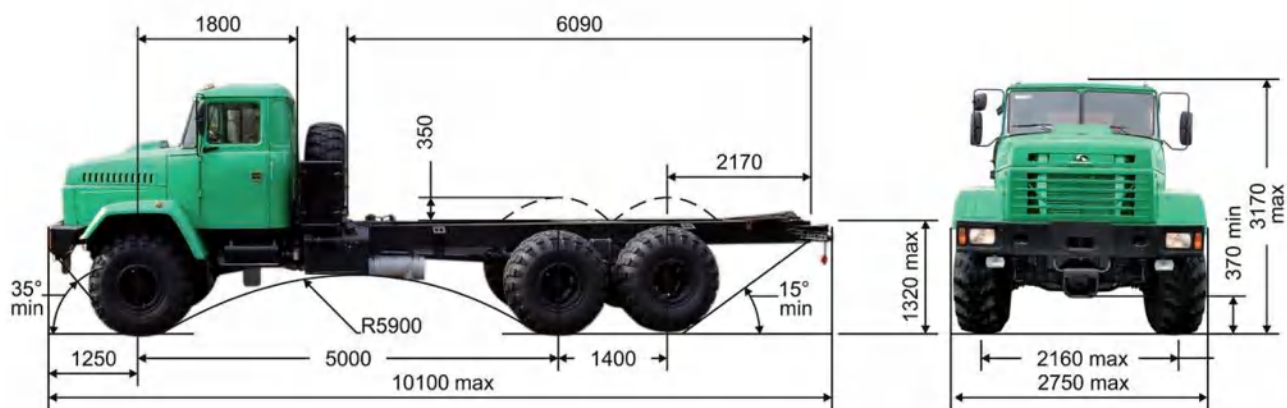


Рисунок 1.2 – Основні габаритні розміри автомобіля-шасі КрАЗ-63221

Загальний вигляд спеціального аварійно-рятувального автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В представлено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Аварійно-рятувальний автомобіль КрАЗ-63221 САРМ-В

КрАЗ-63221 САРМ-В – спеціальний аварійно-рятувальний автомобіль важкого типу призначений для:

– оперативної доставки екіпажу, спеціального обладнання та спорядження до місця виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру;

- забезпечення виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з пошуку та евакуації потерпілих з небезпечних місць і надання їм першої медичної допомоги;

- ліквідації локальних пожеж;

- ведення радіаційної та хімічної розвідки;

- здійснення зв'язку та оповіщення в ході ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, катастроф і стихійних лих.

Беручи до уваги те, що силова установка автомобілю, на базі якого було встановлене спеціальне обладнання розроблялась та модернізувалась в період з 1958 р. до 2008 р., то можна зробити висновок, що даний агрегат помітно поступається у своїх характеристиках, екологічності та у економічності експлуатації у порівнянні з більш сучасними моделями двигунів західних виробників.

Основні проблеми, з якими може зіткнутися технічний персонал при експлуатації даного автомобіля:

Технічні:

Як було вказано вище, технічні характеристики агрегату даного автомобіля вже застаріли, та не можуть скласти гідну конкуренцію більш новим та сучасним системам.

Логістичні:

Через збройну агресію російської федерації поставки та подальша співпраця з виробником двигунів, що раніше встановлювались на КрАЗ, а саме ЯМЗ неможлива, тому проблеми з забезпеченням вузлами та деталями неминучі.

Економічні:

До економічних можна віднести: подовжений ремонт, неякісні запчастини, більше ГММ неодмінно ведуть до підвищених фінансових витрат.

Тому у своїй дипломній роботі я аналізую можливі варіанти вирішення проблеми підвищення ефективності та заміну силової установки для використання спеціального аварійно-рятувального автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

1.1 Аналіз варіантів вирішення задачі

Придбання нового двигуна більш сучасної моделі та встановлення його на існуюче шасі.

Встановлюючи двигун нової моделі ми можемо розраховувати на підвищення характеристик автомобіля, більшу економічність та спрощення технічного обслуговування.

Тому розглянемо декілька варіантів двигунів, які запропоновані для заміни автомобілі КрАЗ-63221 САРМ-В:

CUMMINS ISB6.7E4 300;

CUMMINS ISL 340 50;

CUMMINS ISL 360 50;

CUMMINS ISL 400 50.

На автомобілі КрАЗ-63221 САРМ-В, що використовуються МНС на даний момент встановлений двигун ЯМЗ-238ДЕ2 потужністю 243 кВт, зважаючи на це буде нелогічним рішення вибору двигуна з ISB6.7E4 моделі потужністю 215 кВт з оглядом на те, що характеристики потужності та крутного моменту менші за стандартний двигун.

Якщо вибрати для переобладнання двигун моделі ISL 400 50, то ми отримаємо витрати пального на 4-6 л більше на 100 км ходу.

Обираючи між двигунами ISL 340 50 та ISL 360 50 буде логічним надати перевагу більш новій моделі яка має об'єм 8,9 л та 265 кВт потужності.

Переваги встановлення двигуна CUMMINS ISL 360 50 на автомобілі КрАЗ-63221 САРМ-В:

- відносно невисока вартість;
- простота переобладнання;
- швидкість переобладнання.

Недоліки:

- необхідність придбання нового обладнання;
- проведення нестандартної процедури заміни.

Проаналізувавши всі вищевказані варіанти пропоную обрати третій та зупинитися на встановленні двигуна CUMMINS ISL 360 50 з робочим об'ємом 8,9 л, потужністю 265кВт на шасі автомобіля КрАЗ-63221,

Для вибору двигуна, що задовольняє всі потреби для роботи аварійно-рятувального автомобіля та відповідає характеристикам теперешнього двигуна, або перевершує їх, наводжу з ймовірними варіантами [3]

Таблиця 1.1 – Перелік запропонованих двигунів

Модель двигуна	Потужність, кВт	Крутний момент, Н·м	Робочий об'єм двигуна, л	Частота обертання колінчастого валу, об/хв
ISB6.7E4 300	215	1087/1300	6,7	2500
ISL 340 50	252	1500/1400	8,9	2100
ISL 360 50	265	1550/1400	8,9	2100
ISL 400 50	294	1700/1400	8,9	2100
ЯМЗ 238	243	1274/1200	14,85	2100

Для перевірки можливості реалізації запропонованого рішення необхідно визначити початкові технічні параметри для автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

1.2 Вихідні дані для розрахунку

Тривалий час на автомобілі КрАЗ САРМ-В встановлювався двигун ЯМЗ-238ДЕ2, який має достатньо низькі тягово-швидкісні показники та високі витрати палива.

На рисунку 1.4 представлено загальний вигляд двигуна ЯМЗ-238ДЕ2.

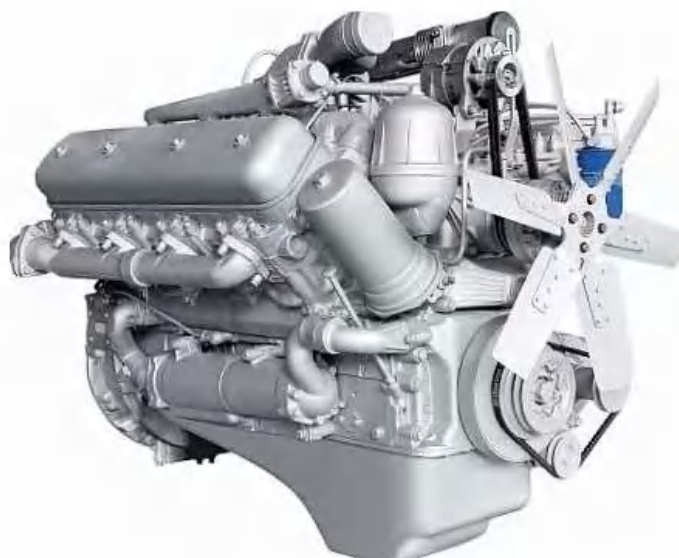


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд двигуна ЯМЗ 238ДЕ2

Для розрахунку характеристик автомобіля КрАЗ-63221 з двигуном ЯМЗ-238ДЕ2, прийемо наступні вихідні дані, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні дані для розрахунку автомобіля КраЗ-63221 з двигуном ЯМЗ-238ДЕ2

Вид автомобіля	-	вантажний	
Повна маса, кг	m	23000	
Марка і тип двигуна	-	ЯМЗ-238ДЕ2 (EURO-2) турбодизель	
Максимальна потужність, кВт	$N_{e_{max}}$	243	
Частота обертання валу двигуна при максимальній потужності, об/хв	$n_{N_{e_{max}}}$	2100	
Наявність обмежувача частоти	-	присутній	
Передавальні числа			
– коробки передач	першої передачі	U_{k1}	7,3
	другої передачі	U_{k2}	4,86
	третьої передачі	U_{k3}	3,50
	четвертої передачі	U_{k4}	2,48
	п'ятої передачі	U_{k5}	2,09
	шостої передачі	U_{k6}	1,39
	сьомої передачі	U_{k7}	1,00
	восьмої передачі	U_{k8}	0,71
– головної передачі	U_{k0}	8,173	
Тип застосовуваних шин		550/75R21	
Статичний радіус колеса, м	$R_{ст}$	0,679	
Габаритні розміри:			
– ширина, м	B	2,75	
– висота, м	H	3,15	
ККД трансмісії, %	η	0,80	

Таблиця 1.3 – Реальні значення основних параметрів двигуна ЯМЗ-238ДЕ2

Реальні значення основних параметрів		
Максимальний крутний момент двигуна, Н м	$M_{e_{max}}$	1274
Частота обертання валу двигуна при максимальному моменті, об/хв	n_M	1200

Якщо в технічній характеристиці автомобіля відсутні відомості по обмежувачу частоти обертання колінчастого валу двигуна, вважають, що обмежувач встановлюється на всі вантажні автомобілі та АТС на їх базі і не встановлюється на легкові автомобілі і АТС на їх базі.

Якщо головна передача розглянутого автомобіля має кілька передавальних чисел, то слід вибрати менше з них.

У зв'язку з великим різноманіттям видів деформації пневматичної шини її радіус немає одного певного значення, як у колеса з жорстким ободом.

Розрізняють такі радіуси колеса з пневматичною шиною:

статичний радіус – це відстань від осі нерухомого колеса до поверхні дороги. Він залежить від навантаження, що припадає на колесо, і тиску повітря в шині. Статичний радіус зменшується при зростанні навантаження і зниження тиску повітря в шині, і навпаки.

динамічний радіус – це відстань від осі колеса що котиться, до поверхні дороги.

Він залежить від навантаження, тиску повітря в шині, швидкості руху і моменту, що передається через колесо. Динамічний радіус зростає при збільшенні швидкості руху і зменшення переданого моменту, та навпаки.

1.3 Визначення значення ККД трансмісії

Різні типи шасі автомобільної техніки мають, як правило, значні конструктивні особливості.

Наприклад, вантажний автомобіль середньої вантажопідйомності може бути конструктивно виконаний з одним або двома ведучими мостами, може бути оснащений КПП з різною кількістю передач і різними передавальними відносинами.

Автомобіль може бути оснащений роздавальною коробкою або валом відбору потужності.

З огляду на різноманітність варіантів застосовуваних схем трансмісій, в цій роботі, визначення ККД трансмісії визначається за формулою враховує конструктивні особливості застосовуваного шасі [10]

$$\eta_{\text{тр}} = 0,98^z \cdot 0,97^k \cdot 0,995^n, \quad (1.1)$$

де z – число циліндричних, прямозубих і косозубих передач;

k – число конусних і гіпоїдних передач;

n – число карданних з'єдань.

З метою перевірки отриманого значення ККД трансмісії отримане за допомоги формули значення порівнюємо з середнім значеннями ККД трансмісії наведеними нижче

$$\eta_{\text{тр}}=0,98^3 \cdot 0,97^3 \cdot 0,995^6=0,80.$$

Для перевірки правильності розрахунку ККД трансмісії, порівняємо отримане значення зі стандартизованим – для вантажних автомобілів і АТС на їх базі з одинарної головної передачею 0,8...0,9.

1.4 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Швидкісною характеристикою двигуна називається залежність потужних, економічних, токсичних та інших показників двигуна від частоти обертання колінчастого валу при постійному положенні органу управління режимом його роботи.

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики поршневого двигуна внутрішнього згоряння використовують емпіричну формулу, що дозволяє по відомим координатам однієї точки швидкісної характеристики ($N_{e_{\max}}$ і n_N) відтворити всю криву потужності

$$N_e = N_{e_{\max}} \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - A_3 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (1.2)$$

де N_e , кВт – поточне значення потужності двигуна, відповідне частоті обертання колінчастого валу двигуна n , об/хв;

$N_{e_{\max}}$, кВт – максимальна потужність двигуна при частоті обертання n_N , об/хв;

n_N , об/хв – частота обертання колінчастого валу двигуна при максимальній потужності;

n , об/хв – поточна частота обертання колінчастого валу двигуна;

A_1 , A_2 , A_3 – емпіричні коефіцієнти, що характеризують тип двигуна внутрішнього згоряння.

Значення емпіричних коефіцієнтів:

– для дизельних двигунів $A_1 = 0,5$; $A_2 = 1,5$; $A_3 = 1$.

Для вибору поточного значення n діапазон частоти обертання валу двигуна від мінімально стійких оборотів розбиваємо на 8 довільних ділянок з постійним інтервалом Δn

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{8} \quad (1.3)$$

Таким чином, необхідні розрахунки для побудови графіка зовнішньої швидкісної характеристики двигуна виконуємо по дев'яти точках, відповідним різним значенням n з кроком Δn .

Мінімальну частоту обертання колінчастого вала вибирають з інтервалу $n_{min} = 400 \dots 800$ об/хв.

Менші значення приймають для дизельних двигунів, великі – для бензинових двигунів легкових автомобілів і АТС на їх базі, середні – для бензинових двигунів вантажних автомобілів та АТС на їх базі.

Мінімальну частоту обертання колінчастого валу приймаємо рівним $n_{min} = 750$ об/хв

$$\Delta n = \frac{2100 - 750}{8} = 225 \text{ об/хв} \quad (1.4)$$

Визначивши величину N_e для прийнятих значень n , обчислюємо відповідні значення крутного моменту двигуна, M_e

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n} \quad (1.5)$$

Результати розрахунків за формулами зводимо в таблицю 1.4 і будуємо зовнішню швидкісну характеристику двигуна $N_e = f(n)$ і $M_e = f(n)$.

При русі автомобіля тягова сила на ведучих колесах в кожен даний момент дорівнює сумі зовнішніх сил опору, тобто сумі силі опору коченню, силі опору повітря, силі опору підйому і силі опору розгону.

Якщо це рівність записати у вигляді формули, то отримаємо тяговий баланс автомобіля.

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна ЯМЗ-238Д2

Параметри	Значення параметрів						
	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
n , об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
$A_1 \cdot n / n_N$	0,357	0,464	0,571	0,679	0,786	0,893	1,000
$A_2 \cdot (n / n_N)^2$	0,128	0,216	0,327	0,460	0,617	0,797	1,000
$A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,046	0,100	0,187	0,312	0,485	0,712	1,000
$A_1 \cdot n / n_N + A_2 \cdot (n / n_N)^2 - A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,439	0,580	0,711	0,827	0,918	0,978	1,000
N_e , кВт	106,71	140,88	172,86	200,86	223,07	237,72	243,00
M_e , Н·м	1358,8	1379,9	1375,7	1346,1	1291,1	1210,8	1105,1

Тяговий баланс автомобіля – це сукупність графіків залежності сили тяги на ведучих колесах F_k , (Н) (на різних передачах), а також суми сил опору коченню F_f , (Н) і повітря F_w , (Н), від швидкості руху автомобіля V_a , (км / год).

Графіки сил тяги на колесах автомобіля – $F_k i = f(V_a)$ будують для всіх ступенів – i в основний коробці передач.

Максимальна тягова сила досягається на першій передачі. На кожній з передач тягова сила має максимальне значення при певній швидкості, знижуючись далі з підвищенням швидкості руху.

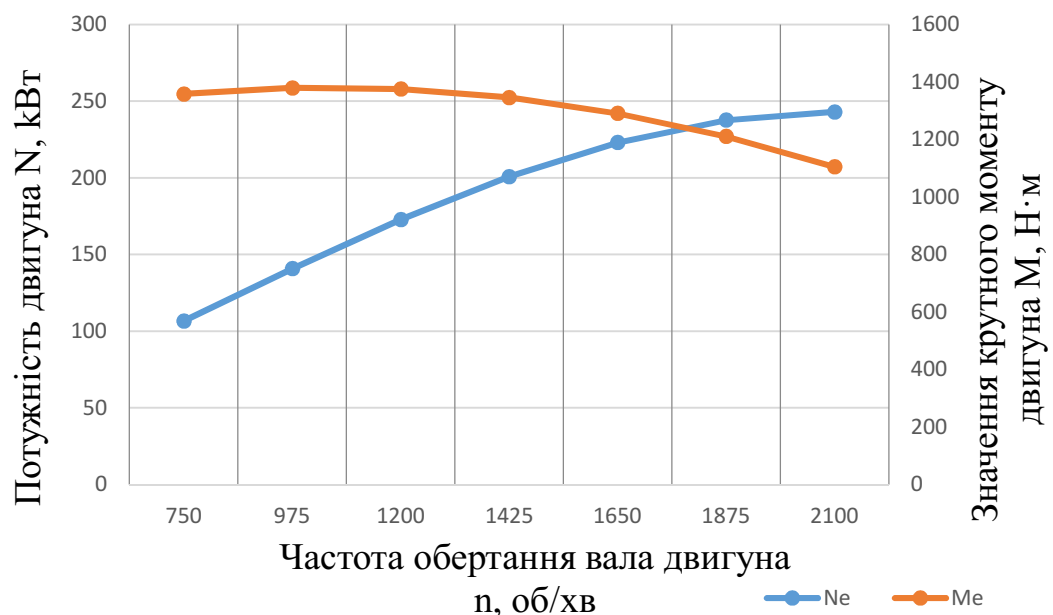


Рисунок 1.5 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

З рисунку 1.5 можна визначити, що розрахункова максимальна потужність складає 243 кВт, максимальний крутний момент 1358,8 Н·м.

1.5 Побудова графіків силового балансу

Для побудови графіків силового балансу послідовно, для всіх передач і швидкостей руху автомобіля, за формулою (1.6) розраховується значення всіх складових рівняння силового балансу автомобіля:

$$P_k - P_\psi - P_W - P_j = 0, \quad (1.6)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах, Н;

P_ψ – сила сумарного дорожнього опору, Н;

P_W – сила опору повітря, Н;

P_j – сила опору розгону, Н.

Рівняння силового балансу автомобіля висловлює співвідношення між тяговою силою на провідних колесах і силами опору пересування автомобіля.

Тягове зусилля на провідних колесах P_k визначають з виразу

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_o \cdot \eta}{r_d}, \quad (1.7)$$

де r_d – динамічний радіус колеса, в нормальних умовах руху приймають рівним r_{cm} , м;

M_e – крутний момент двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі;

η – ККД трансмісії автомобіля.

Друга складова рівняння силового балансу – сила сумарного дорожнього опору визначається за формулою

$$P_\psi = \Psi \cdot G, \quad (1.8)$$

де $G = g \cdot m$ – повна вага автомобіля, Н;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

m – маса автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору.

З огляду на швидкісний режим встановлений при експлуатації зразків автомобільної аеродромної техніки в розрахунках не враховується вплив швидкості руху на зміну коефіцієнта опору коченню. У зв'язку з цим для подальших розрахунків приймаємо $\psi = \text{const}$.

Для розрахункового випадку сила сумарного дорожнього опору автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В для розглянутих умов становить:

$$G = 9,8 \cdot 23000 = 225400 \text{ Н};$$

$$\text{Заданий } \psi = 0,02;$$

$$P_{\psi} = 0,02 \cdot 225400 = 4508 \text{ Н}.$$

Третя складова рівняння силового балансу автомобіля – сила опору повітря, визначається згідно з формулою

$$P_W = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2}, \quad (1.9)$$

де F – лобова площа автомобіля, м^2 ;

V – швидкість автомобіля, км/год ;

k – коефіцієнт опору повітря.

Лобову площу автомобіля F визначається за спрощеною формулою

$$F = \alpha \cdot B \cdot H, \quad (1.10)$$

де B – ширина автомобіля;

H – висота автомобіля;

α – коефіцієнт заповнення площі.

Коефіцієнт заповнення площі α залежить від геометричних особливостей конструкції автомобіля і у разі, коли точне визначення лобової площі автомобіля неможливо, приймаються наступні значення коефіцієнта заповнення форми для вантажних з кузовом фургон і автобусів – 0,8.

Для наведеного розрахункового випадку лобова площа автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В визначається як

$$F = 0,8 \cdot 2,75 \cdot 3,15 = 6,93 \text{ м}^2$$

де коефіцієнт заповнення площі – 0,8;

ширина автомобіля – 2,75 м;

висота автомобіля – 3,15 м.

Для точного визначення лобової площі автомобіля і обґрунтованого вибору значення коефіцієнта опору повітря k виконується схематичне креслення досліджуваного зразка автомобіля. На кресленні повинні бути присутніми необхідні види автомобіля, з зазначенням всіх розмірів які дозволяють отримати точні дані для визначення лобової площі автомобіля і коректного вибору коефіцієнта опору повітря k .

Для побудови і подальшого аналізу графіків силового балансу величина P_j визначається як різниця тягового зусилля P_{ki} суми опорів руху $P_\psi + P_w$.

$$P_j = P_k - (P_\psi + P_w). \quad (1.11)$$

Графік силового балансу і всі наступні графіки будують як функції швидкості автомобіля V , км/год, яка безпосередньо пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна n наступною залежністю

$$V = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{u_{ki} \cdot u_0}, \quad (1.12)$$

де r_{do} – радіус кочення колеса, м, рівний за відсутності прослизання статичному радіусу R_{cm} ;

n – поточна частота обертання колінчастого вала двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП;

u_0 – передавальне відношення головної передачі.

Динамічний фактор автомобіля D послідовно визначається для всіх передач і швидкостей руху по формулі

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (1.13)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах;

P_w – сила опору повітря;

G – повна маса автомобіля.

Значення динамічного фактора по тязі дозволяє судити про тягово-швидкісні властивості конкретного автомобіля при різних навантаженнях і порівнювати тягово-швидкісні властивості різних автомобілів. При цьому чим більше динамічний фактор по тязі, тим краще тягово-швидкісні властивості та

вище прохідність автомобіля: він здатний розвивати великі прискорення, долати більш круті підйоми і буксирувати причепа більшої маси.

Максимальні значення динамічного фактора по тязі складають 0,3 ... 0,45 для автомобілів обмеженою прохідності і 0,6...0,8 – для автомобілів високої прохідності.

Динамічний фактор по тязі часто називають просто динамічним фактором.

Змінні по швидкості значення величин P_k , P_w і D необхідно розрахувати за відповідними формулами (1.7), (1.9), (1.12) і звести в таблицю 1.5, За розрахованими величинами будуються графіки силового балансу автомобіля і графік динамічної характеристики автомобіля.

Постійні величини в формулах для спрощення розрахунків доцільно привести до загальних коефіцієнтів.

Так, в пропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В загальний коефіцієнт для розрахунку тягового зусилля складе:

- для тягового зусилля на першій передачі $P_{k1} = 70,30 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на другій передачі $P_{k2} = 46,80 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на третій передачі $P_{k3} = 33,70 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на четвертій передачі $P_{k4} = 23,88 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на п'ятій передачі $P_{k5} = 20,13 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на шостій передачі $P_{k6} = 13,38 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на сьомій передачі $P_{k7} = 9,63 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на восьмій передачі $P_{k8} = 6,84 \cdot Me$.

Для розрахунку швидкості V_i автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В, загальні коефіцієнти для різних передач відповідно складуть:

- для першої передачі $V_1 = 0,0043 \cdot n$;
- для другої передачі $V_2 = 0,0064 \cdot n$;
- для третьої передачі $V_3 = 0,0089 \cdot n$;
- для четвертої передачі $V_4 = 0,0129 \cdot n$;
- для п'ятої передачі $V_5 = 0,0150 \cdot n$;
- для шостої передачі $V_6 = 0,0225 \cdot n$;
- для сьомої передачі $V_7 = 0,0313 \cdot n$;
- для восьмої передачі $V_8 = 0,0441 \cdot n$.

Для сили опору повітря відповідно загальний коефіцієнт складе

$$P_w = 0,374 \cdot V_i. \quad (1.14)$$

Для подальшої побудови графіка силового балансу автомобіля розраховується сума $P_{\psi} + P_w$, яка залежить від швидкості і не залежить від передавального числа коробки передач.

Таблиця 1.5 – Розрахунок величин силового балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
n,об	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
Me,Н·м	1359	1380	1376	1346	1291	1211	1105
V1, км/год	3,2	4,2	5,1	6,1	7,1	8,0	9,0
Pk1, Н	95516	97002	96705	94624	90760	85112	77681
Pw1,Н	4	7	10	14	19	24	30
Pk1-Pw1,Н	95512	96996	96695	94610	90741	85088	77651
D1	0,424	0,430	0,429	0,420	0,403	0,377	0,345
V2, км/год	4,8	6,3	7,7	9,2	10,6	12,1	13,5
Pk2, Н	63590	64580	64382	62996	60424	56664	51716
Pw2, Н	9	15	22	32	42	55	69
Pk2-Pw2, Н	63581	64565	64359	62965	60381	56609	51648
D2	0,282	0,286	0,286	0,279	0,268	0,251	0,229
V3, км/год	6,7	8,7	10,7	12,8	14,8	16,8	18,8
Pk3, Н	45795	46508	46365	45368	43515	40807	37244
Pw3, Н	17	28	43	61	82	105	132
Pk3-Pw3, Н	45778	46479	46322	45307	43433	40702	37112
D3	0,203	0,206	0,206	0,201	0,193	0,181	0,165
V4, км/год	9,5	12,3	15,2	18,0	20,8	23,7	26,5
Pk4, Н	32449	32954	32853	32146	30834	28915	26390
Pw4, Н	34	57	86	121	163	210	263
Pk4-Pw4, Н	32416	32897	32767	32025	30671	28705	26127
D4	0,144	0,146	0,145	0,142	0,136	0,127	0,116
V5, км/год	11,2	14,6	18,0	21,4	24,7	28,1	31,5
Pk5, Н	27346	27772	27687	27091	25985	24368	22240
Pw5,Н	47	80	121	171	229	296	371
Pk5-Pw5,Н	27299	27692	27566	26920	25756	24072	21869
D5	0,121	0,123	0,122	0,119	0,114	0,107	0,097
V6, км/год	16,9	22,0	27,0	32,1	37,2	42,2	47,3
Pk6, Н	18187	18470	18414	18017	17282	16206	14791

Продовження таблиці 1.5

$P_{w6}, Н$	107	181	274	386	517	668	838
$P_{k6}-P_{w6}, Н$	18080	18290	18140	17632	16764	15538	13953
D_6	0,080	0,081	0,080	0,078	0,074	0,069	0,062
$V_7, км/год$	23,5	30,5	37,6	44,6	51,7	58,7	65,8
$P_{k7}, Н$	13084	13288	13247	12962	12433	11659	10641
$P_{w7}, Н$	207	349	529	746	1000	1291	1619
$P_{k7}-P_{w7}, Н$	12878	12939	12719	12217	11433	10368	9022
D_7	0,057	0,057	0,056	0,054	0,051	0,046	0,040
$V_8, км/год$	33,1	43,0	52,9	62,9	72,8	82,7	92,6
$P_{k8}, Н$	9290	9434	9406	9203	8827	8278	7555
$P_{w8}, Н$	410	692	1049	1479	1983	2561	3212
$P_{k8}-P_{w8}, Н$	8880	8742	8357	7724	6844	5717	4343
D_8	0,039	0,039	0,037	0,034	0,030	0,025	0,019
P_{ψ}	4508	4508	4508	4508	4508	4508	4508
$P_{w+P_{\psi}}$	4918	5200	5557	5987	6491	7069	7720

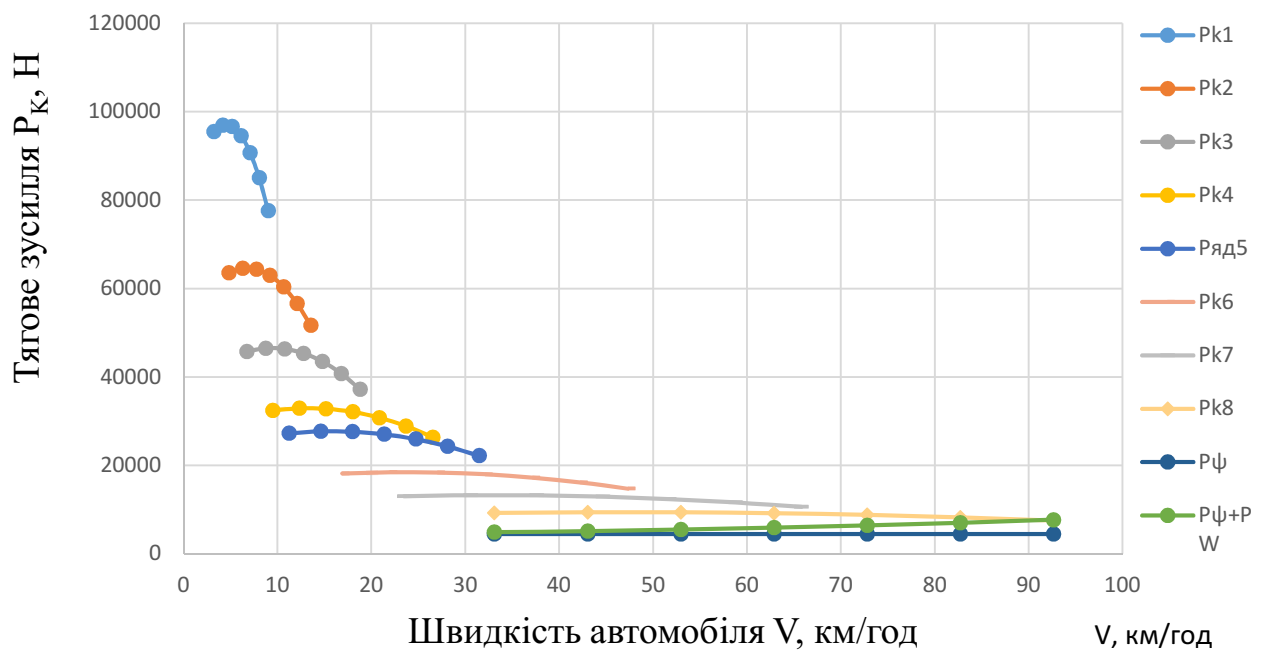


Рисунок 1.6 – Графік силового балансу автомобіля

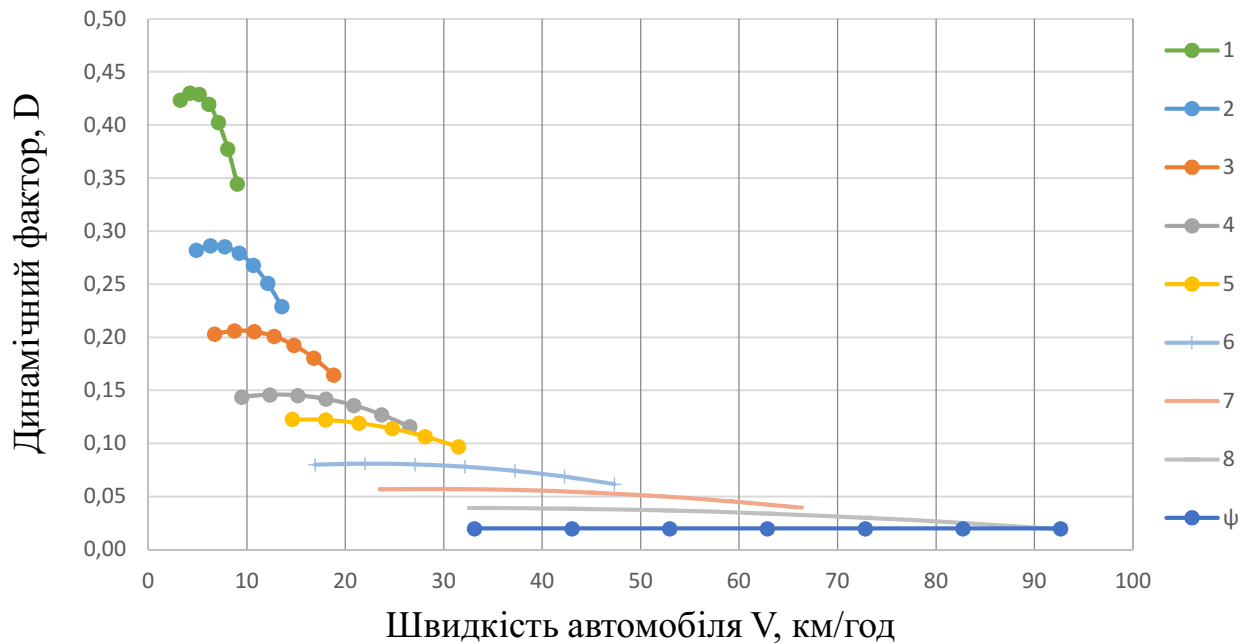


Рисунок 1.7 – Графік динамічної характеристики автомобіля

З урахуванням цієї обставини пропонується в роботі розрахунок виконуватися стосовно швидкостям, відповідним вищій передачі автомобіля.

1.6 Оцінка показників розгону автомобіля

Показники розгону автомобіля є графіки прискорень, часу та шляху розгону як функції швидкості автомобіля.

Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D , використовують формулу

$$j = \frac{(D - \psi) \cdot g}{\delta}, \quad (1.15)$$

де D – динамічний фактор автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

g – прискорення вільного падіння;

δi – коефіцієнт впливу обертових мас.

Коефіцієнт впливу обертових мас, визначається послідовно для кожної передачі виходячи з такою залежністю

$$\delta i \approx 1,04 + 0,04 \cdot u_{ki}^2, \quad (1.16)$$

де u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП.

У пропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В обчислені для зручності розрахунків за формулою (1.16) значення коефіцієнта впливу обертових мас складають:

для першої передачі $\delta_1 = 3,17$;

для другої передачі $\delta_2 = 1,98$;

для третьої передачі $\delta_3 = 1,53$;

для четвертої передачі $\delta_4 = 1,29$;

для п'ятої передачі $\delta_5 = 1,21$;

для шостої передачі $\delta_6 = 1,12$;

для сьомої передачі $\delta_7 = 1,08$;

для восьмої передачі $\delta_8 = 1,06$,

Отримані розрахункові дані, необхідні для побудови графіка прискорень, зводяться в таблицю 1.6. У таблиці також наводяться значення величин, зворотних прискоренню, які будуть використані для побудови графіка визначення часу розгону автомобіля КрАЗ САРМ-В.

За даними таблиці 1.6 будуються графіки прискорень і графік величин, зворотних прискоренню.

Для спрощення розрахунків переведемо V із [км/год] у [м/с] і побудуємо графік. Перекладаємо по наступній формулі

$$V_{\text{м/с}} = \frac{V_{\text{км/ч}}}{3,6} \quad (1.17)$$

У разі побудови графіків прискорень і величин зворотних прискоренню для розглянутого випадку руху автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В дані значення визначаємо як $V_{\text{max}} = 82,71$ км/год.

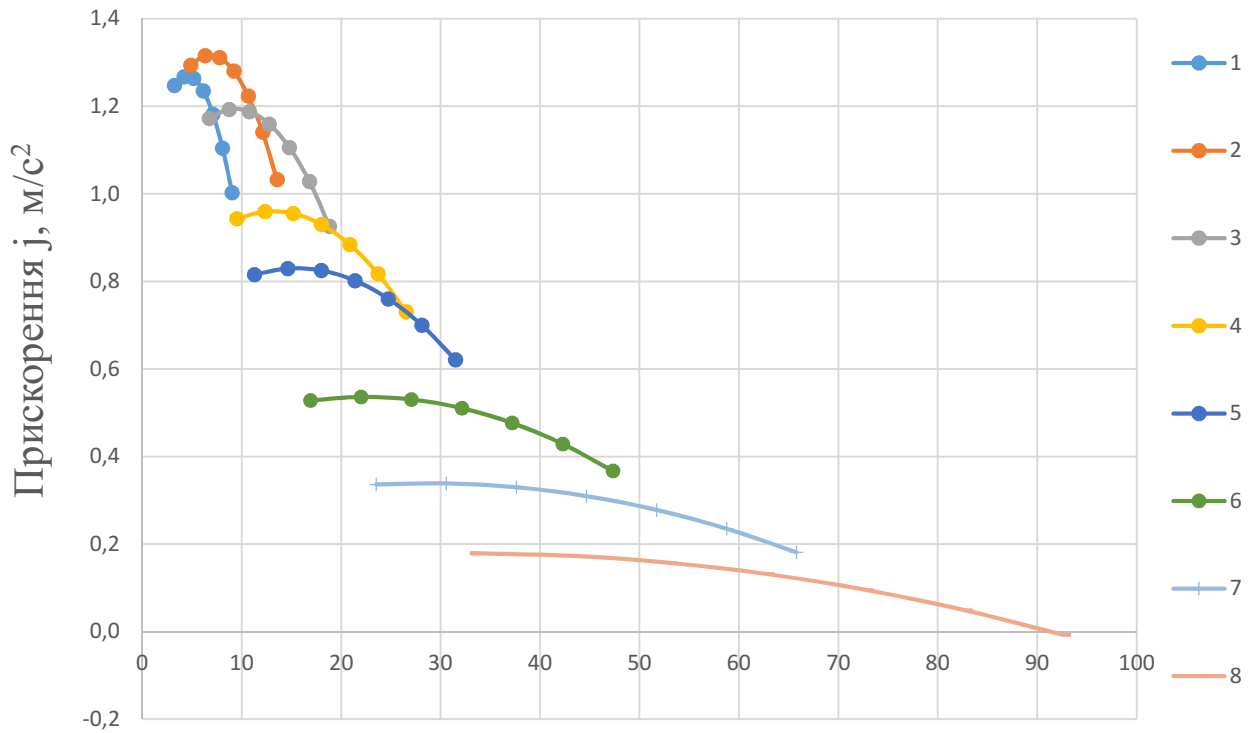
Таблиця 1.6 – Величини необхідні для побудови графіків прискорень і зворотніх прискоренню

Параметри	Значення параметрів						
n, об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
V1, км/ч	3,22	4,18	5,15	6,11	7,08	8,04	9,01
D1	0,42	0,43	0,43	0,42	0,40	0,38	0,34
D1-ψ	0,40	0,41	0,41	0,40	0,38	0,36	0,32
j1, м/с ²	1,25	1,27	1,26	1,24	1,18	1,10	1,00
1/j1, с ² /м	0,80	0,79	0,79	0,81	0,85	0,91	1,00

Продовження таблиці 1.6

V2, км/год	4,83	6,28	7,73	9,18	10,63	12,08	13,53
D2	0,28	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23
D2- ψ	0,26	0,27	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21
j2, м/с ²	1,29	1,32	1,31	1,28	1,22	1,14	1,03
1/j2, с ² /м	0,77	0,76	0,76	0,78	0,82	0,88	0,97
V3, км/год	6,71	8,73	10,74	12,75	14,77	16,78	18,79
D3	0,20	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16
D3- ψ	0,18	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14
j3, м/с ²	1,17	1,19	1,19	1,16	1,11	1,03	0,93
1/j3, с ² /м	0,85	0,84	0,84	0,86	0,90	0,97	1,08
V4, км/год	9,47	12,31	15,16	18,00	20,84	23,68	26,52
D4	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12
D4- ψ	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10
j4, м/с ²	0,94	0,96	0,96	0,93	0,88	0,82	0,73
1/j4, с ² /м	1,06	1,04	1,05	1,07	1,13	1,22	1,37
V5, км/год	11,24	14,61	17,98	21,35	24,73	28,10	31,47
D5	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10
D5- ψ	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08
j5, м/с ²	0,82	0,83	0,83	0,80	0,76	0,70	0,62
1/j5, с ² /м	1,23	1,21	1,21	1,25	1,31	1,43	1,61
V6, км/год	16,90	21,97	27,04	32,11	37,18	42,25	47,32
D6	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06
D6- ψ	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
j6, м/с ²	0,53	0,54	0,53	0,51	0,48	0,43	0,37
1/j6, с ² /м	1,89	1,86	1,89	1,96	2,10	2,33	2,72
V7, км/год	23,49	30,54	37,58	44,63	51,68	58,73	65,77
D7	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04
D7- ψ	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
j7, м/с ²	0,34	0,34	0,33	0,31	0,28	0,24	0,18
1/j7, с ² /м	2,97	2,95	3,03	3,22	3,59	4,24	5,50
V8, км/год	33,09	43,01	52,94	62,86	72,79	82,71	92,64
D8	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
D8- ψ	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
j8, м/с ²	0,18	0,17	0,16	0,13	0,10	0,05	-0,01

Даною швидкості відповідають значення $j = 0,05 \text{ м / с}^2$ і $1 / j = 20,16 \text{ с}^2/\text{м}$.



Швидкість автомобіля V, км/год

Рисунок 1.8 – Графік прискорень автомобіля

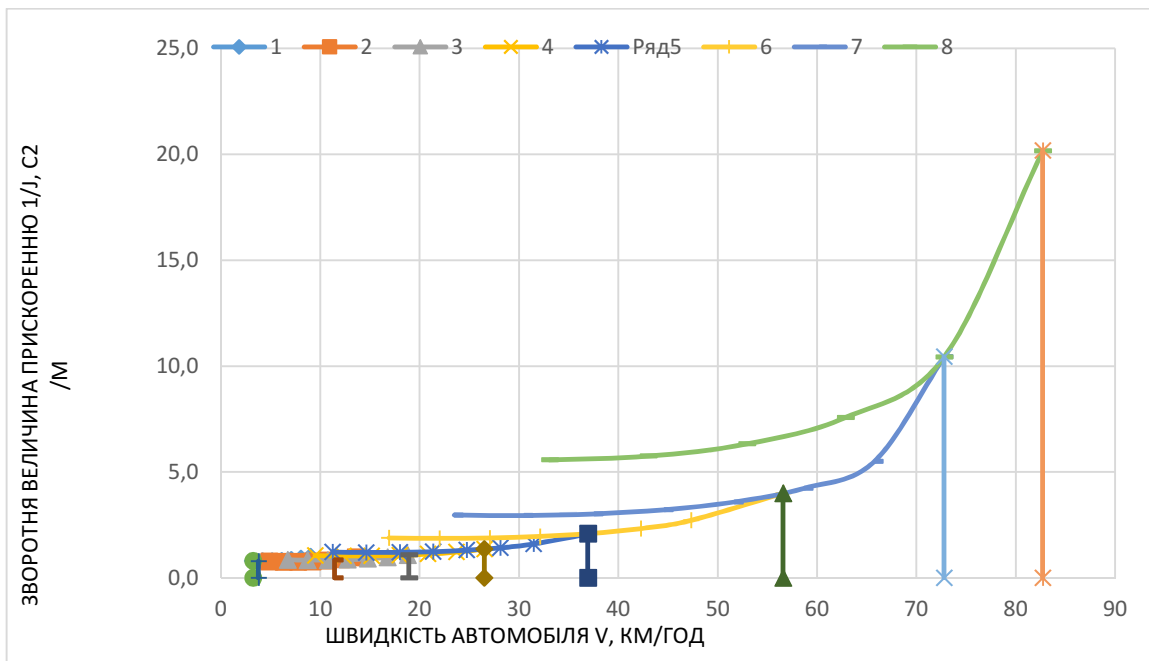


Рисунок 1.9 – Графік величин, які обернені прискоренням автомобіля

Час розгону автомобіля визначається як інтеграл функції: для цього площа під кривими $1/j = f(V)$ в інтервалі від V_{\min} до $\sim 0,9 \cdot V_{\max}$ для отримання більш точного графіка розбивають на 9 довільних ділянок.

Час розгону автомобіля на i -й ділянці t_i (с) від швидкості V_i до V_{i+1} визначається як добуток площі F_{ti} на масштаби по осях абсцис і ординат.

$$t_i = m_{\frac{1}{j}} \cdot m_V \cdot F_{ti} = 1 \cdot 1 \cdot F_{ti}, \quad (1.18)$$

де $m_{1/j}$ – обраний масштаб для величин що зворотні прискоренню;

m_V – масштаби швидкості;

F_{ti} – площа i -тої ділянки на графіку величин, зворотних прискорень.

Підрахунок площі ділянок та дедалі більшої суми площ за формулою (1.18) дозволяє визначити час розгону. Результати розрахунків необхідно звести в таблицю 1.7 і за отриманими значеннями побудувати графік часу розгону автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунків часу розгону

Параметри	Значення параметрів								
	$V, \text{ км/год}$	3,22	3,77	11,42	18,92	26,50	36,92	56,58	72,79
$F_{fi}, \text{ м}^2$	0,00	2,19	29,86	34,96	45,51	86,42	274,66	520,95	644,26
$S_{Fti}, \text{ м}^2$	0,00	2,19	32,05	67,01	112,52	198,94	473,60	994,55	1638,8
$t, \text{ с}$	0,00	0,12	1,78	3,72	6,25	11,05	26,31	55,25	91,05

Для цього площа над кривою $t = f(V)$ в інтервалі від V_{\min} до $\sim 0,9 \cdot V_{\max}$ розбиваю на 8 довільних ділянок. Кожна ділянка обмежений частиною осі ординат (t), частиною кривої $t = f(V)$ і абсцисами точок цієї кривої, відповідних початковій і кінцевій швидкостям обраного інтервалу. Площі цих ділянок є в певному масштабі шлях розгону у відповідному інтервалі швидкостей на даній дорозі.

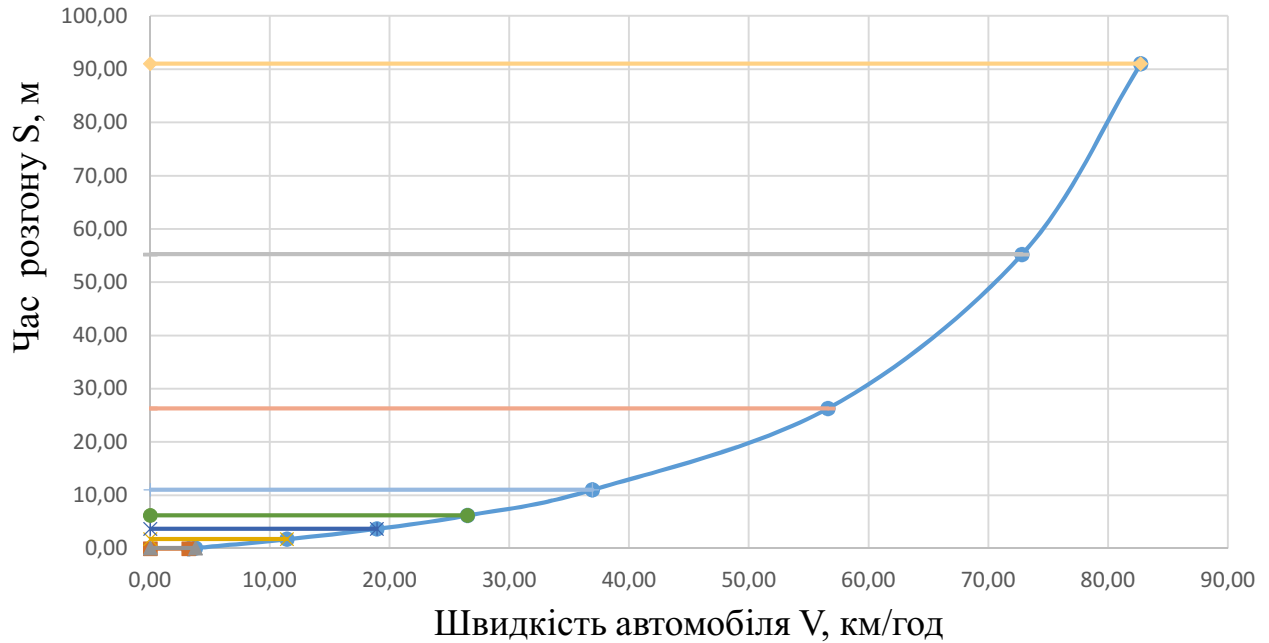


Рисунок 1.10 – Графік часу розгону АТС

Шлях розгону автомобіля на i -тому ділянці S_i (м) від швидкості V_i до V_{i+1} визначається як добуток площі F_{si} на масштаби по осі абсциси і осі ординати.

$$S_i = m_t \cdot m_V \cdot F_{si} = 1 \cdot 1 \cdot F_{si}, \quad (1.19)$$

де m_t [с/мм] – масштаб часу;

F_{si} – площа разом ділянки на графіку $t = f(V)$, мм².

Таблиця 1.8 – Результати розрахунків шляху розгону

Параметри	Розрахункові значення параметрів								
V, км/год	3,22	3,77	11,42	18,92	26,50	36,92	56,58	72,79	82,71
F_{si} , мм ²	0	0,41	10,22	29,71	57,88	153,71	729,96	1927,42	2834,52
ΣF_s мм ²	0	0,41	10,63	40,34	98,22	251,93	981,89	2909,31	5743,83
S, м	0	0,11	2,95	11,21	27,28	69,98	272,75	808,14	1595,51

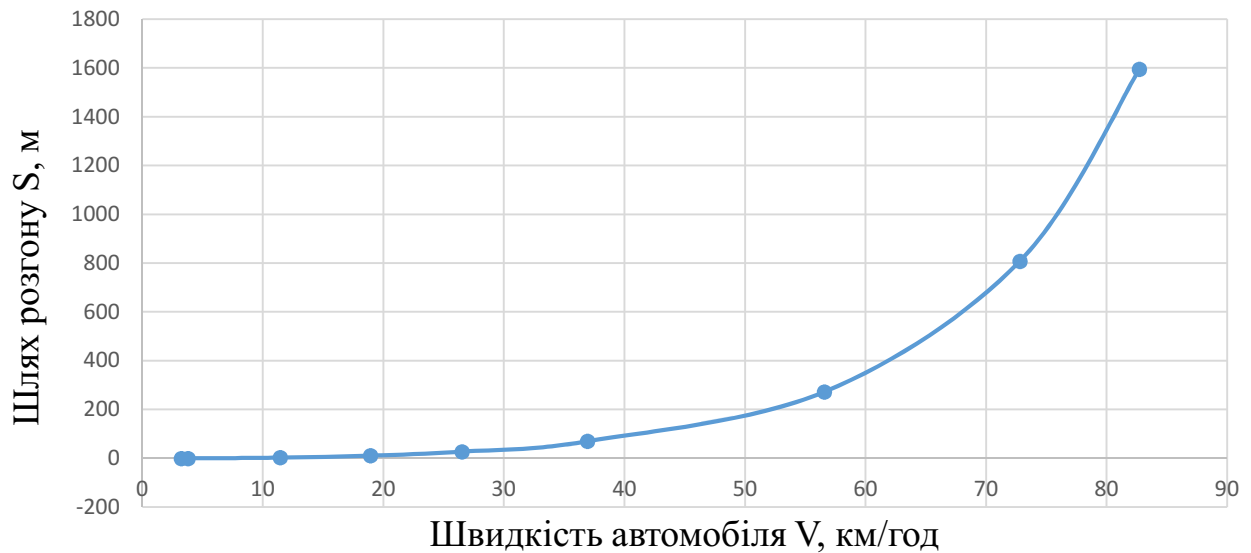


Рисунок 1.11 – Графік шляху розгону АТС

За результатами підрахунку площі ділянок та дедалі більшої суми площ, за формулою (1.19), розраховується шлях розгону автомобіля S . Результати розрахунків зводяться в таблицю 1.8 і будується графік шляху розгону автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

1.7 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля

Рівняння потужнісного балансу показує, як розподіляється потужність підводиться до ведучих коліс автомобіля для подолання різних опорів руху.

Рівняння балансу потужності двигуна можуть бути виражене через потужність на колесах N_k

$$N_k - N_\psi - N_W - N_j = 0, \quad (1.20)$$

де N_k – потужність, ведучих коліс;

N_ψ , – потужність, що витрачається на подолання сумарних дорожніх опорів;

N_W – потужність, що витрачається на подолання опору повітря;

N_j – потужність, яка використовується для розгону.

Спочатку обчислюється потужність на ведучих колесах N_k . Цю величину визначають через потужність N_e , розвивається на колінчастому валу двигуна, з урахуванням потер в трансмісії

$$N_k = N_e \cdot \eta. \quad (1.21)$$

Значення потужностей N_ψ і N_w розраховуються з використанням величин P_ψ і P_w , для вищої передачі з метою забезпечення всього діапазону швидкостей руху автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В

$$N_\psi = \frac{P_\psi \cdot V}{3600}. \quad (1.22)$$

$$N_w = \frac{P_w \cdot V}{3600}. \quad (1.23)$$

Отримані значення величин N_ψ і N_w підсумовуємо.

З таблиці вибираються відповідні значення швидкостей руху автомобіля на всіх передачах, які відповідають прийнятим раніше величинам частоти обертання колінчастого валу двигуна.

Дані розрахунки зводяться в таблицю і по ним будується графік потужностного балансу автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

Таблиця 1.9 – Величини потужнісного балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
n , об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
N_e , кВт	107	141	173	201	223	238	243
N_k , кВт	85	113	138	161	178	190	194
V_1 , кВт	3,22	4,18	5,15	6,11	7,08	8,04	9,01
V_2 , кВт	4,83	6,28	7,73	9,18	10,63	12,08	13,53
V_3 , кВт	6,71	8,73	10,74	12,75	14,77	16,78	18,79
V_4 , кВт	9,47	12,31	15,16	18,00	20,84	23,68	26,52
V_5 , кВт	11,24	14,61	17,98	21,35	24,73	28,10	31,47
V_6 , кВт	16,90	21,97	27,04	32,11	37,18	42,25	47,32
V_7 , кВт	23,49	30,54	37,58	44,63	51,68	58,73	65,77
V_8 , кВт	33,09	43,01	52,94	62,86	72,79	82,71	92,64
N_ψ , кВт	41,43	53,86	66,29	78,72	91,15	103,57	116,00
N_w , кВт	3,77	8,27	15,42	25,83	40,09	58,84	82,66
$N_\psi + N_w$, кВт	45,20	62,13	81,71	104,54	131,24	162,41	198,66

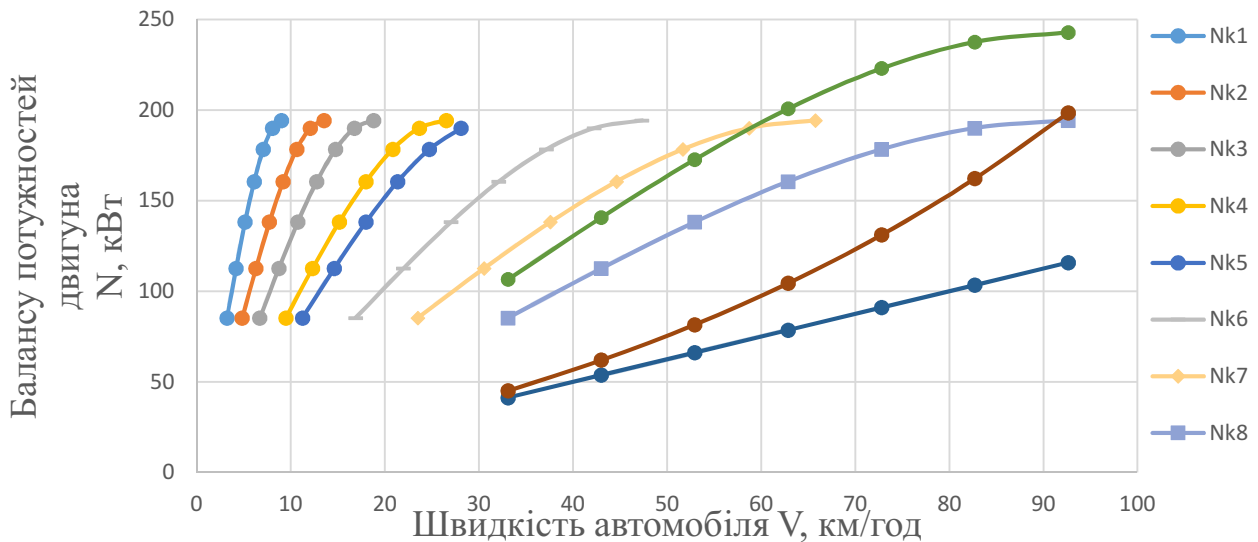


Рисунок 1.12 – Графік потужнісного балансу автомобіля

На графіку потужнісного балансу будують такі залежності потужностей від швидкості руху автомобіля:

- $N_e = f(V)$ – тільки для вищої передачі;
- $N_k = f(V)$ – для всіх передач;
- $N_\psi = f(V)$
- $N_\psi + N_W = f(V)$.

1.8 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля

Згідно зовнішньої швидкісної характеристики двигуна $M_{emax} = 1274$ Н·м, розраховане значення трохи більше реального значення, а $n_M = 1200$ об/хв менше реального значення.

За отриманими значеннями M_{emax} і M_N визначається коефіцієнт пристосовності двигуна

$$K_{пр} = \frac{M_{emax}}{M_N} = \frac{1380}{1274} = 1,08 \quad (1.24)$$

Коефіцієнт пристосовності характеризує здатність двигуна долати тимчасово зростаючий опір руху без переходу на нижчу передачу.

За отриманим графіком силового балансу визначається максимально можлива швидкість руху автомобіля V_{max} для заданих дорожніх умов (ψ).

Максимально можлива швидкість визначається також за графіком динамічної характеристики, графіку прискорень і графіку потужнісного

балансу автомобіля. При правильній побудові графіків отримані максимальні значення швидкості повинні бути однаковими на всіх графіках.

За динамічної характеристики автомобіля для кожної передачі визначаю максимальне дорожнє опір ψ_{maxi} , Яке може подолати автомобіль, критичну швидкість $V_{кр}$ і максимальний може здолати поздовжній ухил дороги i_{max} при коефіцієнті опору коченню $f = 0,02$ (асфальтована дорога).

Максимальний поздовжній ухил дороги який може здолати автомобіль визначається за формулою (1.25)

$$i_{max} = \psi_{max} - f. \quad (1.25)$$

Для зручності сприйняття отримане значення максимального подоланого ухилу видається в процентах

Певні в нашому розрахунковому випадку для автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В перераховані параметри складають:

M_{emax}	1379,93 Н·м	f	0,02
M_N	1274 Н·м	$V_{кр1}$	4,183 км/с
ψ_{max1}	0,430	$V_{кр2}$	6,3 км/с
ψ_{max2}	0,286	$V_{кр3}$	8,7 км/с
ψ_{max3}	0,206	$V_{кр4}$	12,3 км/с
ψ_{max4}	0,146	$V_{кр5}$	14,6 км/с
ψ_{max5}	0,123	$V_{кр6}$	22,0 км/с
ψ_{max6}	0,081	$V_{кр7}$	30,54 км/с
ψ_{max7}	0,057	$V_{кр8}$	33,09 км/с
ψ_{max8}	0,039		

i_{max1}	0,410	41,0%
i_{max2}	0,266	26,6%
i_{max3}	0,186	18,6%
i_{max4}	0,126	12,6%
i_{max5}	0,103	10,3%
i_{max6}	0,061	6,1%
i_{max7}	0,037	3,7%
i_{max8}	0,019	1,9%

Для перевірки доцільності модернізації САРМ-В виконаного на шасі автомобіля КрАЗ-63221 побудуємо графіки ЗШХД для подальшого аналізу використання в якості силової установки пропонованого двигуна.

1.9 Вихідні дані для розрахунку

З метою покращення тягово-швидкісних та потужнісних, а також екологічних показників автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В буде виконано встановлення двигуна CUMMINS ISL 360 50 [4]. Виробництво двигунів Cummins серії L тривало протягом з 1999 по 2007 рік. Загальний вигляд двигуна CUMMINS ISL 360 50 представлено на рисунку 1.13.

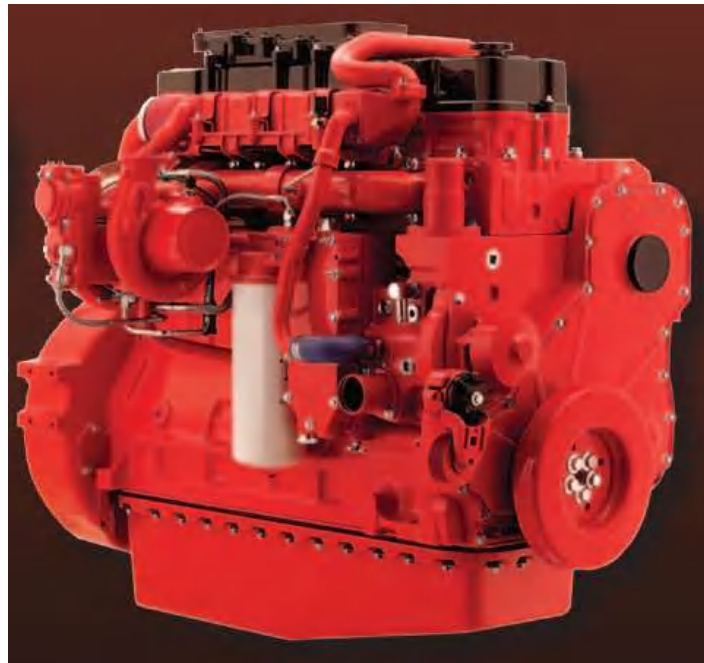


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд двигуна CUMMINS ISL 360 50

Для визначення тягово-швидкісних та потужнісних показників автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В з двигуном CUMMINS ISL 360 50 виконаємо розрахунки, вихідні дані яких наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Вихідні дані для розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 з двигуном CUMMINS ISL 360 50

Вид автомобіля	-	вантажний
Повна маса, кг	m	23000
Марка і тип двигуна	-	CUMMINS ISL 360 50

Продовження таблиці 1.10

Максимальна потужність, кВт		$N_{e_{max}}$	265
Частота обертання валу двигуна при максимальній потужності, об/хв		$n_{N_{e_{max}}}$	2100
Наявність обмежувача частоти		-	присутній
Передавальні числа			
– коробки передач	першої передачі	U_{k1}	7,3
	другої передачі	U_{k2}	4,86
	третьої передачі	U_{k3}	3,50
	четвертої передачі	U_{k4}	2,48
	п'ятої передачі	U_{k5}	2,09
	шостої передачі	U_{k6}	1,39
	сьомої передачі	U_{k7}	1,00
	восьмої передачі	U_{k8}	0,71
– головної передачі		U_{k0}	8,173
Тип застосовуваних шин			550/75R21
Статичний радіус колеса, м		$R_{ст}$	0,679
Габаритні розміри:			
– ширина, м		B	2,75
– висота, м		H	3,15
ККД трансмісії, %		η	0,80

Таблиця 1.11 – Реальні значення основних параметрів двигуна ЯМЗ-238ДЕ2

Реальні значення основних параметрів		
Максимальний крутний момент двигуна, Н·м	$M_{e_{max}}$	1550
Частота обертання валу двигуна при максимальному моменті, об/хв	n_M	1400

1.10 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики поршневого двигуна внутрішнього згорання використовують емпіричну формулу, що

дозволяє по відомим координатам однієї точки швидкісної характеристики ($N_{e_{max}}$ і n_N) відтворити всю криву потужності

$$N_e = N_{emax} \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - A_3 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (1.26)$$

де N_e , кВт – поточне значення потужності двигуна, відповідне частоті обертання валу двигуна n , об/хв;

N_{emax} , кВт – максимальна потужність двигуна при частоті обертання n_N , об/хв;

n_N об/хв – частота обертання колінчастого валу двигуна при максимальній потужності;

n , об/хв – поточна частота обертання колінчастого валу двигуна.

Для вибору поточного значення n діапазон частоти обертання валу двигуна від мінімально стійких оборотів розбиваємо на 8 довільних ділянок з постійним інтервалом Δn

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{8} \quad (1.27)$$

Мінімальну частоту обертання колінчастого валу приймаємо рівним n_{min} 750 об/хв

$$\Delta n = \frac{2100 - 750}{8} = 225 \text{ об/хв} \quad (1.28)$$

Визначивши величину N_e для прийнятих значень n , обчислюємо відповідні значення крутного моменту двигуна, Н·м

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n}. \quad (1.29)$$

Результати розрахунків за формулами зводимо в таблицю 1.12 і будуємо зовнішню швидкісну характеристику двигуна $N_e = f(n)$ і $M_e = f(n)$.

Таблиця 1.12 – Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна ЯМЗ-238Д2

Параметри	Значення параметрів						
	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
n , об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
$A_1 \cdot n / n_N$	0,357	0,464	0,571	0,679	0,786	0,893	1,000
$A_2 \cdot (n / n_N)^2$	0,128	0,216	0,327	0,460	0,617	0,797	1,000
$A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,046	0,100	0,187	0,312	0,485	0,712	1,000
$A_1 \cdot n / n_N + A_2 \cdot (n / n_N)^2 - A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,439	0,580	0,711	0,827	0,918	0,978	1,000
N_e , кВт	116,37	153,64	188,51	219,04	243,27	259,24	265,00
M_e , Н·м	1481,8	1504,9	1500,3	1468,0	1408,0	1320,4	1205,1

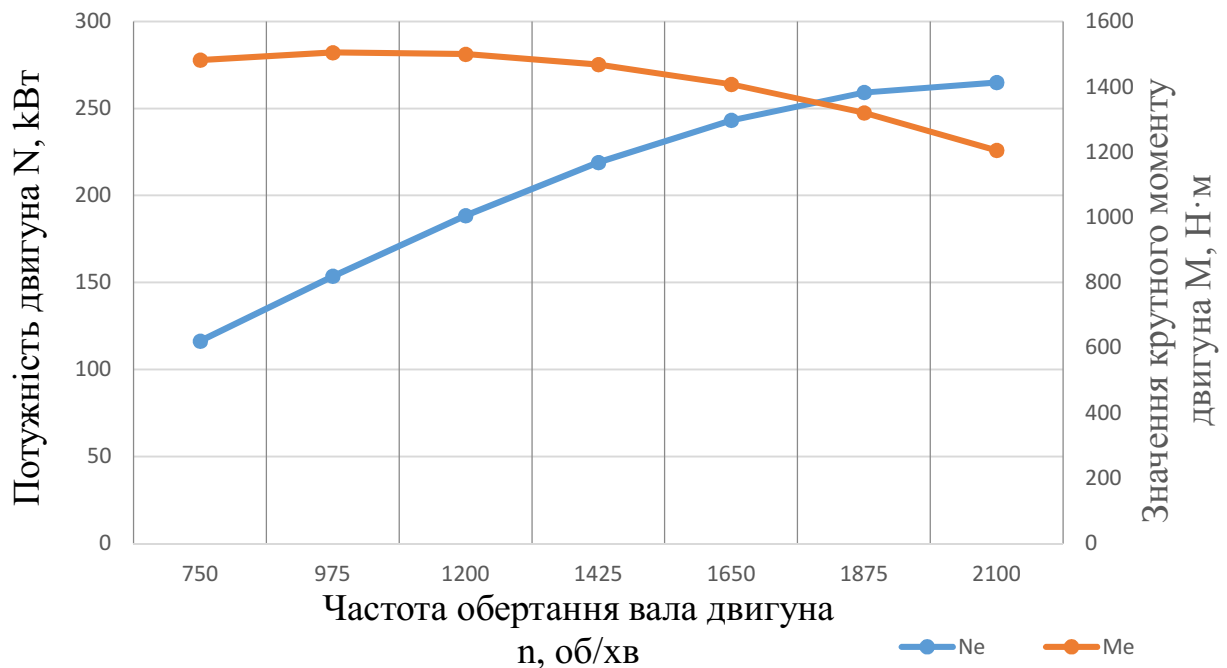


Рисунок 1.14 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

З рисунку 1.14 можна визначити розрахункова максимальна потужність складає 265 кВт, максимальний крутний момент 1481,8 Н·м.

1.11 Побудова графіків силового балансу

Для побудови графіків силового балансу послідовно, для всіх передач і швидкостей руху автомобіля, розраховується значення всіх складових рівняння силового балансу автомобіля

$$P_k - P_\psi - P_W - P_j = 0, \quad (1.30)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах, Н;

P_ψ – сила сумарного дорожнього опору, Н;

P_W – сила опору повітря, Н;

P_j – сила опору розгону, Н.

Тягове зусилля на провідних колесах P_k визначають з виразу

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_o \cdot \eta}{r_d}, \quad (1.31)$$

де r_d – динамічний радіус колеса, в нормальних умовах руху приймають рівним r_{cm} , м;

M_e – крутний момент двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення і-тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі;

η – ККД трансмісії автомобіля.

Друга складова рівняння силового балансу – сила сумарного дорожнього опору – визначається за формулою

$$P_\psi = \Psi \cdot G, \quad (1.32)$$

де $G = g \cdot m$ – повна вага автомобіля, Н;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

m – маса автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору.

Для розрахункового випадку сила сумарного дорожнього опору автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В для розглянутих умов становить:

$$G = 9,8 \cdot 23000 = 225400 \text{ Н};$$

$$\text{Заданий } \psi = 0,02;$$

$$P_{\psi} = 0,02 \cdot 225400 = 4508 \text{ Н.}$$

Третя складова рівняння силового балансу автомобіля – *сила опору повітря*, Визначається згідно з формулою

$$P_W = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2}, \quad (1.33)$$

де F – лобова площа автомобіля, м^2 ;

V – швидкість автомобіля, км / год ;

k – коефіцієнт опору повітрю.

Лобову площу автомобіля F визначається за спрощеною формулою

$$F = \alpha \cdot B \cdot H, \quad (1.34)$$

де B – ширина автомобіля;

H – висота автомобіля;

α – коефіцієнт заповнення площі.

Для наведеного розрахункового випадку лобова площа автомобіля КраЗ-63221 САРМ-В визначається як

$$F = 0,8 \cdot 2,75 \cdot 3,15 = 6,93 \text{ м}^2 \quad (1.35)$$

де коефіцієнт заповнення площі – 0,8;

ширина автомобіля – 2,75 м;

висота автомобіля – 3,15 м.

Для побудови і подальшого аналізу графіків силового балансу величина P_j визначається як різниця тягового зусилля P_{ki} суми опорів руху $P_{\psi} + P_W$.

$$P_j = P_k - (P_{\psi} + P_W). \quad (1.36)$$

Графік силового балансу і всі наступні графіки будують як функції швидкості автомобіля V , км/год , яка безпосередньо пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна n наступною залежністю

$$V = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{u_{ki} \cdot u_0}, \quad (1.37)$$

де $r_{\delta o}$ – радіус кочення колеса, м, рівний за відсутності прослизання статичному радіусу R_{cm} ;

n – поточна частота обертання колінчастого валу двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі.

Динамічний фактор автомобіля D послідовно визначається для всіх передач і швидкостей руху по формулі

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (1.38)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах;

P_w – сила опору повітря;

G – повна маса автомобіля.

Так, в пропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В загальний коефіцієнт для розрахунку тягового зусилля складе:

- для тягового зусилля на першій передачі $P_{k1} = 70,30 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на другій передачі $P_{k2} = 46,80 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на третій передачі $P_{k3} = 33,70 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на четвертій передачі $P_{k4} = 23,88 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на п'ятій передачі $P_{k5} = 20,13 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на шостій передачі $P_{k6} = 13,38 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на сьомій передачі $P_{k7} = 9,63 \cdot Me$;
- для тягового зусилля на восьмій передачі $P_{k8} = 6,84 \cdot Me$.

Для розрахунку швидкості V_i автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В, загальні коефіцієнти для різних передач відповідно складуть:

- для першої передачі $V_1 = 0,0043 \cdot n$,
- для другої передачі $V_2 = 0,0064 \cdot n$,
- для третьої передачі $V_3 = 0,0089 \cdot n$,
- для четвертої передачі $V_4 = 0,0129 \cdot n$,
- для п'ятої передачі $V_5 = 0,0150 \cdot n$.
- для шостої передачі $V_6 = 0,0225 \cdot n$.
- для сьомої передачі $V_7 = 0,0313 \cdot n$.
- для восьмої передачі $V_8 = 0,0441 \cdot n$.

Для сили опору повітря відповідно загальний коефіцієнт складе

$$P_w = 0,374 \cdot V_i. \quad (1.38)$$

Таблиця 1.13 – Розрахунок величин силового балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
n, об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
Me, Н·м	1482	1505	1500	1468	1408	1320	1205
V1, км/год	3,2	4,2	5,1	6,1	7,1	8,0	9,0
Pk1, Н	104163	105784	105460	103191	98977	92818	84714
Pw1, Н	4	7	10	14	19	24	30
Pk1-Pw1, Н	104160	105778	105450	103177	98958	92794	84683
D1	0,462	0,469	0,468	0,458	0,439	0,412	0,376
V2, км/год	4,8	6,3	7,7	9,2	10,6	12,1	13,5
Pk2, Н	69347	70426	70210	68700	65894	61794	56399
Pw2, Н	9	15	22	32	42	55	69
Pk2-Pw2, Н	69338	70411	70188	68668	65852	61739	56330
D2	0,308	0,312	0,311	0,305	0,292	0,274	0,250
V3, км/год	6,7	8,7	10,7	12,8	14,8	16,8	18,8
Pk3, Н	49941	50718	50563	49475	47455	44502	40616
Pw3, Н	17	28	43	61	82	105	132
Pk3-Pw3, Н	49925	50690	50520	49414	47373	44396	40484
D3	0,221	0,225	0,224	0,219	0,210	0,197	0,180
V4, км/год	9,5	12,3	15,2	18,0	20,8	23,7	26,5
Pk4, Н	35387	35938	35828	35057	33625	31533	28780
Pw4, Н	34	57	86	121	163	210	263
Pk4-Pw4, Н	35353	35881	35742	34935	33462	31323	28516
D4	0,157	0,159	0,159	0,155	0,148	0,139	0,127
V5, км/год	11,2	14,6	18,0	21,4	24,7	28,1	31,5
Pk5, Н	29822	30286	30193	29544	28337	26574	24254
Pw5, Н	47	80	121	171	229	296	371
Pk5-Pw5, Н	29775	30206	30072	29373	28108	26278	23883
D5	0,132	0,134	0,133	0,130	0,125	0,117	0,106
V6, км/год	16,9	22,0	27,0	32,1	37,2	42,2	47,3
Pk6, Н	19834	20142	20081	19649	18846	17674	16130
Pw6, Н	107	181	274	386	517	668	838
Pk6-Pw6, Н	19727	19962	19807	19263	18329	17005	15292

Продовження таблиці 1.13

D6	0,088	0,089	0,088	0,085	0,081	0,075	0,068
V7, км/год	23,5	30,5	37,6	44,6	51,7	58,7	65,8
Pk7, Н	14269	14491	14447	14136	13558	12715	11605
Pw7, Н	207	349	529	746	1000	1291	1619
Pk7-Pw7, Н	14062	14142	13918	13390	12559	11424	9985
D7	0,062	0,063	0,062	0,059	0,056	0,051	0,044
V8, км/год	33,1	43,0	52,9	62,9	72,8	82,7	92,6
Pk8, Н	10131	10289	10257	10036	9627	9027	8239
Pw8, Н	410	692	1049	1479	1983	2561	3212
Pk8-Pw8, Н	9721	9596	9208	8557	7643	6467	5027
D8	0,043	0,043	0,041	0,038	0,034	0,029	0,022
Pψ	4508	4508	4508	4508	4508	4508	4508
Pw+Pψ	4918	5200	5557	5987	6491	7069	7720

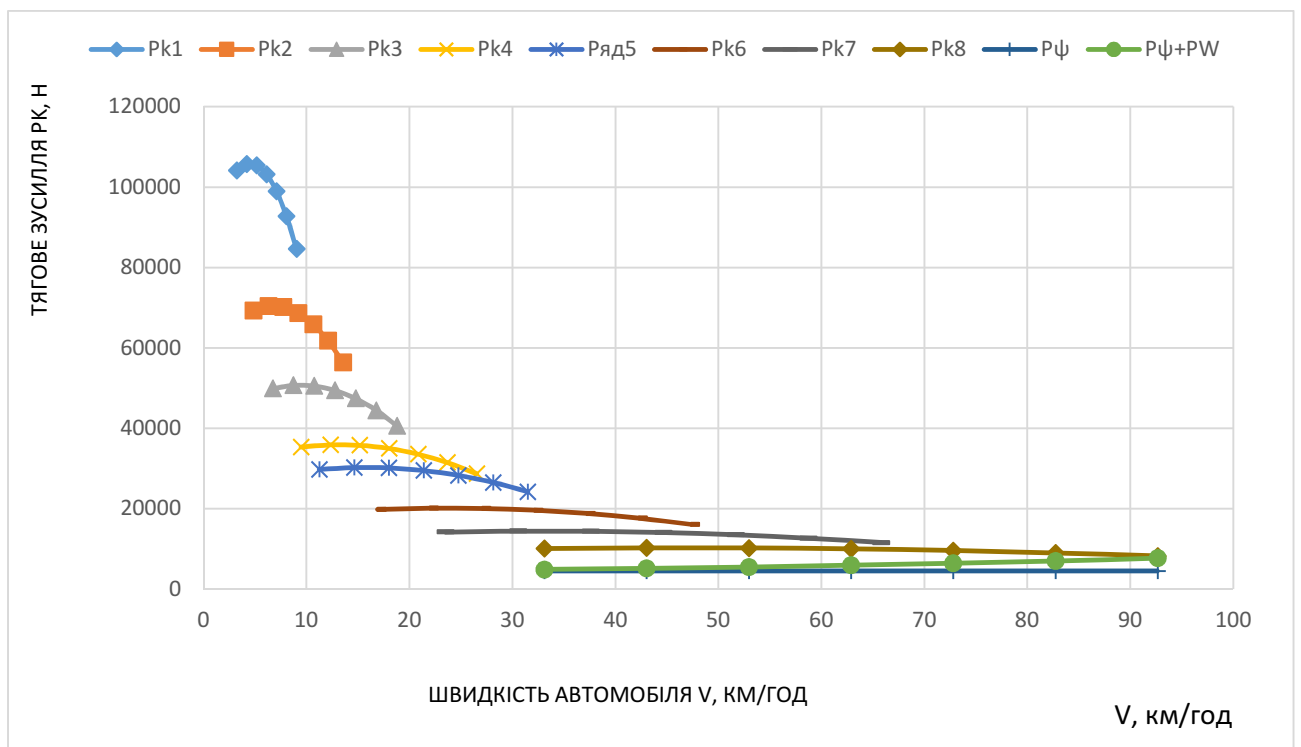


Рисунок 1.15 – Графік силового балансу автомобіля

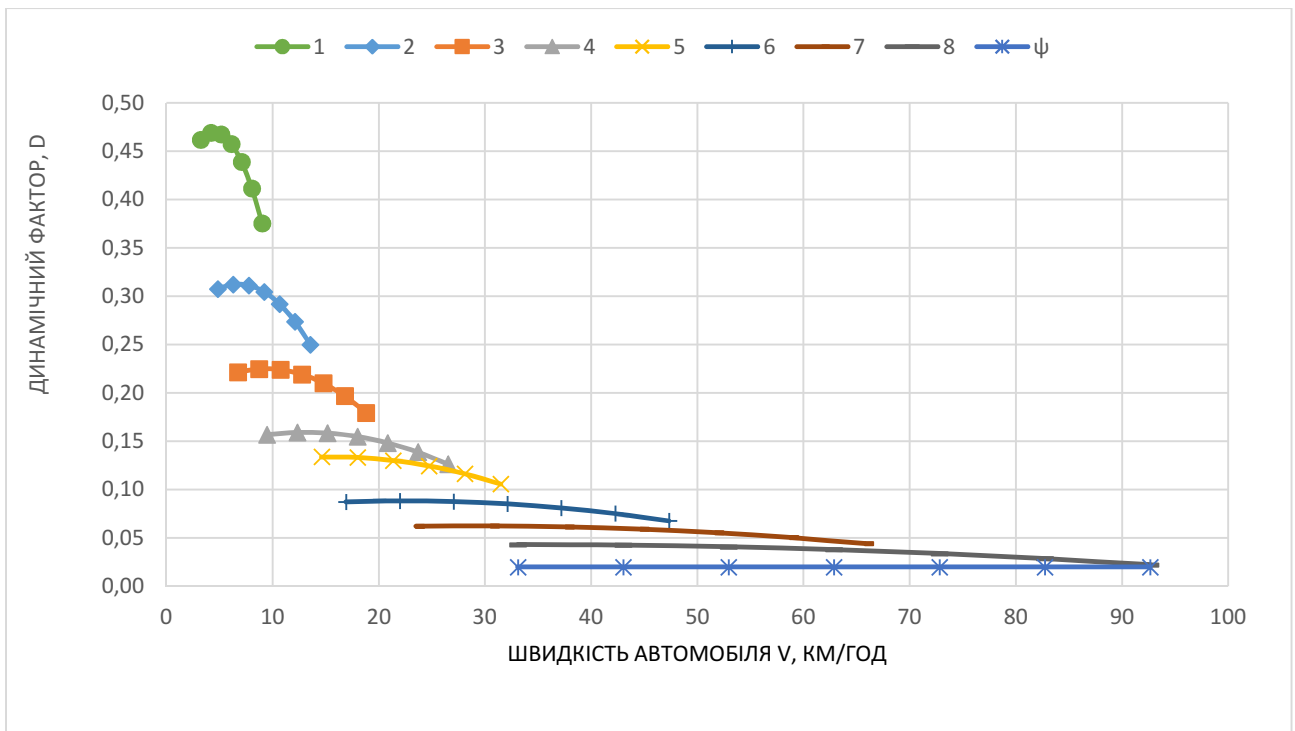


Рисунок 1.16 – Графік динамічної характеристики автомобіля

З рисунку 1.16 можна визначити, що максимальна швидкість для автомобіля КраЗ-63221 САРМ-В складає 95 км/год.

1.12 Оцінка показників розгону автомобіля

Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D , використовують формулу

$$j = \frac{(D - \psi) \cdot g}{\delta}, \quad (1.39)$$

де D – динамічний фактор автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

g – прискорення вільного падіння;

δi – коефіцієнт впливу обертових мас.

Коефіцієнт впливу обертових мас, визначається послідовно для кожної передачі виходячи з такою залежністю

$$\delta i \approx 1,04 + 0,04 \cdot u_{ki}^2, \quad (1.40)$$

де u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП.

У пропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В обчислені для зручності розрахунків за формулою (1.40) значення коефіцієнта впливу обертових мас складають:

для першої передачі $\delta_1 = 3,17$;

для другої передачі $\delta_2 = 1,98$;

для третьої передачі $\delta_3 = 1,53$;

для четвертої передачі $\delta_4 = 1,29$;

для п'ятої передачі $\delta_5 = 1,21$;

для шостої передачі $\delta_6 = 1,12$;

для сьомої передачі $\delta_7 = 1,08$;

для восьмої передачі $\delta_8 = 1,06$.

У разі побудови графіків прискорень і величин зворотних прискоренню для розглянутого випадку руху автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В дані значення визначаємо як $V_{\max} = 82,71$ км/год.

Таблиця 1.14 – Величини необхідні для побудови графіків прискорень і зворотніх прискоренню

Параметри	Значення параметрів						
	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
n, об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
V1, км/год	3,22	4,18	5,15	6,11	7,08	8,04	9,01
D1	0,46	0,47	0,47	0,46	0,44	0,41	0,38
D1- ψ	0,44	0,45	0,45	0,44	0,42	0,39	0,36
j1, м/с ²	1,37	1,39	1,38	1,35	1,29	1,21	1,10
1/j1, с ² /м	0,73	0,72	0,72	0,74	0,77	0,83	0,91
V2, км/год	4,83	6,28	7,73	9,18	10,63	12,08	13,53
D2	0,31	0,31	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25
D2- ψ	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23
j2, м/с ²	1,42	1,44	1,44	1,41	1,34	1,25	1,14
1/j2, с ² /м	0,70	0,69	0,70	0,71	0,74	0,80	0,88
V3, км/год	6,71	8,73	10,74	12,75	14,77	16,78	18,79
D3	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,20	0,18
D3- ψ	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,16

Продовження таблиці 1.14

$j_3, \text{м/с}^2$	1,29	1,31	1,31	1,28	1,22	1,13	1,02
$1/j_3, \text{с}^2/\text{м}$	0,77	0,76	0,76	0,78	0,82	0,88	0,98
$V_4, \text{км/год}$	9,47	12,31	15,16	18,00	20,84	23,68	26,52
D_4	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13
$D_4 - \psi$	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11
$j_4, \text{м/с}^2$	1,04	1,06	1,06	1,03	0,98	0,91	0,81
$1/j_4, \text{с}^2/\text{м}$	0,96	0,94	0,95	0,97	1,02	1,10	1,23
$V_5, \text{км/год}$	11,24	14,61	17,98	21,35	24,73	28,10	31,47
D_5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
$D_5 - \psi$	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09
$j_5, \text{м/с}^2$	0,90	0,92	0,92	0,89	0,84	0,78	0,69
$1/j_5, \text{с}^2/\text{м}$	1,11	1,09	1,09	1,12	1,18	1,28	1,44
$V_6, \text{км/год}$	16,90	21,97	27,04	32,11	37,18	42,25	47,32
D_6	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07
$D_6 - \psi$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
$j_6, \text{м/с}^2$	0,59	0,60	0,60	0,57	0,54	0,49	0,42
$1/j_6, \text{с}^2/\text{м}$	1,69	1,66	1,68	1,74	1,86	2,06	2,38
$V_7, \text{км/год}$	23,49	30,54	37,58	44,63	51,68	58,73	65,77
D_7	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
$D_7 - \psi$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02
$j_7, \text{м/с}^2$	0,38	0,39	0,38	0,36	0,32	0,28	0,22
$1/j_7, \text{с}^2/\text{м}$	2,60	2,58	2,64	2,80	3,09	3,59	4,54
$V_8, \text{км/год}$	33,09	43,01	52,94	62,86	72,79	82,71	92,64
D_8	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
$D_8 - \psi$	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
$j_8, \text{м/с}^2$	0,21	0,21	0,19	0,17	0,13	0,08	0,02

Данію швидкості відповідають значення $j = 0,08 \text{ м/с}^2$ і $1/j = 12,45 \text{ с}^2/\text{м}$.

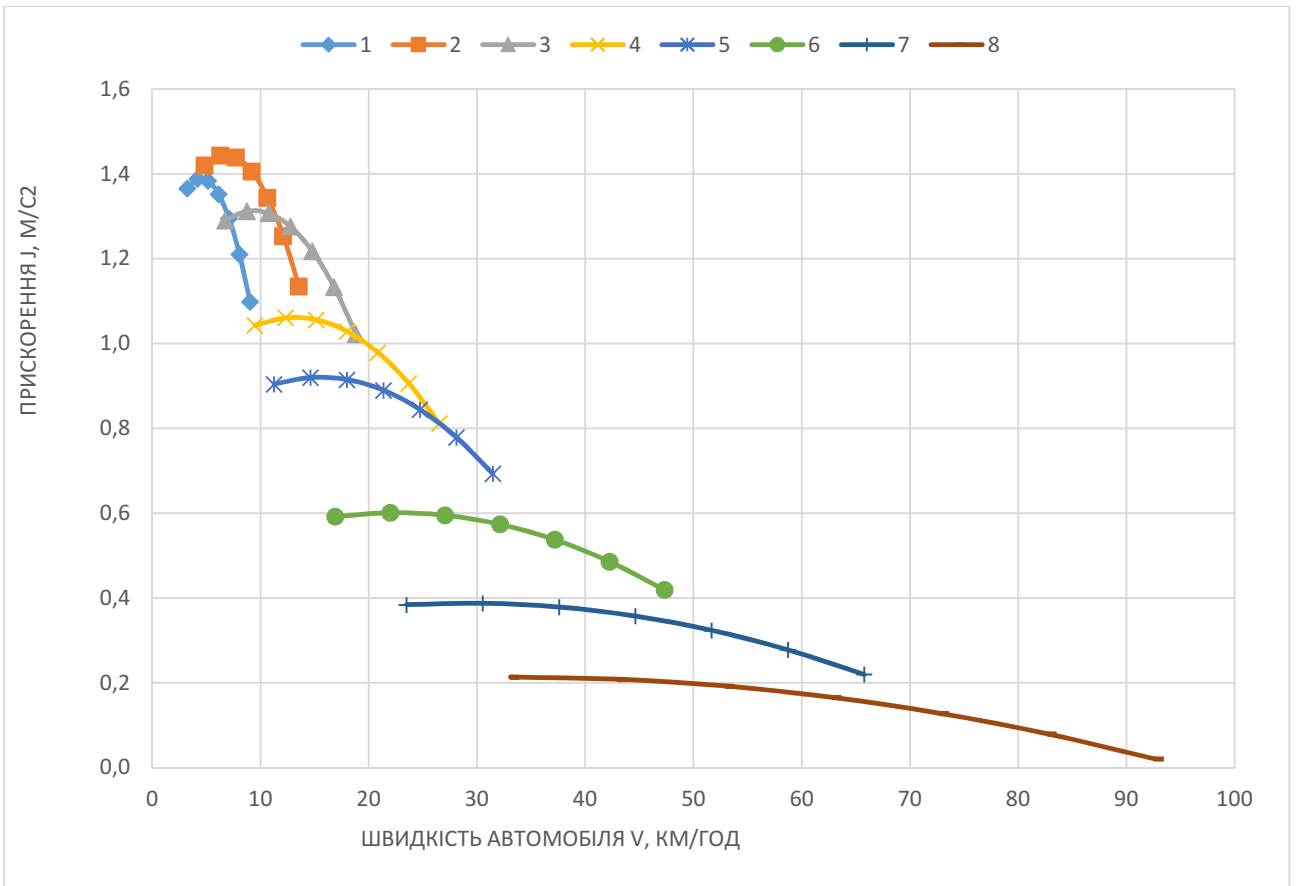


Рисунок 1.17 – Графік прискорень автомобіля

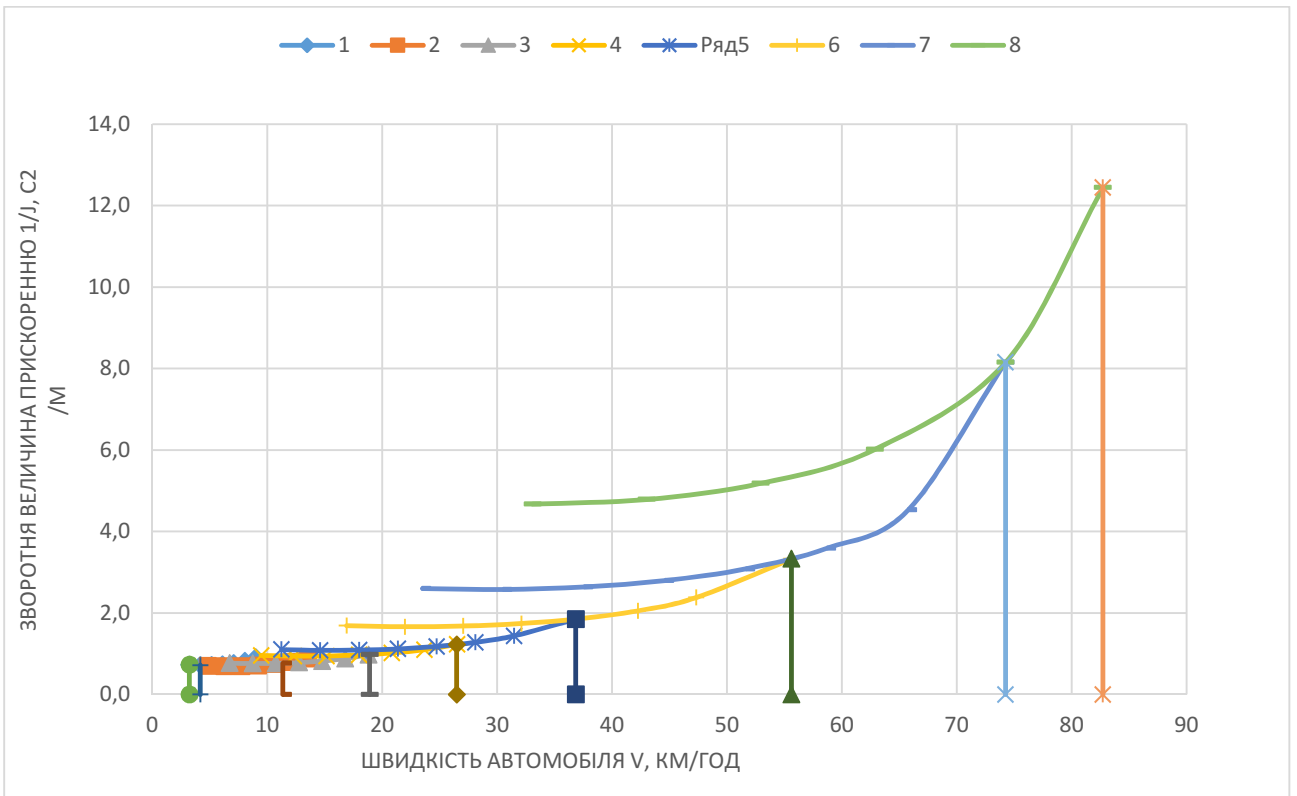


Рисунок 1.18 – Графік величин, які обернені прискоренням автомобіля

$$t_i = m_{\frac{1}{j}} \cdot m_V \cdot F_{ti} = 1 \cdot 1 \cdot F_{ti}, \quad (1.18)$$

де $m_{1,j}$ – обраний масштаб для величин що зворотні прискоренню;

m_V – масштаби швидкості;

F_{ti} – площа і-тої ділянки на графіку величин, зворотних прискорень.

Таблиця 1.15 – Результати розрахунків часу розгону

Параметри	Значення параметрів								
$V, \text{ км/год}$	3,22	4,18	11,36	18,91	26,48	36,85	55,60	74,24	82,71
$F_{fi}, \text{ м}^2$	0,00	3,52	25,56	31,87	41,01	76,92	224,67	438,44	414,91
$S_{Ft}, \text{ м}^2$	0,00	3,52	29,08	60,95	101,96	178,88	403,55	841,99	1256,9
$t, \text{ с}$	0,00	0,20	1,62	3,39	5,66	9,94	22,42	46,78	69,83

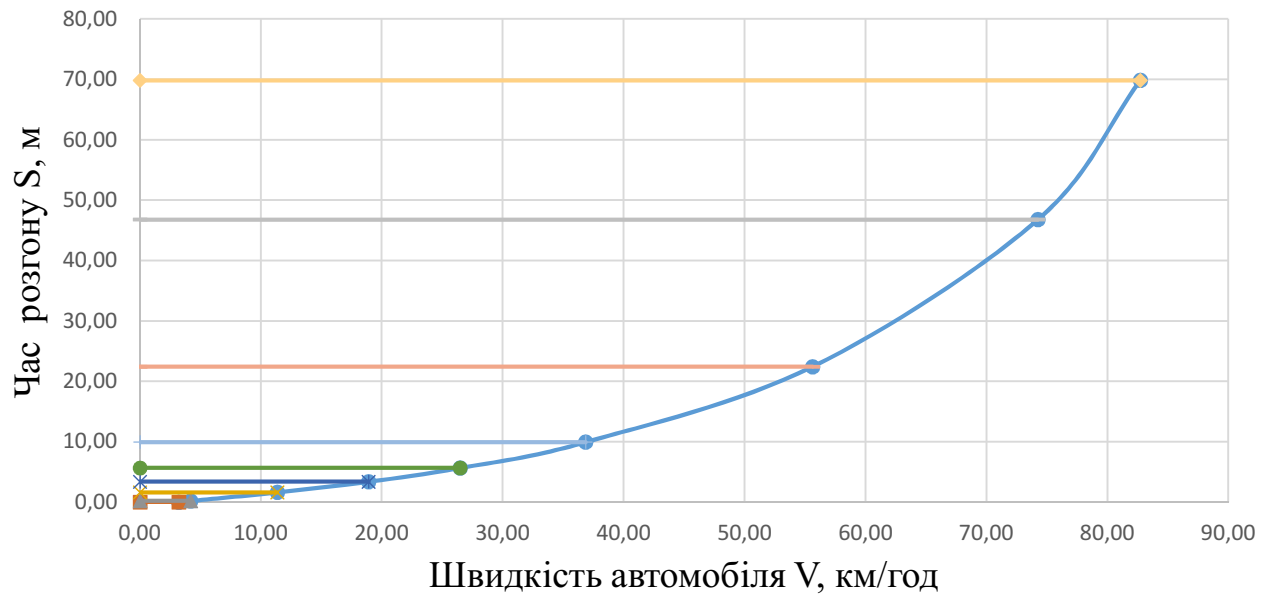


Рисунок 1.19 – Графік часу розгону АТС

Шлях розгону автомобіля на і -тому ділянці S_i (м) від швидкості V_i до V_{i+1} визначається як добуток площі F_{ti} на масштаби по осі абсциси і осі ординати.

$$S_i = m_t \cdot m_V \cdot F_{si} = 1 \cdot 1 \cdot F_{si}, \quad (1.41)$$

де m_t [с / мм] – масштаб часу;

F_{si} – площа разом ділянки на графіку $t = f(V)$, мм².

За результатами підрахунку площі ділянок та дедалі більшої суми площ, за формулою (1.41), розраховується шлях розгону автомобіля S . Результати розрахунків зводяться в таблицю 1.16 і будується графік шляху розгону автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В.

Таблиця 1.16 – Результати розрахунків шляху розгону

Параметри	Розрахункові значення параметрів								
V , км/год	3,22	4,18	11,36	18,91	26,48	36,85	55,60	74,24	82,71
F_{Si} , мм ²	0	0,73	11,03	27,06	51,88	136,84	588,37	1610,36	1821,26
ΣF_S мм ²	0	0,73	11,76	38,82	90,70	227,54	815,91	2426,27	4247,53
S , м	0	0,20	3,27	10,78	25,19	63,21	226,64	673,96	1179,87

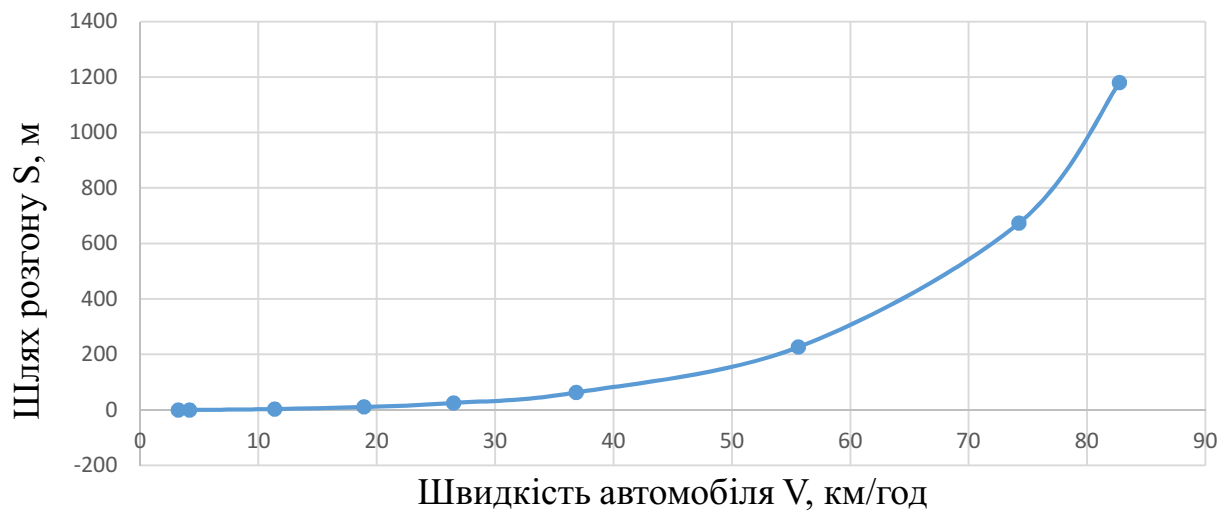


Рисунок 1.20 – Графік шляху розгону АТС

З графіку розгону автомобіля отримано, що для досягнення автомобілем швидкості 85 км/год потрібен шлях 1200 м.

1.13 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля

Рівняння балансу потужності двигуна можуть бути виражене через потужність на колесах N_k

$$N_k - N_\psi - N_W - N_j = 0, \quad (1.42)$$

де N_k – потужність, ведучих коліс;

N_{ψ} – потужність, що витрачається на подолання сумарних дорожніх опорів;

N_W – потужність, що витрачається на подолання опору повітря;

N_j – потужність, яка використовується для розгону.

Спочатку обчислюється потужність на ведучих колесах N_k . Цю величину визначають через потужність N_e , розвивається на колінчастому валу двигуна, з урахуванням потер в трансмісії

$$N_k = N_e \cdot \eta. \quad (1.43)$$

Значення потужностей N_{ψ} і N_W розраховуються з використанням величин P_{ψ} і P_W для вищої передачі з метою забезпечення всього діапазону швидкостей руху автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В

$$N_{\psi} = \frac{P_{\psi} \cdot V}{3600}. \quad (1.44)$$

$$N_W = \frac{P_W \cdot V}{3600}. \quad (1.45)$$

Таблиця 1.17 – Величини потужнісного балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
n , об/хв	750	975	1200	1425	1650	1875	2100
N_e , кВт	116	154	189	219	243	259	265
N_k , кВт	93	123	151	175	195	207	212
V_1 , кВт	3,22	4,18	5,15	6,11	7,08	8,04	9,01
V_2 , кВт	4,83	6,28	7,73	9,18	10,63	12,08	13,53
V_3 , кВт	6,71	8,73	10,74	12,75	14,77	16,78	18,79
V_4 , кВт	9,47	12,31	15,16	18,00	20,84	23,68	26,52
V_5 , кВт	11,24	14,61	17,98	21,35	24,73	28,10	31,47
V_6 , кВт	16,90	21,97	27,04	32,11	37,18	42,25	47,32
V_7 , кВт	23,49	30,54	37,58	44,63	51,68	58,73	65,77
V_8 , кВт	33,09	43,01	52,94	62,86	72,79	82,71	92,64
N_{ψ} , кВт	41,43	53,86	66,29	78,72	91,15	103,57	116,00
N_W , кВт	3,77	8,27	15,42	25,83	40,09	58,84	82,66
$N_{\psi} + N_W$, кВт	45,20	62,13	81,71	104,54	131,24	162,41	198,66

На графіку потужностного балансу будують такі залежності потужностей від швидкості руху автомобіля:

- $N_e = f(V)$ – тільки для вищої передачі;
- $N_k = f(V)$ – для всіх передач;
- $N_\psi = f(V)$
- $N_\psi + N_W = f(V)$.

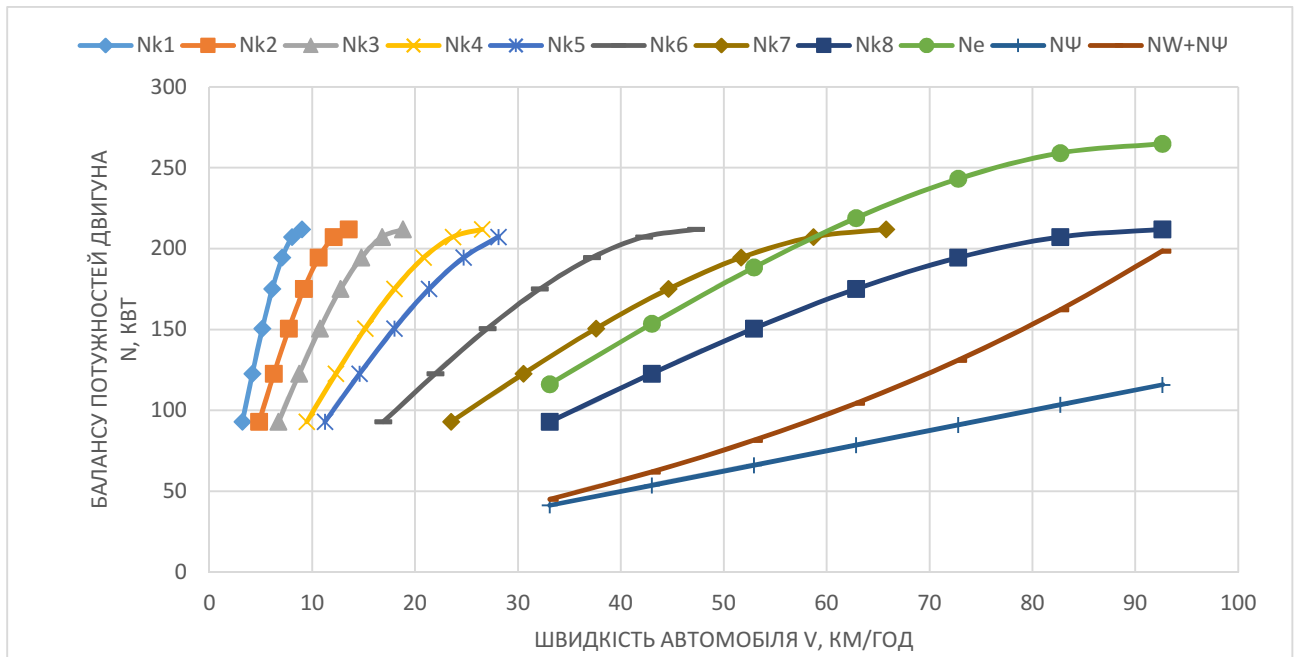


Рисунок 1.21 – Графік потужнісного балансу автомобіля

З графіку потужнісного балансу автомобіля можна проаналізувати значення потужності двигуна при різній швидкості автомобіля.

1.14 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля

За отриманими значеннями $M_{e_{max}}$ і M_N визначається коефіцієнт пристосованості двигуна

$$K_{пр} = \frac{M_{e_{max}}}{M_N} = \frac{1505}{1550} = 0,97 \quad (1.46)$$

Максимальний поздовжній ухил дороги, який може здолати визначається за формулою (1.47)

$$i_{max} = \psi_{max} - f. \quad (1.47)$$

Певні дані в нашому розрахунковому випадку для автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В перераховані параметри складають:

M_{emax}	1504,86 Н·м	$\psi_{\text{max}7}$	0,063	$V_{\text{кр}1}$	4,183 км/год
M_N	1550 Н·м	$\psi_{\text{max}8}$	0,043	$V_{\text{кр}2}$	6,3 км/год
$\psi_{\text{max}1}$	0,469	f	0,02	$V_{\text{кр}3}$	8,7 км/год
$\psi_{\text{max}2}$	0,312			$V_{\text{кр}4}$	12,3 км/год
$\psi_{\text{max}3}$	0,225			$V_{\text{кр}5}$	14,6 км/год
$\psi_{\text{max}4}$	0,159			$V_{\text{кр}6}$	22,0 км/год
$\psi_{\text{max}5}$	0,134			$V_{\text{кр}7}$	30,54 км/год
$\psi_{\text{max}6}$	0,089			$V_{\text{кр}8}$	33,09 км/год

$i_{\text{max}1}$	0,449	44,9%
$i_{\text{max}2}$	0,292	29,2%
$i_{\text{max}3}$	0,205	20,5%
$i_{\text{max}4}$	0,139	13,9%
$i_{\text{max}5}$	0,114	11,4%
$i_{\text{max}6}$	0,069	6,9%
$i_{\text{max}7}$	0,043	4,3%
$i_{\text{max}8}$	0,023	2,3%

Для перевірки доцільності модернізації САРМ-В виконаного на шасі автомобіля КрАЗ-63221 побудуємо графіки ЗШХД для подальшого аналізу використання в якості силової установки пропонованого двигуна [11].

Таблиця 1.18 – Порівняльні дані основних технічних параметрів двигунів ЯМЗ-238ДЕ2 та Cummins ISL 360 50

Технічний параметр двигуна	Модель двигуна	
	ЯМЗ-238ДЕ2	Cummins ISL 360 50
Тип двигуна	Дизельний з турбонаддувом	Дизельний з турбонаддувом
Кількість та розташування циліндрів	8, V-подібний	6, рядний
Робочий об'єм двигуна, л	14,85	8,9
Номинальна потужність, кВт (к.с.)	243 (330)	265 (360)

Продовження таблиці 1.18

Частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, мін^{-1}	2100	2100
Максимальний крутний момент, Н·м	1274	1550
Частота обертання при максимальному крутному моменті, мін^{-1}	1300	1400
Витрата палива, л/100 км	41	35
Габаритні розміри, (ДхШхВ), мм	388x1045x1020	1150x890x1020
Екологічний стандарт	EURO-2	EURO-5

1.15 Аналіз отриманих результатів

Порівняння отриманих графіків ЗШХД САРМ-В на шасі автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном ЯМЗ-238, і САРМ-В на шасі автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном ISL 360 50 показує:

– витрата палива в автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном ISL 360 50 є меншою, що в свою чергу підвищує економічність двигуна.

– КрАЗ 63221 обладнаний дизельним двигуном ISL 360 50 має більші значення крутного моменту, що добре виражається на його тягово-швидкісних показниках.

– автомобіль КрАЗ 63221 обладнаний дизельним двигуном ISL 360 50 в порівнянні з аналогічним автомобілем з двигуном ЯМЗ-238 має більші значення потужності, що добре виражається на його динамічних показниках.

2 ОПТИМІЗАЦІЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ КрАЗ-63221 2С22

2.1 Вихідні дані для розрахунку

В дипломній роботі досліджується доцільність переобладнання колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана», обладнаної на автомобілі-шасі КрАЗ-63221 шляхом заміни двигуна китайського виробника Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40 на двигун американського виробника CUMMINS, модель CUMMINS ISX 15 400 [9].

2С22 «Богдана» – українська колісна самохідна гаубиця, із стволом калібру 155 мм. Встановлена на автомобілі-шасі КрАЗ-63221. Гаубиця розробляється щонайменше з 2018 року. «Богдана» стала першою українською САУ, що розроблена під «натівський» калібр 155 мм.

Загальний вигляд колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана» на базі колісного шасі КрАЗ-63221 представлено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана» на базі колісного шасі КрАЗ-63221

Тривалий час на автомобілі КрАЗ-63221 2С22 встановлювався двигун китайського виробника Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40, який має конструктивні та експлуатаційні недоліки.

На рисунку 2.2 представлено загальний вигляд двигуна Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40 [6].



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд двигуна Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана» на базі колісного шасі КраЗ-63221 з двигуном Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40

Вид автомобіля	-	вантажний	
Повна маса, кг	m	29000	
Марка і тип двигуна	-	WP12.400 E40	
Максимальна потужність, кВт	$N_{e_{max}}$	294	
Частота обертання валу двигуна при максимальній потужності, об/хв	$n_{N_{e_{max}}}$	1900	
Наявність обмежувача частоти	-	присутній	
Передавальні числа			
– коробки передач	першої передачі	U_{k1}	7,3
	другої передачі	U_{k2}	4,86
	третьої передачі	U_{k3}	3,50
	четвертої передачі	U_{k4}	2,48
	п'ятої передачі	U_{k5}	2,09
	шостої передачі	U_{k6}	1,39
	сьомої передачі	U_{k7}	1,00
	восьмої передачі	U_{k8}	0,71
– головної передачі	U_{k0}	8,173	

Продовження таблиці 2.1

Тип застосовуваних шин		550/75R21
Статичний радіус колеса, м	$R_{ст}$	0,679
Габаритні розміри		
– ширина, м	B	3,1
– висота, м	H	3,8
ККД трансмісії, %	η	0,80

Таблиця 2.2 – Реальні значення основних параметрів двигуна WP12.400 E40

Реальні значення основних параметрів		
Максимальний крутний момент двигуна, Н·м	$M_{e_{max}}$	1920
Частота обертання валу двигуна при максимальному моменті, об/хв	n_M	1400

Для визначених вихідних даних буде виконано розрахунок тягово-швидкісних та динамічних показників автомобіля.

2.2 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики поршневого двигуна внутрішнього згорання використовують емпіричну формулу, що дозволяє по відомим координатам однієї точки швидкісної характеристики ($N_{e_{max}}$ і n_N) відтворити всю криву потужності

$$N_e = N_{e_{max}} \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - A_3 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (2.1)$$

де N_e , кВт – поточне значення потужності двигуна, відповідне частоті обертання валу двигуна n , об/в;

$N_{e_{max}}$, кВт – максимальна потужність двигуна при частоті обертання n_N , об/хв;

n_N , об/хв – частота обертання колінчастого валу двигуна при максимальній потужності;

n , об/хв – поточна частота обертання колінчастого валу двигуна;

A_1 , A_2 , A_3 – емпіричні коефіцієнти, що характеризують тип двигуна внутрішнього згорання.

Значення емпіричних коефіцієнтів:

– для дизельних двигунів $A_1 = 0,5$; $A_2 = 1,5$; $A_3 = 1$.

Для вибору поточного значення n діапазон частоти обертання валу двигуна від мінімально стійких оборотів розбиваємо на 8 довільних ділянок з постійним інтервалом Δn

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{8} \quad (2.2)$$

Мінімальну частоту обертання колінчастого валу приймаємо рівним n_{min} 750 об/хв

$$\Delta n = \frac{1900 - 750}{8} = 192 \text{ об/хв} \quad (2.3)$$

Визначивши величину N_e для прийнятих значень n , обчислюємо відповідні значення крутного моменту двигуна, Н·м

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n} \quad (2.4)$$

Результати розрахунків за формулами зводимо в таблицю 1,3 і будемо зовнішню швидкісну характеристику двигуна $N_e = f(n)$ і $M_e = f(n)$.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна WP12.400 E40

Параметри	Значення параметрів						
n , об/хв	750	942	1133	1325	1517	1708	1900
$A_1 \cdot n / n_N$	0,395	0,496	0,596	0,697	0,798	0,899	1,000
$A_2 \cdot (n / n_N)^2$	0,156	0,246	0,356	0,486	0,637	0,808	1,000
$A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,062	0,122	0,212	0,339	0,509	0,727	1,000
$A_1 \cdot n / n_N + A_2 \cdot (n / n_N)^2 + A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,489	0,620	0,740	0,845	0,927	0,981	1,000
N_e , кВт	143,78	182,14	217,58	248,30	272,48	288,32	294,00
M_e , Н·м	1830,8	1847,1	1833,4	1789,6	1715,7	1611,8	1477,7

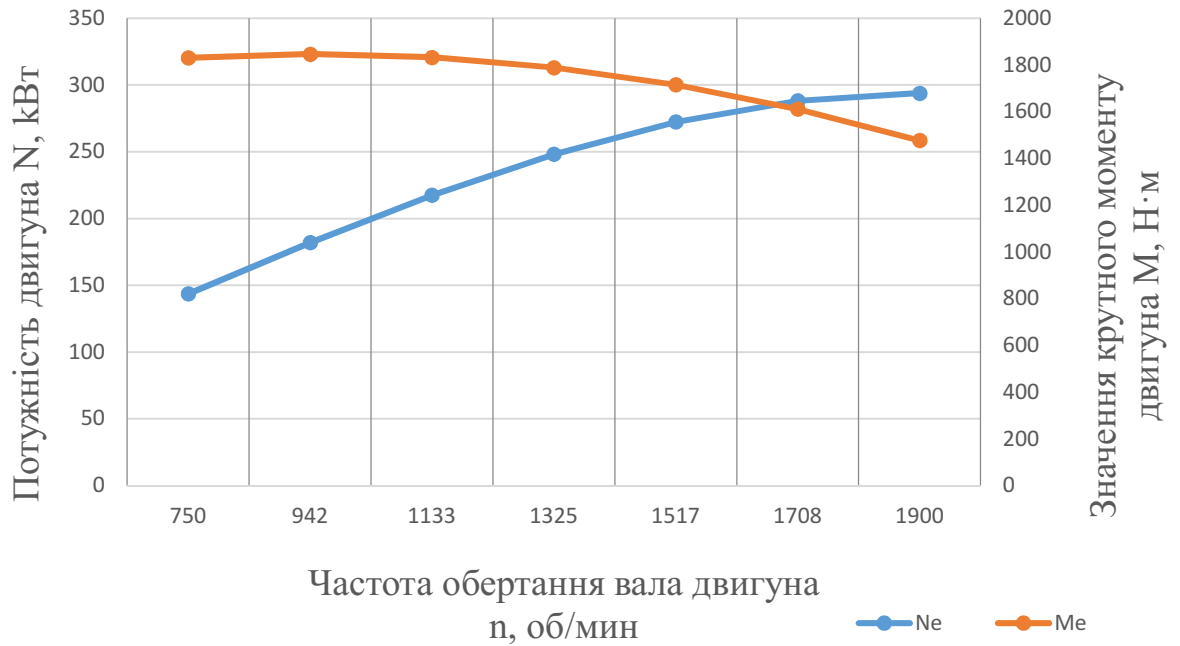


Рисунок 2.3 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

З рисунку 2.3 можна визначити, що розрахункова максимальна потужність складає 294 кВт, максимальний крутний момент 1830,8 Н·м.

2.3 Побудова графіків силового балансу

Для побудови графіків силового балансу послідовно, для всіх передач і швидкостей руху автомобіля, за формулою (2.5) розраховується значення всіх складових рівняння силового балансу автомобіля

$$P_k - P_\psi - P_W - P_j = 0, \quad (2.5)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах, Н;

P_ψ – сила сумарного дорожнього опору, Н;

P_W – сила опору повітря, Н;

P_j – сила опору розгону, Н.

Тягове зусилля на провідних колесах P_k визначають з виразу

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_o \cdot \eta}{r_d}, \quad (2.6)$$

де r_d – динамічний радіус колеса, в нормальних умовах руху приймають рівним r_{cm} , м;

M_e – крутний момент двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі;

η – ККД трансмісії автомобіля.

Друга складова рівняння силового балансу – сила сумарного дорожнього опору – визначається за формулою

$$P_\psi = \Psi \cdot G, \quad (2.7)$$

де $G = g \cdot m$ – повна вага автомобіля, Н;

$g = 9,8 \text{ м / с}^2$ – прискорення вільного падіння;

m – маса автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору.

Для розрахункового випадку сила сумарного дорожнього опору автомобіля КрАЗ-63221 2С22 для розглянутих умов становить:

$$G = 9,8 \cdot 29000 = 284200 \text{ Н.}$$

$$\text{Заданий } \psi = 0,02;$$

$$P_\psi = 0,02 \cdot 284200 = 5684 \text{ Н.}$$

Третя складова рівняння силового балансу автомобіля – сила опору повітря, визначається згідно з формулою

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2}, \quad (2.8)$$

де F – лобова площа автомобіля, м^2 ;

V – швидкість автомобіля, км / год ;

k – коефіцієнт опору повітря.

Лобову площу автомобіля F визначається за спрощеною формулою

$$F = \alpha \cdot B \cdot H, \quad (2.9)$$

де B – ширина автомобіля;

H – висота автомобіля;

α – коефіцієнт заповнення площі.

Для наведеного розрахункового випадку лобова площа автомобіля КрАЗ-63221 2С22 визначається як

$$F = 0,8 \cdot 3,1 \cdot 3,8 = 9,42 \text{ мм}^2 \quad (2.10)$$

де коефіцієнт заповнення площі – 0,8;

ширина автомобіля – 3,1 м;

висота автомобіля – 3,8 м.

Для побудови і подальшого аналізу графіків силового балансу величина P_j визначається як різниця тягового зусилля P_{ki} суми опорів руху $P_\psi + P_w$.

$$P_j = P_k - (P_\psi + P_w). \quad (2.11)$$

Графік силового балансу і всі наступні графіки будують як функції швидкості автомобіля V , км/год, яка безпосередньо пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна n наступною залежністю

$$V = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{u_{ki} \cdot u_0}, \quad (2.12)$$

де r_{do} – радіус кочення колеса, м, рівний за відсутності прослизання статичному радіусу R_{cm} ;

n – поточна частота обертання колінчастого вала двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення і-тої передачі КПП;

u_0 – передавальне відношення головної передачі.

Динамічний фактор автомобіля D послідовно визначається для всіх передач і швидкостей руху по формулі

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (2.13)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах;

P_w – сила опору повітря;

G – повна маса автомобіля.

Так, в пропонуваному розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 2С22 загальний коефіцієнт для розрахунку тягового зусилля складе:

- для тягового зусилля на першій передачі $P_{k1} = 70,30 \cdot \text{Ме}$;
- для тягового зусилля на другій передачі $P_{k2} = 46,80 \cdot \text{Ме}$;
- для тягового зусилля на третій передачі $P_{k3} = 33,70 \cdot \text{Ме}$;
- для тягового зусилля на четвертій передачі $P_{k4} = 23,88 \cdot \text{Ме}$;
- для тягового зусилля на п'ятій передачі $P_{k5} = 20,13 \cdot \text{Ме}$.

- для тягового зусилля на шостій передачі $P_{к6} = 13,38 \cdot Me$.
- для тягового зусилля на сьомій передачі $P_{к7} = 9,63 \cdot Me$.
- для тягового зусилля на восьмій передачі $P_{к8} = 6,84 \cdot Me$.

Для розрахунку швидкості V_i автомобіля КрАЗ-63221 2С22, загальні коефіцієнти для різних передач відповідно складуть:

- для першої передачі $V_1 = 0,0043 \cdot n$,
- для другої передачі $V_2 = 0,0064 \cdot n$,
- для третьої передачі $V_3 = 0,0089 \cdot n$,
- для четвертої передачі $V_4 = 0,0129 \cdot n$,
- для п'ятої передачі $V_5 = 0,0150 \cdot n$.
- для шостої передачі $V_6 = 0,0225 \cdot n$.
- для сьомої передачі $V_7 = 0,0313 \cdot n$.
- для восьмої передачі $V_8 = 0,0441 \cdot n$.

Для сили опору повітря відповідно загальний коефіцієнт складе:

$$P_w = 0,509 \cdot V_i. \quad (2.14)$$

Таблиця 2.4 – Розрахунок величин силового балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
	750	942	1133	1325	1517	1708	1900
n, об/хв	750	942	1133	1325	1517	1708	1900
Me, Н·м	1831	1847	1833	1790	1716	1612	1478
V1, км/год	3,2	4,0	4,9	5,7	6,5	7,3	8,2
Pk1, Н	128696	129845	128880	125800	120607	113299	103878
Pw1, Н	5	8	12	16	22	27	34
Pk1-Pw1, Н	128691	129837	128868	125784	120585	113272	103844
D1	0,453	0,457	0,453	0,443	0,424	0,399	0,365
V2, км/год	4,8	6,1	7,3	8,5	9,8	11,0	12,2
Pk2, Н	85680	86445	85802	83752	80295	75429	69157
Pw2, Н	12	19	27	37	49	62	76
Pk2-Pw2, Н	85668	86426	85775	83715	80246	75368	69081
D2	0,301	0,304	0,302	0,295	0,282	0,265	0,243
V3, км/год	6,7	8,4	10,1	11,9	13,6	15,3	17,0
Pk3, Н	61704	62254	61792	60315	57825	54322	49804
Pw3, Н	23	36	52	72	94	119	147
Pk3-Pw3, Н	61681	62218	61739	60244	57731	54203	49657

Продовження таблиці 2.4

D3	0,217	0,219	0,217	0,212	0,203	0,191	0,175
V4, км/год	9,5	11,9	14,3	16,7	19,2	21,6	24,0
Pk4, Н	43721	44112	43784	42738	40973	38491	35290
Pw4, Н	46	72	104	143	187	237	293
Pk4-Pw4, Н	43676	44040	43680	42595	40787	38254	34997
D4	0,154	0,155	0,154	0,150	0,144	0,135	0,123
V5, км/год	11,2	14,1	17,0	19,9	22,7	25,6	28,5
Pk5, Н	36846	37175	36898	36017	34530	32438	29740
Pw5, Н	64	101	147	201	263	334	413
Pk5-Pw5, Н	36782	37073	36752	35816	34267	32104	29328
D5	0,129	0,130	0,129	0,126	0,121	0,113	0,103
V6, км/год	16,9	21,2	25,5	29,9	34,2	38,5	42,8
Pk6, Н	24505	24724	24540	23954	22965	21573	19779
Pw6, Н	145	229	332	454	594	754	933
Pk6-Pw6, Н	24360	24495	24208	23500	22370	20819	18846
D6	0,086	0,086	0,085	0,083	0,079	0,073	0,066
V7, км/год	23,5	29,5	35,5	41,5	47,5	53,5	59,5
Pk7, Н	17630	17787	17655	17233	16522	15520	14230
Pw7, Н	281	443	641	877	1149	1457	1803
Pk7-Pw7, Н	17349	17344	17013	16356	15373	14063	12427
D7	0,061	0,061	0,060	0,058	0,054	0,049	0,044
V8, км/год	33,1	41,5	50,0	58,5	66,9	75,4	83,8
Pk8, Н	12517	12629	12535	12235	11730	11020	10103
Pw8, Н	557	878	1272	1739	2279	2891	3576
Pk8-Pw8, Н	11960	11750	11263	10496	9452	8129	6527
D8	0,042	0,041	0,040	0,037	0,033	0,029	0,023
Pψ	5684	5684	5684	5684	5684	5684	5684
Pw+Pψ	6241	6562	6956	7423	7963	8575	9260

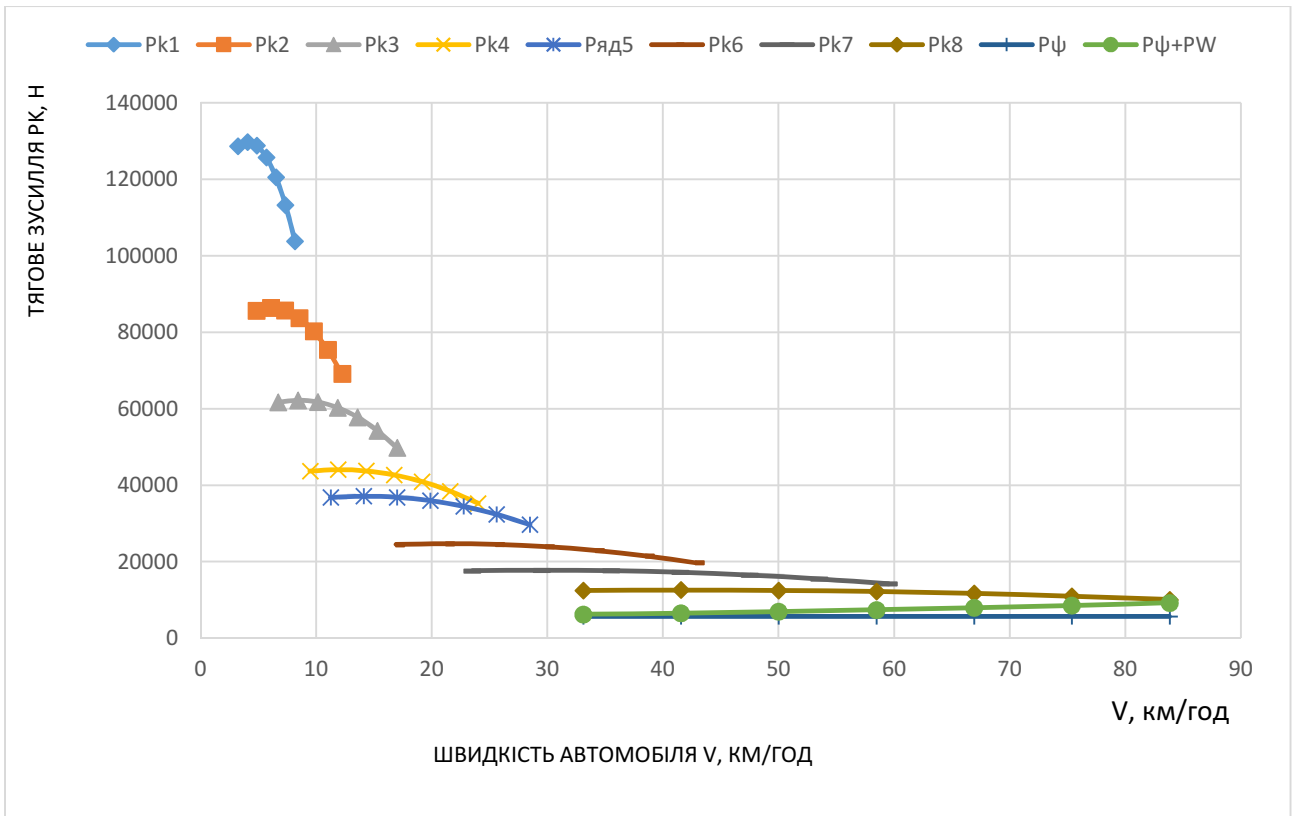


Рисунок 2.4 – Графік силового балансу автомобіля

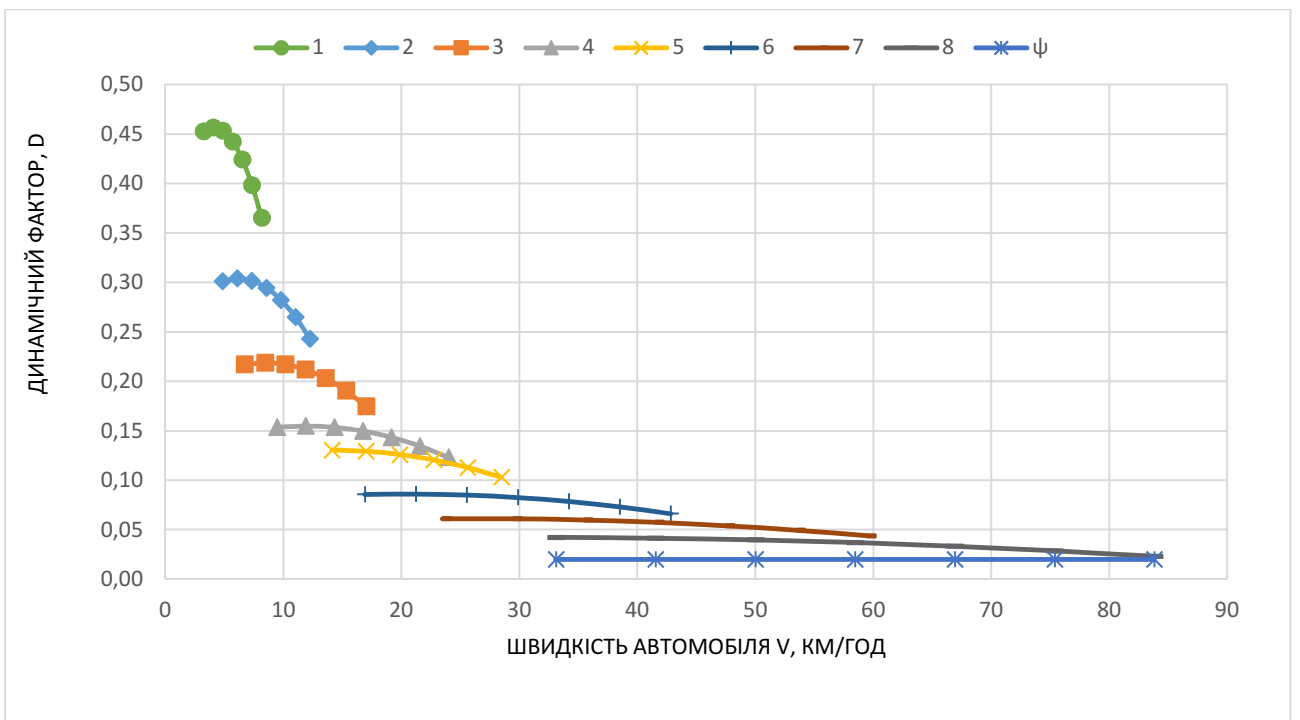


Рисунок 2.5 – Графік динамічної характеристики автомобіля

З рисунку 2.5 можна визначити, що максимальна швидкість для автомобіля КрАЗ-63221 2С22 складає 85 км/год.

2.4 Оцінка показників розгону автомобіля

Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D , використовують формулу

$$j = \frac{(D-\psi) \cdot g}{\delta}, \quad (2.15)$$

де D – динамічний фактор автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

g – прискорення вільного падіння;

δ_i – коефіцієнт впливу обертових мас.

Коефіцієнт впливу обертових мас, визначається послідовно для кожної передачі виходячи з такою залежністю

$$\delta_i \approx 1,04 + 0,04 \cdot u_{ki}^2, \quad (2.16)$$

де u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП.

У запропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 2С22 обчислені для зручності розрахунків за формулою (2.16) значення коефіцієнта впливу обертових мас складають:

для першої передачі $\delta_1 = 3,17$;

для другої передачі $\delta_2 = 1,98$;

для третьої передачі $\delta_3 = 1,53$;

для четвертої передачі $\delta_4 = 1,29$;

для п'ятої передачі $\delta_5 = 1,21$;

для шостої передачі $\delta_6 = 1,12$;

для сьомої передачі $\delta_7 = 1,08$;

для восьмої передачі $\delta_8 = 1,06$.

У разі побудови графіків прискорень і величин зворотних прискоренню для розглянутого випадку руху автомобіля КрАЗ-63221 2С22 дані значення визначаємо як $V_{\max} = 75,36$ км/год.

Таблиця 2.5 – Величини необхідні для побудови графіків прискорень і зворотніх прискоренню

Параметри	Значення параметрів						
n, об/хв	750	942	1133	1325	1517	1708	1900
V1, км/год	3,22	4,04	4,86	5,68	6,51	7,33	8,15
D1	0,45	0,46	0,45	0,44	0,42	0,40	0,37
D1-ψ	0,43	0,44	0,43	0,42	0,40	0,38	0,35
j1, м/с ²	1,34	1,35	1,34	1,31	1,25	1,17	1,07
1/j1, с ² /м	0,75	0,74	0,75	0,77	0,80	0,85	0,94
V2, км/год	4,83	6,07	7,30	8,54	9,77	11,01	12,24
D2	0,30	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,24
D2- ψ	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,22
j2, м/с ²	1,39	1,40	1,39	1,36	1,30	1,21	1,10
1/j2, с ² /м	0,72	0,71	0,72	0,74	0,77	0,83	0,91
V3, км/год	6,71	8,43	10,14	11,86	13,57	15,29	17,00
D3	0,22	0,22	0,22	0,21	0,20	0,19	0,17
D3- ψ	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15
j3, м/с ²	1,26	1,27	1,26	1,23	1,17	1,09	0,99
1/j3, с ² /м	0,79	0,78	0,79	0,81	0,85	0,91	1,01
V4, км/год	9,47	11,89	14,31	16,73	19,15	21,57	24,00
D4	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
D4- ψ	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
j4, м/с ²	1,02	1,03	1,02	0,99	0,94	0,87	0,79
1/j4, с ² /м	0,98	0,97	0,98	1,01	1,06	1,15	1,27
V5, км/год	11,24	14,11	16,98	19,86	22,73	25,60	28,47
D5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
D5- ψ	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08
j5, м/с ²	0,88	0,89	0,88	0,86	0,81	0,75	0,67
1/j5, с ² /м	1,13	1,12	1,13	1,17	1,23	1,33	1,49

Продовження таблиці 2.5

V6, км/год	16,90	21,22	25,54	29,86	34,17	38,49	42,81
D6	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
D6- ψ	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05
j6, м/с ²	0,58	0,58	0,57	0,55	0,51	0,47	0,41
1/j6, с ² /м	1,73	1,72	1,75	1,82	1,94	2,14	2,46
V7, км/год	23,49	29,49	35,50	41,50	47,50	53,51	59,51
D7	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
D7- ψ	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
j7, м/с ²	0,37	0,37	0,36	0,34	0,31	0,27	0,22
1/j7, с ² /м	2,69	2,69	2,76	2,93	3,23	3,74	4,64
V8, км/год	33,09	41,54	50,00	58,45	66,91	75,36	83,82
D8	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
D8- ψ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
j8, м/с ²	0,20	0,20	0,18	0,16	0,12	0,08	0,03

Даною швидкості відповідають значення $j = 0,08 \text{ м / с}^2$ і $1 / j = 12,58 \text{ с}^2/\text{м}$.

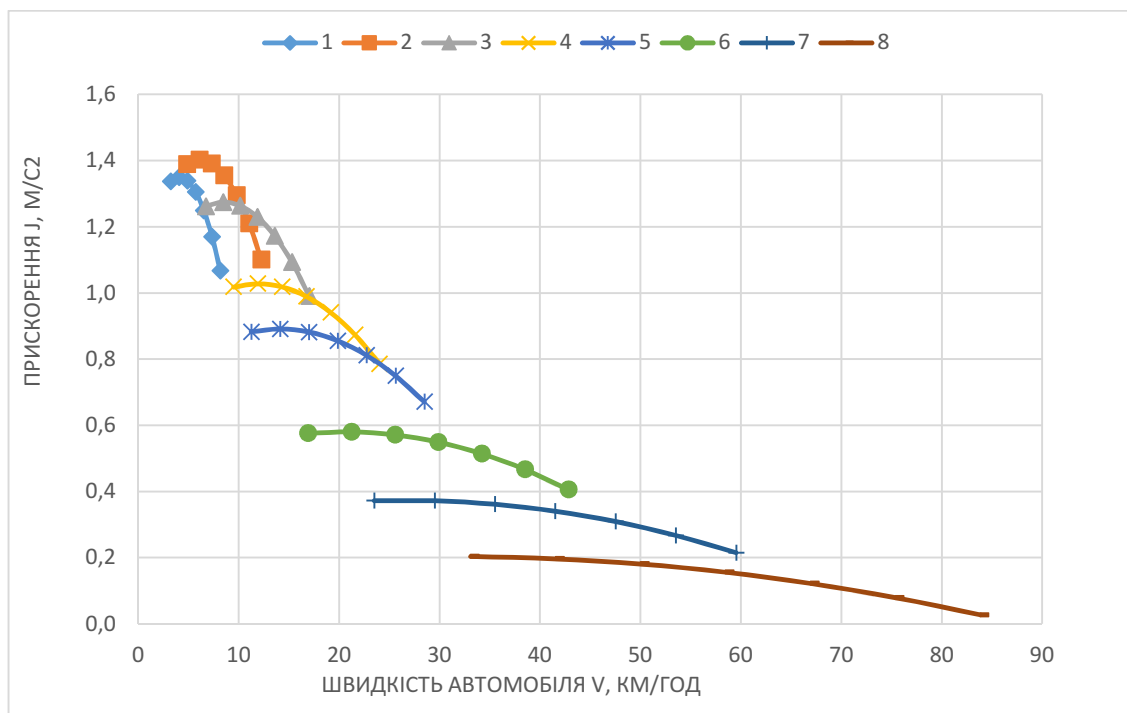
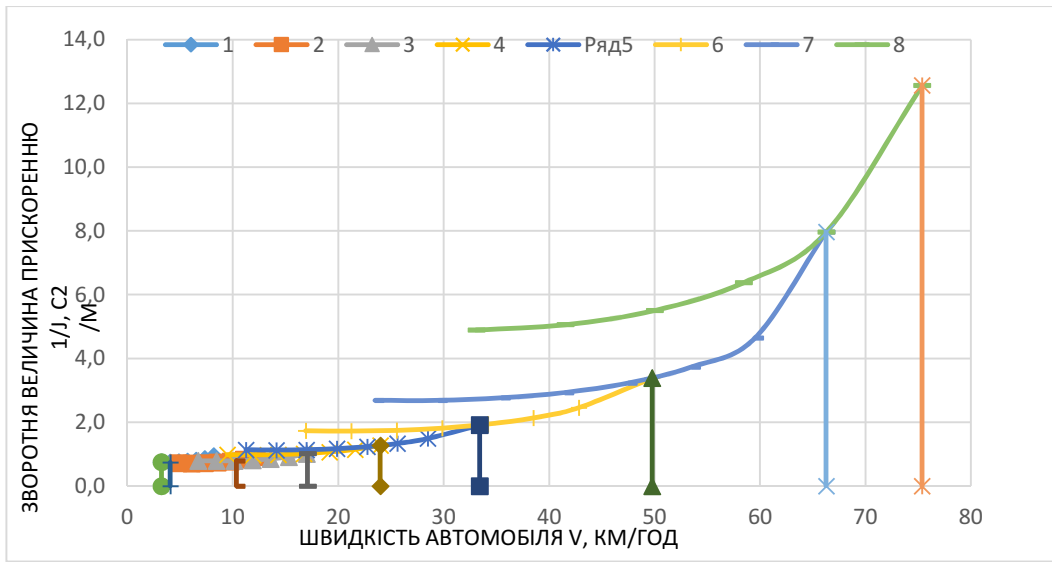


Рисунок 2.6 – Графік прискорень автомобіля



Рисунок

Рисунок 2.7 – Графік величин, які обернені прискоренням автомобіля

$$t_i = m_{1/j} \cdot m_v \cdot F_{ti} = 1 \cdot 1 \cdot F_{ti} , \tag{2.17}$$

де $m_{1/j}$ – обраний масштаб для величин що зворотні прискоренню;
 m_v – масштаби швидкості;
 F_{ti} – площа і-тої ділянки на графіку величин, зворотних прискорень.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків часу розгону

Параметри	Значення параметрів								
$V, \text{ км/год}$	3,22	4,06	10,33	17,08	23,97	33,40	49,76	66,26	75,36
$F_{fi}, \text{ м}^2$	0,00	3,14	22,99	29,44	38,50	72,34	272,00	383,42	444,33
$S_{Fi}, \text{ м}^2$	0,00	3,14	26,13	55,57	94,07	166,41	438,41	821,83	1266,16
$t, \text{ с}$	0,00	0,17	1,45	3,09	5,23	9,25	24,36	45,66	70,34

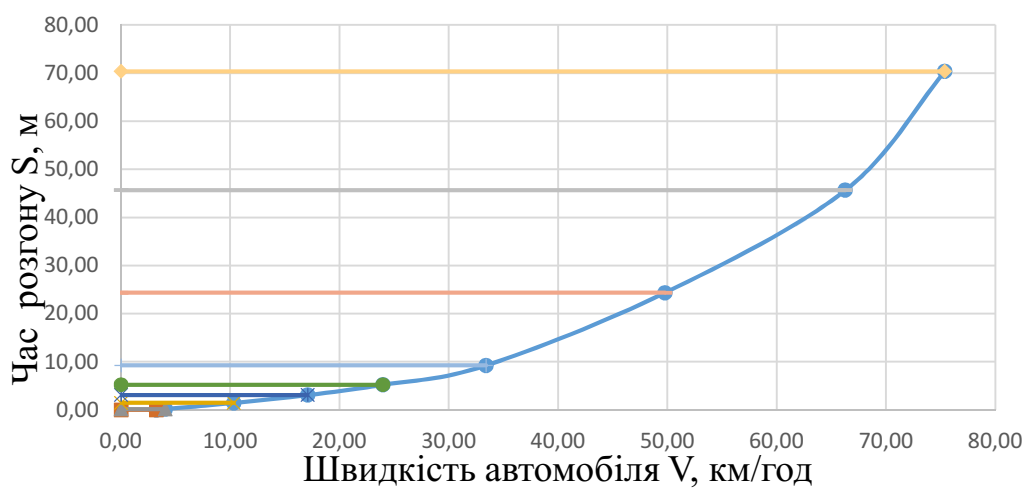


Рисунок 2.8– Графік часу розгону АТС

Шлях розгону автомобіля на i -тому ділянці S_i (м) від швидкості V_i до V_{i+1} визначається як добуток площі F_{si} на масштаби по осі абсциси і осі ординати.

$$S_i = m_t \cdot m_v \cdot F_{si} = 1 \cdot 1 \cdot F_{si}, \quad (2.18)$$

де m_t [с / мм] – масштаб часу;

F_{si} – площа разом ділянки на графіку $t = f(V)$, мм².

За результатами підрахунку площі ділянок та дедалі більшої суми площ, розраховується шлях розгону автомобіля S . Результати розрахунків зводяться в таблицю 2.7 і будується графік шляху розгону автомобіля КрАЗ-63221 2С22.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків шляху розгону

Параметри	Розрахункові значення параметрів								
V, км/год	3,22	4,06	10,33	17,08	23,97	33,40	49,76	66,26	75,36
F_{Si} , мм ²	0	0,61	9,25	22,68	44,24	116,43	472,27	1256,53	1763,50
ΣF_S мм ²	0	0,61	9,86	32,54	76,78	193,21	665,48	1922,01	3685,51
S, м	0	0,17	2,74	9,04	21,33	53,67	184,86	533,89	1023,75

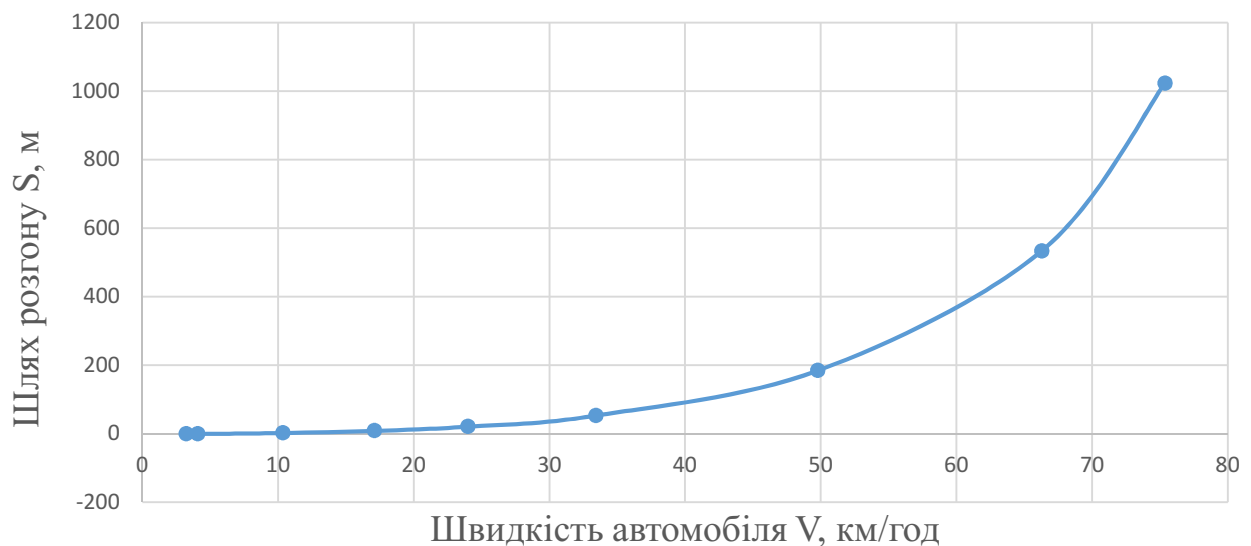


Рисунок 2.9 – Графік шляху розгону АТС

З графіку розгону автомобіля отримано, що для досягнення автомобілем швидкості 75 км/год потрібен шлях 1000 м.

2.5 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля

Рівняння балансу потужності двигуна можуть бути виражене через потужність на колесах N_k

$$N_k - N_\psi - N_W - N_j = 0, \quad (2.19)$$

де N_k – потужність, ведучих коліс;

N_ψ , – потужність, що витрачається на подолання сумарних дорожніх опорів

N_W – потужність, що витрачається на подолання опору повітря;

N_j – потужність, яка використовується для розгону.

Спочатку обчислюється потужність на ведучих колесах N_k . Цю величину визначають через потужність N_e , розвивається на колінчастому валу двигуна, з урахуванням потер в трансмісії

$$N_k = N_e \cdot \eta. \quad (2.20)$$

Значення потужностей N_ψ і N_W розраховуються з використанням величин P_ψ і P_W , взятих з таблиці 2.8 для вищої передачі з метою забезпечення всього діапазону швидкостей руху автомобіля КрАЗ-63221 2С22

$$N_\psi = \frac{P_\psi \cdot V}{3600}. \quad (2.21)$$

$$N_W = \frac{P_W \cdot V}{3600}. \quad (2.22)$$

Таблиця 2.8 – Величини потужнісного балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
n, об/хв	750	942	1133	1325	1517	1708	1900
N_e , кВт	144	182	218	248	272	288	294
N_k , кВт	115	146	174	199	218	231	235
V_1 , кВт	3,22	4,04	4,86	5,68	6,51	7,33	8,15
V_2 , кВт	4,83	6,07	7,30	8,54	9,77	11,01	12,24
V_3 , кВт	6,71	8,43	10,14	11,86	13,57	15,29	17,00
V_4 , кВт	9,47	11,89	14,31	16,73	19,15	21,57	24,00

Продовження таблиці 2.8

$V5$, кВт	11,24	14,11	16,98	19,86	22,73	25,60	28,47
$V6$, кВт	16,90	21,22	25,54	29,86	34,17	38,49	42,81
$V7$, кВт	23,49	29,49	35,50	41,50	47,50	53,51	59,51
$V8$, кВт	33,09	41,54	50,00	58,45	66,91	75,36	83,82
N_{Ψ} , кВт	52,24	65,59	78,94	92,29	105,64	118,99	132,34
N_W , кВт	5,12	10,14	17,67	28,23	42,35	60,51	83,25
$N_{\Psi} + N_W$, кВт	57,36	75,72	96,61	120,52	147,98	179,50	215,59

На графіку потужнісного балансу будують такі залежності потужностей від швидкості руху автомобіля:

- $N_e = f(V)$ – тільки для вищої передачі;
- $N_k = f(V)$ – для всіх передач;
- $N_{\Psi} = f(V)$;
- $N_{\Psi} + N_W = f(V)$.

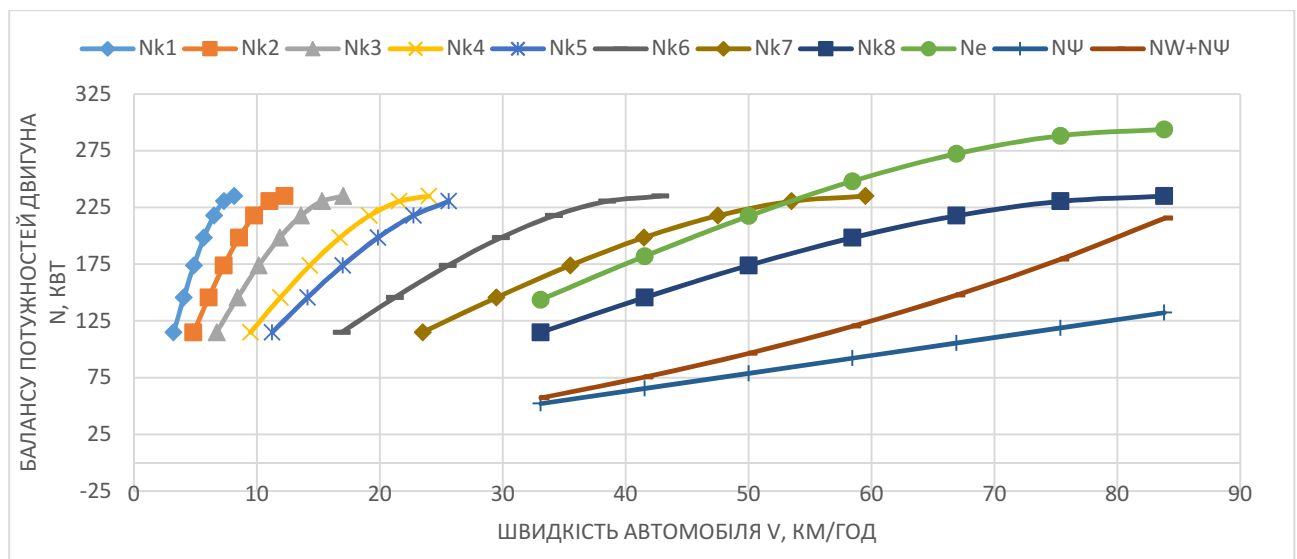


Рисунок 2.10 – Графік потужнісного балансу автомобіля

З графіку потужнісного балансу можна визначити необхідну потужність при різній швидкості автомобіля.

2.6 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля

За отриманими значеннями M_{emax} і M_N визначається коефіцієнт пристосовності двигуна

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{emax}}}{M_N} = \frac{1847}{1920} = 0,96 \quad (2.23)$$

Максимальний поздовжній ухил дороги, який може здолати визначається за формулою (2.24)

$$i_{\text{max}} = \psi_{\text{max}} - f. \quad (2.24)$$

Певні дані в нашому розрахунковому випадку для автомобіля КраЗ-63221 2С22 перераховані параметри складають

M_{emax}	1847,14 Н·м	$V_{\text{кр1}}$	4,040 км/год
M_N	1920 Н·м	$V_{\text{кр2}}$	6,1 км/год
ψ_{max1}	0,457	$V_{\text{кр3}}$	8,427 км/год
ψ_{max2}	0,304	$V_{\text{кр4}}$	11,893 км/год
ψ_{max3}	0,219	$V_{\text{кр5}}$	14,1 км/год
ψ_{max4}	0,155	$V_{\text{кр6}}$	21,218 км/год
ψ_{max5}	0,130	$V_{\text{кр7}}$	29,494 км/год
ψ_{max6}	0,086	$V_{\text{кр8}}$	33,1 км/год
ψ_{max7}	0,061	f	0,02
ψ_{max8}	0,042		

i_{max1}	0,437	43,7%
i_{max2}	0,284	28,4%
i_{max3}	0,199	19,9%
i_{max4}	0,135	13,5%
i_{max5}	0,110	11,0%
i_{max6}	0,066	6,6%
i_{max7}	0,041	4,1%
i_{max8}	0,022	2,2%

Для перевірки доцільності модернізації 2С22 виконаного на шасі автомобіля КраЗ-63221 побудуємо графіки ЗШХД для подальшого аналізу використання в якості силової установки пропонованого двигуна.

2.7 Вибір вихідних даних для пропонованого двигуна

З метою покращення тягово-швидкісних та потужнісних, а також екологічних показників автомобіля КрАЗ-63221 2С22 буде виконано встановлення двигуна CUMMINS ISX 15 400 [5]. Виробництво двигунів Cummins серії X тривало з 2010 по 2020 рік. Загальний вигляд двигуна CUMMINS ISX 15 400 представлено на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд двигуна CUMMINS ISX 15 400

Для визначення тягово-швидкісних та потужнісних показників автомобіля КрАЗ-63221 2С22 з двигуном CUMMINS ISX 15 400 виконаємо розрахунки, вихідні дані яких наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Вихідні дані для розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 2С22 з двигуном CUMMINS ISX 15 400

Вид автомобіля	-	вантажний
Повна маса, кг	m	29000
Марка і тип двигуна	-	CUMMINS ISX 15 400

Продовження таблиці 2.9

Максимальна потужність, кВт		Ne_{max}	321
Частота обертання валу двигуна при максимальній потужності, об/хв		nNe_{max}	1550
Наявність обмежувача частоти		-	присутній
Передавальні числа			
– коробки передач	першої передачі	U_{k1}	7,3
	другої передачі	U_{k2}	4,86
	третьої передачі	U_{k3}	3,50
	четвертої передачі	U_{k4}	2,48
	п'ятої передачі	U_{k5}	2,09
	шостої передачі	U_{k6}	1,39
	сьомої передачі	U_{k7}	1,00
	восьмої передачі	U_{k8}	0,71
– головної передачі		U_{k0}	8,173
Тип застосовуваних шин			550/75R21
Статичний радіус колеса, м		$R_{ст}$	0,679
Габаритні розміри			
– ширина, м		B	3,1
– висота, м		H	3,8
ККД трансмісії, %		η	0,80

Таблиця 2.10 – Реальні значення основних параметрів двигуна CUMMINS ISX 15 400

Реальні значення основних параметрів		
Максимальний крутний момент двигуна, Н м	Me_{max}	2237
Частота обертання валу двигуна при максимальному моменті, об/хв	n_M	1200

Визначив передавальні числа коробки передач визначимо швидкісної характеристики двигуна.

2.8 Побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики поршневого двигуна внутрішнього згорання використовують емпіричну формулу, що дозволяє по відомим координатам однієї точки швидкісної характеристики ($N_{e_{max}}$ і n_N) відтворити всю криву потужності

$$N_e = N_{e_{max}} \left[A_1 \cdot \frac{n}{n_N} + A_2 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 - A_3 \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^3 \right], \quad (2.25)$$

де N_e , кВт – поточне значення потужності двигуна, відповідне частоті обертання валу двигуна n , об/хв;

$N_{e_{max}}$, кВт – максимальна потужність двигуна при частоті обертання n_N , об/хв;

n_N , об/хв – частота обертання колінчастого валу двигуна при максимальній потужності;

n , об/хв – поточна частота обертання колінчастого валу двигуна.

Для вибору поточного значення n діапазон частоти обертання валу двигуна від мінімально стійких оборотів розбиваємо на 8 довільних ділянок з постійним інтервалом Δn

$$\Delta n = \frac{n_N - n_{min}}{8} \quad (2.26)$$

Мінімальну частоту обертання колінчастого валу приймаємо рівним n_{min} 750 об/хв

$$\Delta n = \frac{1550 - 750}{8} = 133 \text{ об/хв}$$

Визначивши величину N_e для прийнятих значень n , обчислюємо відповідні значення крутного моменту двигуна, Н·м

$$M_e = 9550 \frac{N_e}{n}. \quad (2.27)$$

Результати розрахунків за формулами зводимо в таблицю 2.11 і будуємо зовнішню швидкісну характеристику двигуна $N_e = f(n)$ і $M_e = f(n)$.

Таблиця 2.11 – Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики двигуна CUMMINS ISX 15 400

Параметри	Значення параметрів						
	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
n , об/хв	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
$A_1 \cdot n / n_N$	0,484	0,570	0,656	0,742	0,828	0,914	1,000
$A_2 \cdot (n / n_N)^2$	0,234	0,325	0,430	0,550	0,686	0,835	1,000
$A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,113	0,185	0,282	0,408	0,568	0,763	1,000
$A_1 \cdot n / n_N + A_2 \cdot (n / n_N)^2 - A_3 \cdot (n / n_N)^3$	0,605	0,710	0,804	0,884	0,946	0,986	1,000
N_e , кВт	194,11	227,78	258,07	283,76	303,63	316,45	321,00
M_e , Н · м	2471,7	2462,6	2424,1	2356,5	2259,5	2133,3	1977,8

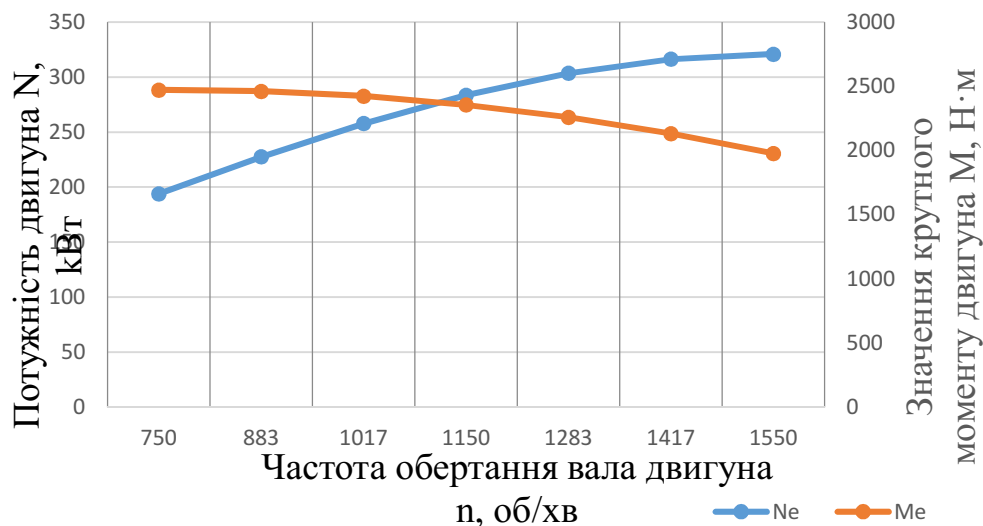


Рисунок 2.12 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

З рисунку 2.12 можна визначити, що розрахункова максимальна потужність складає 321 кВт, максимальний крутний момент 2471,7 Н·м.

2.9 Побудова графіків силового балансу

Для побудови графіків силового балансу послідовно, для всіх передач і швидкостей руху автомобіля розраховується значення всіх складових рівняння силового балансу автомобіля

$$P_k - P_\psi - P_W - P_j = 0, \quad (2.28)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах, Н;

P_ψ – сила сумарного дорожнього опору, Н;

P_W – сила опору повітря, Н;

P_j – сила опору розгону, Н.

Тягове зусилля на провідних колесах P_k визначають з виразу:

$$P_k = \frac{M_e \cdot u_{ki} \cdot u_o \cdot \eta}{r_d}, \quad (2.29)$$

де r_d – динамічний радіус колеса, в нормальних умовах руху приймають рівним r_{cm} , м;

M_e – крутний момент двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі;

η – ККД трансмісії автомобіля.

Друга складова рівняння силового балансу – сила сумарного дорожнього опору – визначається за формулою

$$P_\psi = \Psi \cdot G, \quad (2.30)$$

де $G = g \cdot m$ – повна вага автомобіля, Н;

$g = 9,8 \text{ м / с}^2$ – прискорення вільного падіння;

m – маса автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору.

Для розрахункового випадку сила сумарного дорожнього опору автомобіля КраЗ-63221 2С22 для розглянутих умов становить

$$G = 9,8 \cdot 29000 = 284200 \text{ Н};$$

$$\text{Заданий } \psi = 0,02;$$

$$P_\psi = 0,02 \cdot 284200 = 5684 \text{ Н}.$$

Третя складова рівняння силового балансу автомобіля – сила опору повітря, визначається згідно з формулою:

$$P_W = \frac{k \cdot F \cdot V^2}{3,6^2}, \quad (2.31)$$

де F – лобова площа автомобіля, м^2 ;

V – швидкість автомобіля, км/год;

k – коефіцієнт опору повітрю.

Лобову площу автомобіля F визначається за спрощеною формулою:

$$F = \alpha \cdot B \cdot H, \quad (2.32)$$

де B – ширина автомобіля;

H – висота автомобіля;

α – коефіцієнт заповнення площі.

Для наведеного розрахункового випадку лобова площа автомобіля КрАЗ-63221 2С22 визначається як

$$F = 0,8 \cdot 3,1 \cdot 3,8 = 9,42 \text{ м}^2 \quad (2.33)$$

де коефіцієнт заповнення площі – 0,8;

ширина автомобіля – 3,1 м;

висота автомобіля – 3,8 м.

Для побудови і подальшого аналізу графіків силового балансу величина P_j визначається як різниця тягового зусилля $P_{\kappa i}$ суми опорів руху $P_{\psi} + P_w$.

$$P_j = P_{\kappa} - (P_{\psi} + P_w). \quad (2.34)$$

Графік силового балансу і всі наступні графіки будують як функції швидкості автомобіля V , км/год, яка безпосередньо пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна n наступною залежністю:

$$V = 0,377 \cdot \frac{r_k \cdot n}{u_{ki} \cdot u_o}, \quad (2.35)$$

де $r_{\partial o}$ – радіус кочення колеса, м, рівний за відсутності прослизання статичному радіусу $R_{ст}$;

n – поточна частота обертання колінчастого вала двигуна;

u_{ki} – передавальне відношення і-тої передачі КПП;

u_o – передавальне відношення головної передачі.

Динамічний фактор автомобіля D послідовно визначається для всіх передач і швидкостей руху по формулі

$$D = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (2.36)$$

де P_k – тягове зусилля на ведучих колесах;

P_w – сила опору повітря;

G – повна маса автомобіля.

Так, в пропонуваному розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 2С22 загальний коефіцієнт для розрахунку тягового зусилля складе:

- для тягового зусилля на першій передачі $P_{k1} = 70,30 \cdot \text{Ме};$
- для тягового зусилля на другій передачі $P_{k2} = 46,80 \cdot \text{Ме};$
- для тягового зусилля на третій передачі $P_{k3} = 33,70 \cdot \text{Ме};$
- для тягового зусилля на четвертій передачі $P_{k4} = 23,88 \cdot \text{Ме};$
- для тягового зусилля на п'ятій передачі $P_{k5} = 20,13 \cdot \text{Ме}.$
- для тягового зусилля на шостій передачі $P_{k6} = 13,38 \cdot \text{Ме}.$
- для тягового зусилля на сьомій передачі $P_{k7} = 9,63 \cdot \text{Ме}.$
- для тягового зусилля на восьмій передачі $P_{k8} = 6,84 \cdot \text{Ме}.$

Для розрахунку швидкості V_i автомобіля КрАЗ-63221 2С22, загальні коефіцієнти для різних передач відповідно складуть

- для першої передачі $V_1 = 0,0043 \cdot n,$
- для другої передачі $V_2 = 0,0064 \cdot n,$
- для третьої передачі $V_3 = 0,0089 \cdot n,$
- для четвертої передачі $V_4 = 0,0129 \cdot n,$
- для п'ятої передачі $V_5 = 0,0150 \cdot n.$
- для шостої передачі $V_6 = 0,0225 \cdot n.$
- для сьомої передачі $V_7 = 0,0313 \cdot n.$
- для восьмої передачі $V_8 = 0,0441 \cdot n.$

Для сили опору повітря відповідно загальний коефіцієнт складе

$$P_w = 0,509 \cdot V_i. \quad (2.37)$$

Таблиця 2.12 – Розрахунок величин силового балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
n , об/хв	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
Ме , Н·м	2472	2463	2424	2356	2259	2133	1978
V_1 , км/год	3,2	3,8	4,4	4,9	5,5	6,1	6,7
P_{k1} , Н	173748	173105	170405	165647	158831	149958	139028
P_{w1} , Н	5	7	10	12	15	19	23

Продовження таблиці 2.12

Pk1-Pw1, Н	173743	173098	170395	165635	158816	149939	139005
D1	0,611	0,609	0,600	0,583	0,559	0,528	0,489
V2, км/ГОД	4,8	5,7	6,6	7,4	8,3	9,1	10,0
Pk2, Н	115674	115246	113448	110280	105743	99835	92558
Pw2,Н	12	16	22	28	35	42	51
Pk2-Pw2, Н	115662	115229	113426	110252	105708	99793	92507
D2	0,407	0,405	0,399	0,388	0,372	0,351	0,326
V3, км/ГОД	6,7	7,9	9,1	10,3	11,5	12,7	13,9
Pk3, Н	83304	82996	81701	79420	76152	71898	66657
Pw3, Н	23	32	42	54	67	82	98
Pk3-Pw3, Н	83281	82964	81659	79366	76085	71816	66559
D3	0,293	0,292	0,287	0,279	0,268	0,253	0,234
V4, км/ГОД	9,5	11,2	12,8	14,5	16,2	17,9	19,6
Pk4, Н	59027	58808	57891	56275	53959	50945	47231
Pw4, Н	46	63	84	107	134	163	195
Pk4-Pw4, Н	58981	58745	57807	56167	53825	50782	47036
D4	0,208	0,207	0,203	0,198	0,189	0,179	0,166
V5, км/ГОД	11,2	13,2	15,2	17,2	19,2	21,2	23,2
Pk5, Н	49744	49560	48787	47425	45474	42933	39804
Pw5, Н	64	89	118	151	188	229	275
Pk5-Pw5, Н	49680	49471	48669	47274	45285	42704	39529
D5	0,175	0,174	0,171	0,166	0,159	0,150	0,139
V6, км/ГОД	16,9	19,9	22,9	25,9	28,9	31,9	34,9
Pk6, Н	33084	32961	32447	31541	30243	28554	26472
Pw6, Н	145	202	267	342	426	519	621
Pk6-Pw6, Н	32938	32760	32180	31199	29818	28035	25851
D6	0,116	0,115	0,113	0,110	0,105	0,099	0,091
V7, км/ГОД	23,5	27,7	31,8	36,0	40,2	44,4	48,5
Pk7, Н	23801	23713	23343	22691	21758	20542	19045
Pw7,Н	281	390	516	660	822	1002	1200
Pk7-Pw7, Н	23520	23323	22827	22031	20935	19540	17845
D7	0,083	0,082	0,080	0,078	0,074	0,069	0,063
V8, км/ГОД	33,1	39,0	44,8	50,7	56,6	62,5	68,4
Pk8, Н	16899	16836	16574	16111	15448	14585	13522

Продовження таблиці 2.12

P_{w8}, H	557	773	1024	1310	1631	1988	2380
$P_{k8}-P_{w8}, H$	16342	16063	15550	14801	13817	12597	11142
D_8	0,058	0,057	0,055	0,052	0,049	0,044	0,039
P_{ψ}	5684	5684	5684	5684	5684	5684	5684
P_w+P_{ψ}	6241	6457	6708	6994	7315	7672	8064

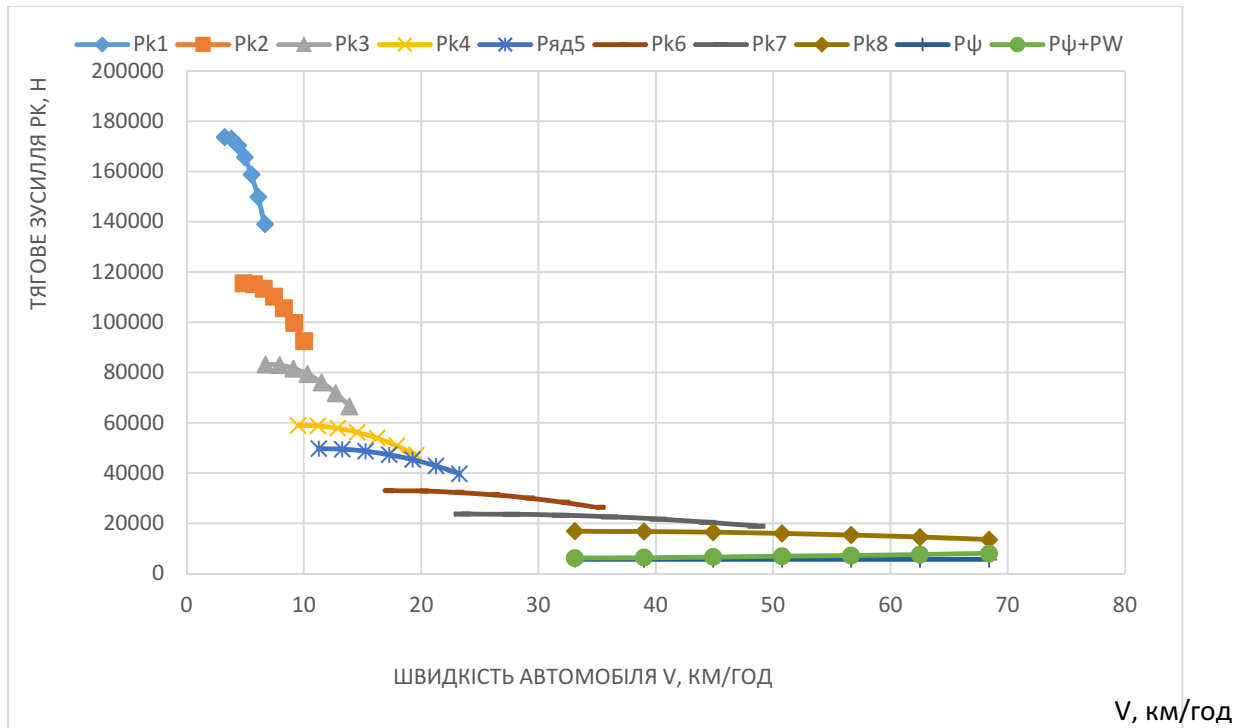


Рисунок 2.13 – Графік силового балансу автомобіля

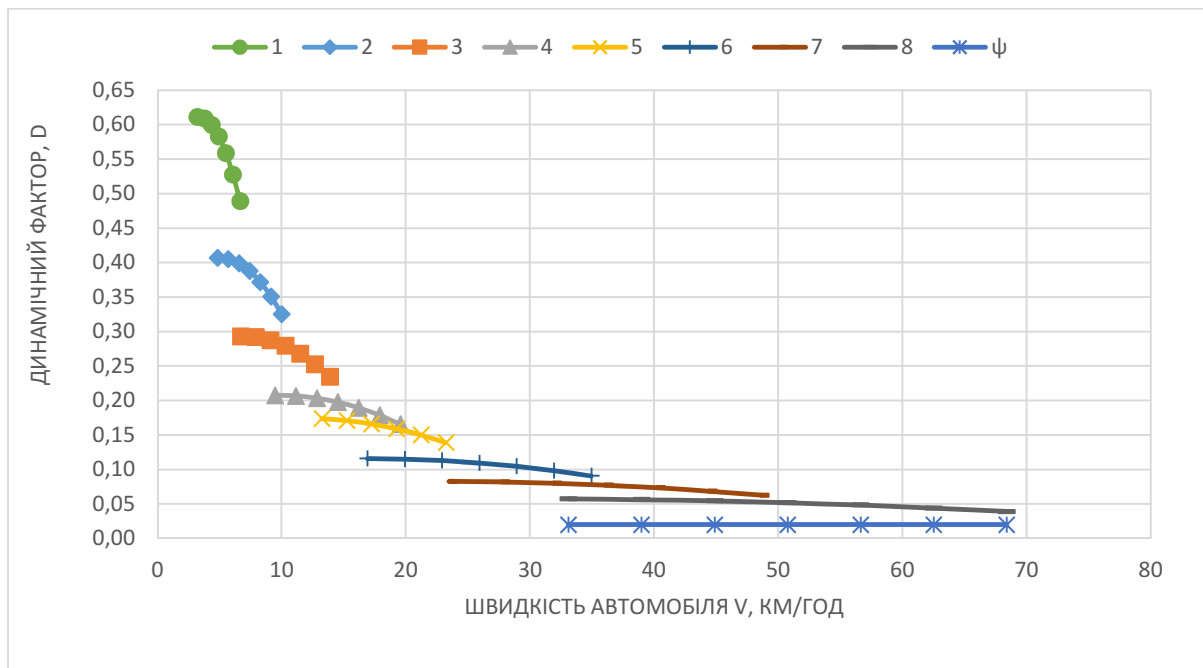


Рисунок 2.14 – Графік динамічної характеристики автомобіля

2.10 Оцінка показників розгону автомобіля

Прискорення j для різних передач і швидкостей визначають за значеннями D , використовують формулу

$$j = \frac{(D-\psi) \cdot g}{\delta}, \quad (2.38)$$

де D – динамічний фактор автомобіля;

ψ – коефіцієнт дорожнього опору;

g – прискорення вільного падіння;

δ_i – коефіцієнт впливу обертових мас.

Коефіцієнт впливу обертових мас, визначається послідовно для кожної передачі виходячи з такою залежністю

$$\delta_i \approx 1,04 + 0,04 \cdot u_{ki}^2, \quad (2.39)$$

де u_{ki} – передавальне відношення i -тої передачі КПП.

У запропонованому розрахунку автомобіля КрАЗ-63221 2С22 обчислені для зручності розрахунків за формулою (2.39) значення коефіцієнта впливу обертових мас складають

для першої передачі $\delta_1 = 3,17$;

для другої передачі $\delta_2 = 1,98$;

для третьої передачі $\delta_3 = 1,53$;

для четвертої передачі $\delta_4 = 1,29$,

для п'ятої передачі $\delta_5 = 1,21$,

для шостої передачі $\delta_6 = 1,12$,

для сьомої передачі $\delta_7 = 1,08$,

для восьмої передачі $\delta_8 = 1,06$,

У разі побудови графіків прискорень і величин зворотних прискоренню для розглянутого випадку руху автомобіля КрАЗ-63221 2С22 дані значення визначаємо як $V_{\max} = 75,36$ км/год.

Таблиця 2.13 – Величини необхідні для побудови графіків прискорень і зворотніх прискоренню

Параметри	Значення параметрів						
n, об/хв	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
V1, км/ГОД	3,22	3,79	4,36	4,93	5,51	6,08	6,65
D1	0,61	0,61	0,60	0,58	0,56	0,53	0,49
D1-ψ	0,59	0,59	0,58	0,56	0,54	0,51	0,47
j1, м/с ²	1,83	1,82	1,79	1,74	1,66	1,57	1,45
1/j1, с ² /м	0,55	0,55	0,56	0,58	0,60	0,64	0,69
V2, км/ГОД	4,83	5,69	6,55	7,41	8,27	9,13	9,99
D2	0,41	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35	0,33
D2- ψ	0,39	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,31
j2, м/с ²	1,91	1,90	1,87	1,82	1,74	1,64	1,51
1/j2, с ² /м	0,52	0,53	0,53	0,55	0,58	0,61	0,66
V3, км/ГОД	6,71	7,90	9,10	10,29	11,48	12,68	13,87
D3	0,29	0,29	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23
D3- ψ	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,23	0,21
j3, м/с ²	1,75	1,74	1,71	1,66	1,59	1,49	1,37
1/j3, с ² /м	0,57	0,57	0,58	0,60	0,63	0,67	0,73
V4, км/ГОД	9,47	11,16	12,84	14,52	16,21	17,89	19,58
D4	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17
D4- ψ	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15
j4, м/с ²	1,43	1,42	1,40	1,35	1,29	1,21	1,11
1/j4, с ² /м	0,70	0,70	0,72	0,74	0,77	0,83	0,90
V5, км/ГОД	11,24	13,24	15,24	17,23	19,23	21,23	23,23
D5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14
D5- ψ	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
j5, м/с ²	1,25	1,24	1,22	1,18	1,12	1,05	0,96
1/j5, с ² /м	0,80	0,80	0,82	0,85	0,89	0,95	1,04
V6, км/ГОД	16,90	19,90	22,91	25,91	28,92	31,92	34,93
D6	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09
D6- ψ	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07
j6, м/с ²	0,84	0,84	0,82	0,79	0,74	0,69	0,62
1/j6, с ² /м	1,19	1,20	1,22	1,27	1,34	1,45	1,61
V7, км/ГОД	23,49	27,67	31,84	36,02	40,19	44,37	48,55

Продовження таблиці 2.13

D7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06
D7- ψ	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04
$j7, \text{ м/с}^2$	0,57	0,56	0,55	0,52	0,49	0,44	0,39
$1/j7, \text{ с}^2/\text{м}$	1,76	1,78	1,83	1,92	2,05	2,26	2,58
V8, км/ГОД	33,09	38,97	44,85	50,73	56,61	62,49	68,38
D8	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
D8- ψ	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
$j8, \text{ м/с}^2$	0,35	0,34	0,32	0,30	0,26	0,22	0,18

Даною швидкості відповідають значення $j = 0,22 \text{ м / с}^2$ і $1 / j = 4,45 \text{ с}^2/\text{м}$.

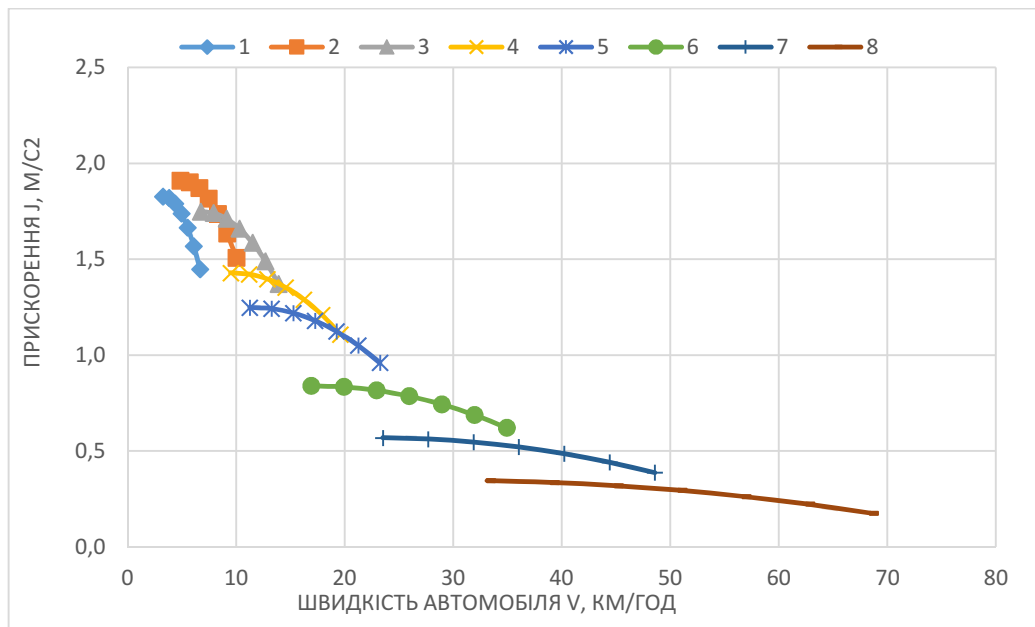


Рисунок 2.15 – Графік прискорень автомобіля

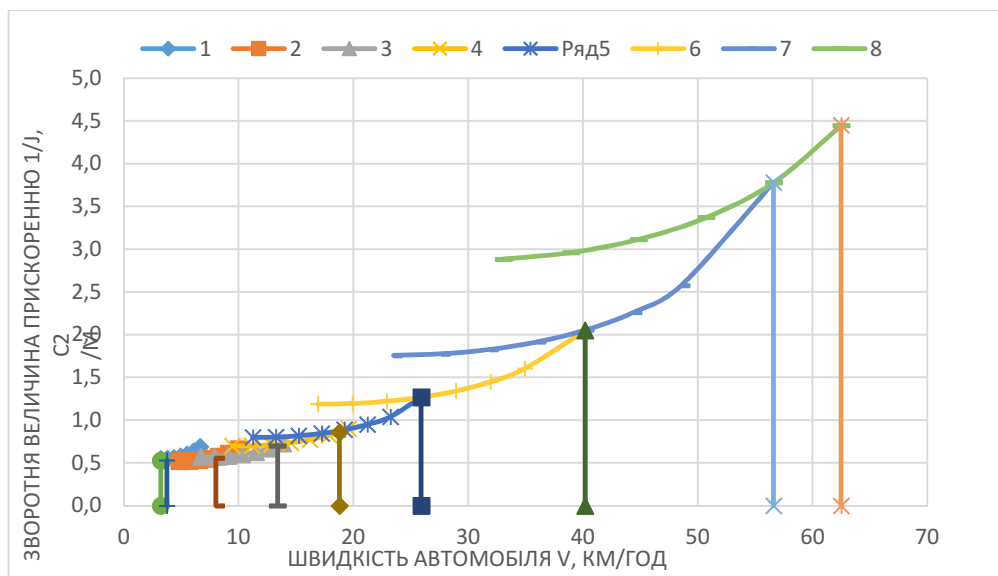


Рисунок 2.16 – Графік величин, які обернені прискоренням автомобіля

$$t_i = m_{\frac{1}{j}} \cdot m_V \cdot F_{ti} = 1 \cdot 1 \cdot F_{ti}, \quad (2.40)$$

де $m_{1,j}$ – обраний масштаб для величин що зворотні прискоренню;

m_V – масштаби швидкості;

F_{ti} – площа і-тої ділянки на графіку величин, зворотних прискорень.

Таблиця 2.14 – Результати розрахунків часу розгону

Параметри	Значення параметрів								
$V, \text{ км / год}$	3,22	3,75	8,01	13,40	18,80	25,91	40,19	56,61	62,49
$F_{fi}, \text{ м}^2$	0,00	2,80	22,25	32,75	41,34	68,63	192,42	370,05	262,56
$S_{Fi}, \text{ м}^2$	0,00	2,80	25,05	57,80	99,14	167,77	360,19	730,24	992,80
$t, \text{ с}$	0,00	0,16	1,39	3,21	5,51	9,32	20,01	40,57	55,16

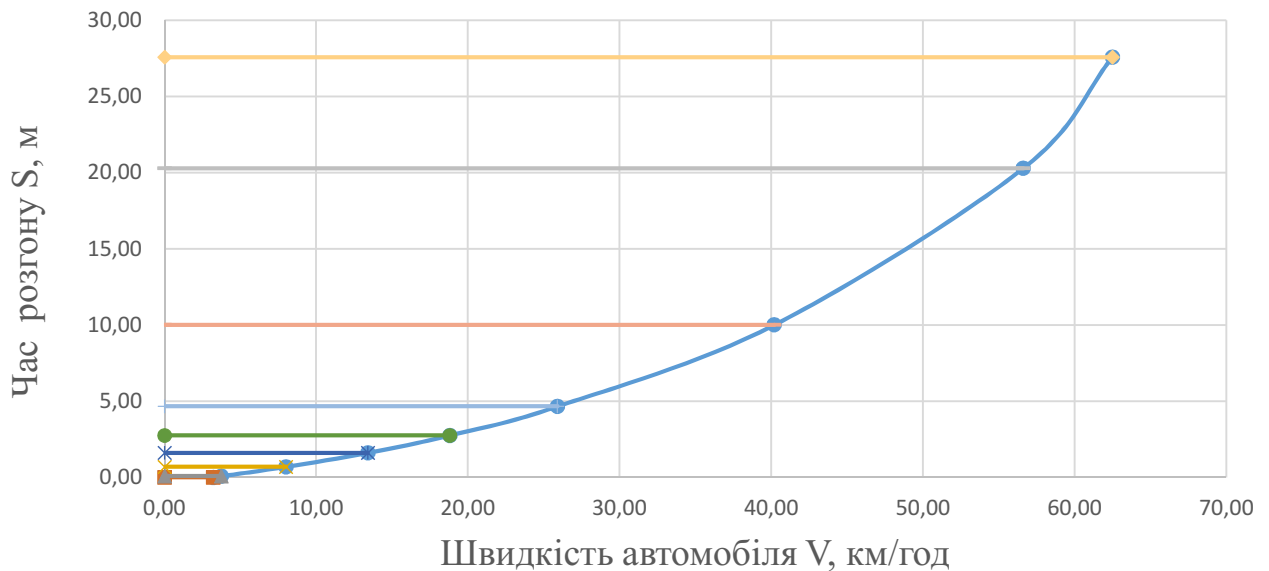


Рисунок 2.17 – Графік часу розгону АТС

Шлях розгону автомобіля на і -тому ділянці S_i (м) від швидкості V_i до V_{i+1} визначається як добуток площі F_{ti} на масштаби по осі абсциси і осі ординати.

$$S_i = m_t \cdot m_V \cdot F_{si} = 1 \cdot 1 \cdot F_{si}, \quad (2.41)$$

де m_t [с / мм] – масштаб часу;

F_{si} – площа разом ділянки на графіку $t = f(V)$, мм².

За результатами підрахунку площі ділянок та дедалі більшої суми площ, розраховується шлях розгону автомобіля S . Результати розрахунків зводяться в таблицю 2.15 і будується графік шляху розгону автомобіля КрАЗ-63221 2С22.

Таблиця 2.15 – Результати розрахунків шляху розгону

Параметри	Розрахункові значення параметрів								
	V , км/год	3,22	3,75	8,01	13,40	18,80	25,91	40,19	56,61
F_{Si} , мм ²	0	0,59	7,48	17,66	34,78	90,17	362,39	998,77	1430,92
ΣF_S мм ²	0	0,59	8,07	25,73	60,51	150,68	513,07	1511,84	2942,76
S , м	0	0,16	2,24	7,15	16,81	41,86	142,52	419,96	817,43



Рисунок 2.18 – Графік шляху розгону АТС

З графіку розгону автомобіля отримано, що для досягнення автомобілем швидкості 65 км/год потрібен шлях 800 м.

2.11 Побудова графіка потужнісного балансу автомобіля

Рівняння балансу потужності двигуна можуть бути виражене через потужність на колесах N_k

$$N_k - N_\psi - N_W - N_j = 0, \quad (2.42)$$

де N_k – потужність, ведучих коліс;

N_ψ , – потужність, що витрачається на подолання сумарних дорожніх опорів

N_W – потужність, що витрачається на подолання опору повітря;

N_j – потужність, яка використовується для розгону.

Спочатку обчислюється потужність на ведучих колесах N_k . Цю величину визначають через потужність N_e , розвивається на колінчастому валу двигуна, з урахуванням потер в трансмісії

$$N_k = N_e \cdot \eta. \quad (2.43)$$

Значення потужностей N_ψ і N_W розраховуються з використанням величин P_ψ і P_W , для вищої передачі з метою забезпечення всього діапазону швидкостей руху автомобіля КрАЗ-63221 2С22

$$N_\psi = \frac{P_\psi \cdot V}{3600}. \quad (2.44)$$

$$N_W = \frac{P_W \cdot V}{3600}. \quad (2.45)$$

Таблиця 2.16 – Величини потужнісного балансу автомобіля

Параметри	Значення параметрів						
n , об/хв	750	883	1017	1150	1283	1417	1550
N_e , кВт	194	228	258	284	304	316	321
N_k , кВт	155	182	206	227	243	253	257
V_1 , кВт	3,22	3,79	4,36	4,93	5,51	6,08	6,65
V_2 , кВт	4,83	5,69	6,55	7,41	8,27	9,13	9,99
V_3 , кВт	6,71	7,90	9,10	10,29	11,48	12,68	13,87
V_4 , кВт	9,47	11,16	12,84	14,52	16,21	17,89	19,58
V_5 , кВт	11,24	13,24	15,24	17,23	19,23	21,23	23,23
V_6 , кВт	16,90	19,90	22,91	25,91	28,92	31,92	34,93
V_7 , кВт	23,49	27,67	31,84	36,02	40,19	44,37	48,55
V_8 , кВт	33,09	38,97	44,85	50,73	56,61	62,49	68,38
N_ψ , кВт	52,24	61,52	70,81	80,10	89,38	98,67	107,96
N_W , кВт	5,12	8,37	12,75	18,46	25,65	34,51	45,20
$N_\psi + N_W$, кВт	57,36	69,89	83,57	98,56	115,04	133,18	153,16

На графіку потужностного балансу будують такі залежності потужностей від швидкості руху автомобіля:

- $N_e = f(V)$ – тільки для вищої передачі;
- $N_k = f(V)$ – для всіх передач;
- $N_\psi = f(V)$;
- $N_\psi + N_W = f(V)$.

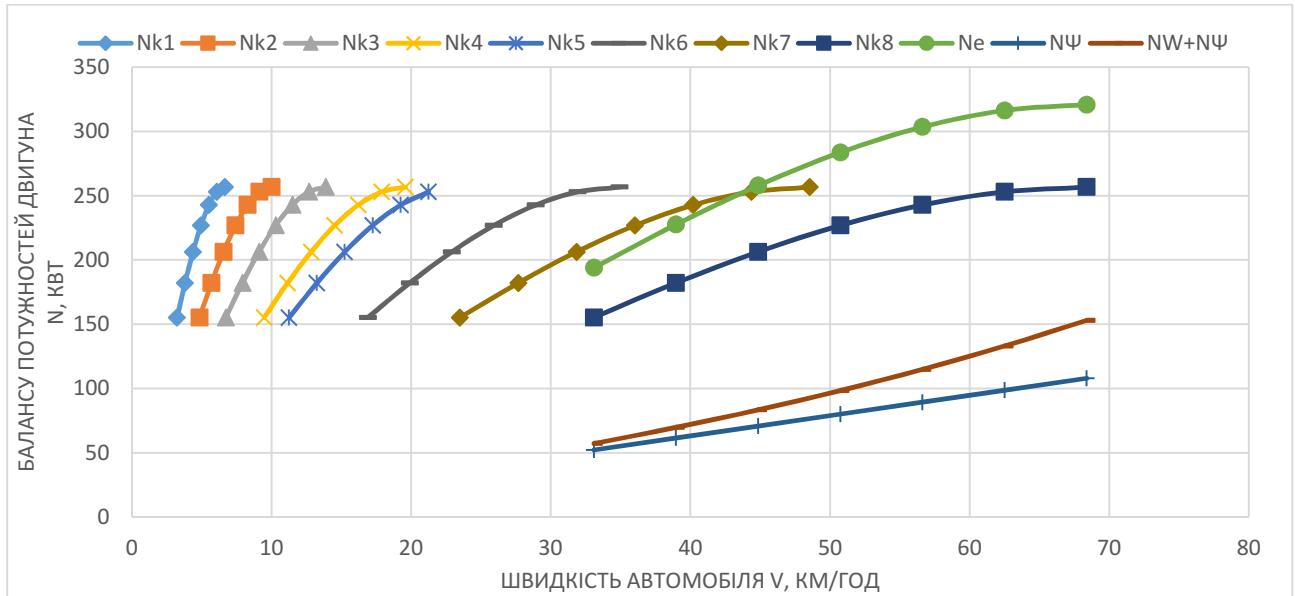


Рисунок 2.19 – Графік потужнісного балансу автомобіля

З графіку потужнісного балансу можна визначити необхідну потужність при різній швидкості автомобіля.

2.12 Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля

За отриманими значеннями M_{emax} і M_N визначається коефіцієнт пристосовності двигуна

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{emax}}}{M_N} = \frac{2471,7}{2237} = 1,1. \quad (2.46)$$

Максимальний поздовжній ухил дороги, який може здолати визначається за формулою (2.47)

$$i_{\text{max}} = \psi_{\text{max}} - f. \quad (2.47)$$

Певні в нашому розрахунковому випадку для автомобіля КрАЗ-63221 2С22 перераховані параметри складають

M_{max}	2471,70 Н·м	V _{кр1}	3,790 км/год	i _{max1}	0,589	58,9 %
M_N	2237 Н·м	V _{кр2}	5,7 км/год	i _{max2}	0,385	38,5 %
ψ_{max1}	0,609	V _{кр3}	6,7 км/год	i _{max3}	0,273	27,3 %
ψ_{max2}	0,405	V _{кр4}	9,5 км/год	i _{max4}	0,188	18,8 %
ψ_{max3}	0,293	V _{кр5}	11,2 км/год	i _{max5}	0,155	15,5 %
ψ_{max4}	0,208	V _{кр6}	16,9 км/год	i _{max6}	0,096	9,6 %
ψ_{max5}	0,175	V _{кр7}	23,49 км/год	i _{max7}	0,063	6,3 %
ψ_{max6}	0,116	V _{кр8}	33,09км/год	i _{max8}	0,038	3,8 %
ψ_{max7}	0,083	f	0,02			
ψ_{max8}	0,058					

Таблиця 2.17 – Порівняльні дані основних технічних параметрів двигунів Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40 та Cummins ISX 15

Технічний параметр двигуна	Модель двигуна	
	Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40	Cummins ISX 15
Тип двигуна	Дизельний з турбонаддувом	Дизельний з турбонаддувом
Кількість та розташування циліндрів	6, рядний	6, рядний
Робочий об'єм двигуна, л	11,6	14,9
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	294 (400)	321 (437)
Частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, мін^{-1}	1900	1500
Максимальний крутний момент, Н·м	1920	2237
Частота обертання при максимальному крутному моменті, мін^{-1}	1300	1200
Витрата палива, л/100 км	39	37
Габаритні розміри, (ДхШхВ), мм	1508x890x1225	1503x957x1298
Екологічний стандарт	EURO-3	EURO-3

Порівняння отриманих графіків ЗШХД колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана» на шасі автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40, і колісної самохідної гаубиці 2С22 «Богдана» на шасі автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном CUMMINS ISX 15 400 показує:

– витрата палива в автомобіля КрАЗ 63221 обладнаного дизельним двигуном CUMMINS ISX 15 400 є меншою, що в свою чергу підвищує економічність двигуна.

– КрАЗ 63221 обладнаний дизельним двигуном CUMMINS ISX 15 400 має більші значення крутного моменту, що добре виражається на його тягово-швидкісних показниках.

– автомобіль КрАЗ 63221 обладнаний дизельним двигуном CUMMINS ISX 15 400 в порівнянні з аналогічним автомобілем з двигуном Weichai серії WP12, моделі WP12.400 E40 має більші значення потужності, що добре виражається на його динамічних показниках.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок економічної доцільності модернізації аварійно рятувального авто на шасі КрАЗ-63221

Метою даного розділу дипломної роботи є визначення економічної доцільності запропонованого способу оптимізації аварійно рятувального авто на шасі КрАЗ-63221 шляхом заміни стандартного двигуна ЯМЗ-238ДЕ2, на двигун типу Cummins ISL 360 50.

Запропоноване технічне рішення з оптимізації аварійно рятувального авто на шасі КрАЗ-63221 ставить своїм завданням забезпечення безперебійної роботи автопарку служби надзвичайних ситуацій.

Рішення цього завдання є установка на аварійно рятувальний автомобіль на шасі КрАЗ-63221 нового дизельного двигуна з меншою витратою палива. Зробимо аналіз економічної доцільності даного технічного рішення по оптимізації автомобіля.

Щоб порівняти економічну доцільність даного шляху модернізації аварійно рятувального авто на шасі КрАЗ-63221 запропонованого в даній роботі, порівнюємо вартість експлуатації автомобіля з різними варіантами комплектації двигунів, а саме двигун ЯМЗ-238ДЕ2 та двигун Cummins ISL 360 50.

Визначимо необхідні витрати для виконання розрахунків:

- витрати на технічне обслуговування і запасні частини для автомобіля.
- витрати на придбання нового двигуна.
- витрати на придбання палива.
- витрати на переобладнання автомобіля.

Витрати на установку нової силової установки на автомобіль будуть однакові в обох випадках.

Трудовитрати для цієї операції становитимуть 11,2 люд.-годин.

Витрати на технічне обслуговування та запасні частини залишаються незмінними, оскільки шасі автомобіля КрАЗ-63221 залишається.

Під час розрахунків змінними даними залишаться ціни на паливо та ціни на придбання двигуна.

Проведемо порівняльний аналіз паливо-економічних показників автомобіля

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Значення параметрів
Ресурсний пробіг або пробіг до КР – $L_{\text{КР}}$, км	400 000
Середньодобовий пробіг $L_{\text{сс}}$, км	20
Число робочих днів на рік $D_{\text{р.рік}}$, днів	365
Ціна двигуна ЯМЗ-238ДЕ2, грн	430 000
Середня витрата палива двигуна ЯМЗ-238ДЕ2, л/100км	41
Ціна двигуна Cummins ISL 360 50, грн	294 000
Середня витрата палива двигуна Cummins ISL 360 50, л/100км	35

3.2 Розрахунок річних витрат експлуатації двигуна ЯМЗ-238ДЕ2

Ресурс автомобіля в роках визначаємо за формулою [12]

$$P_{\text{р.р.}} = \frac{L_{\text{КР}}}{L_{\text{сс}} \cdot D_{\text{р.рік}}} \quad (3.1)$$

Підставивши вхідні дані отримуємо

$$P_{\text{р.р.}} = \frac{400000}{20 \cdot 365} = 20.$$

Отримавши значення ресурсу автомобіля, визначаємо кількість заміни двигуна автомобіля за десять років

$$N_{\text{а}}^{10} = \frac{10}{P_{\text{р.р.}}} \quad (3.2)$$

де 10 – обраний проміжок часу;

$P_{\text{а.р}}$ – ресурс автомобіля в роках.

Підставивши значення отримуємо

$$N_a^{10} = \frac{10}{20} = 0,5 \text{ раз.}$$

Нормативний пробіг автомобіля за рік роботи, розраховується за формулою

$$Q_H = L_{cc} \cdot D_p \cdot \alpha_T \quad (3.3)$$

де L_{cc} – середньодобовий пробіг, км;

D_p – число робочих днів на рік;

α_T – коефіцієнт технічної готовності.

$$Q_H = 20 \cdot 365 \cdot 0,99 = 7227 \text{ км/рік.}$$

Розраховуємо витрату палива двигуна ЯМЗ-238 за рік роботи за формулою (3.4)

$$C_{\frac{б}{р}} = \frac{Q_H}{100} \cdot V \cdot C_{п} \quad (3.4)$$

де Q_H – нормативний пробіг автомобіля за рік роботи; $C_{б}$ – ціна одного літра палива ДП для автомобіля оснащеного двигуном ЯМЗ-238ДЕ2

$$C_{б/р} = \frac{7227}{100} \cdot 41 \cdot 53 = 157\,042 \text{ грн./рік.}$$

Купівля нового двигуна ЯМЗ-238ДЕ2, ціна обслуговування та затрати на паливо за перший рік, одного автомобіля (формула)

$$\sum Z_{1\text{рік}} = C_D + C_{\frac{б}{р}} \quad (3.5)$$

де $\sum Z_{1\text{рік}}$ – сума всіх затрат для обслуговування двигуна ЯМЗ-238 за перший рік обслуговування; C_D – ціна двигуна ЯМЗ-238ДЕ2

$$\sum Z_{1\text{рік}} = 430\,000 + 157\,042 = 687\,042 \text{ грн/рік.}$$

3.3 Розрахунок річних витрат експлуатації двигуна ISL 360 50

Нормативний пробіг автомобіля за рік роботи, формула (3.3)

$$Q_H = 20 \cdot 365 \cdot 0,99 = 7227 \text{ км/рік.}$$

Розраховуємо витрату палива двигуна ISL 360 50 за рік роботи, формула (3.4)

$$C_{б/р} = \frac{7227}{100} \cdot 35 \cdot 53 = 134\,060 \text{ грн/рік.}$$

Купівля нового двигуна ISL 360 50 та витрати на паливо за перший рік, одного автомобіля (формула 3.5)

$$\sum Z_{1\text{рік}} = 294\,000 + 134\,060 = 428\,060 \text{ грн/рік.}$$

3.4 Розрахунок точки початку економії

Здійснимо економічний розрахунок доцільності використання нового двигуна ISL 360 50 на шасі КрАЗ-63221 в порівнянні зі старим двигуном ЯМЗ-238ДЕ2, та побудуємо графік беззбитковості.

Розраховуємо термін, за який новий двигун ISL 360 50 починає забезпечувати економію та будуємо графік початку економії за рік експлуатації автомобіля (рисунок 3.1)

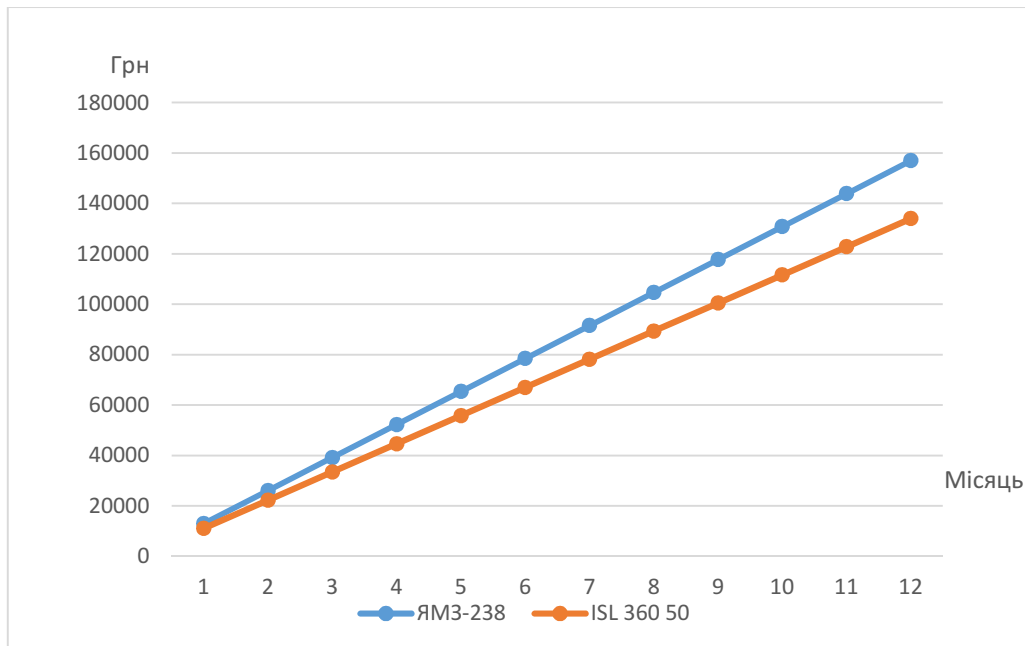


Рисунок 3.1 – Графік початку економії за перший рік роботи аварійно-рятувального автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В

Оскільки експлуатація САРМ-В на базі КрАЗ-63221 з двигуном ISL 360 50 в порівнянні з САРМ-В на базі КрАЗ-63221 з двигуном ЯМЗ-238ДЕ2 більш економічна, то точка початку економії настає вже в 1 місяць, а економія за перший рік експлуатації складе 22 982грн.

Розрахуємо вартість експлуатації за наступні роки автомобіля КрАЗ-63221 з двигуном ISL 360 50 та з двигуном ЯМЗ-238 (рисунок 3.2).

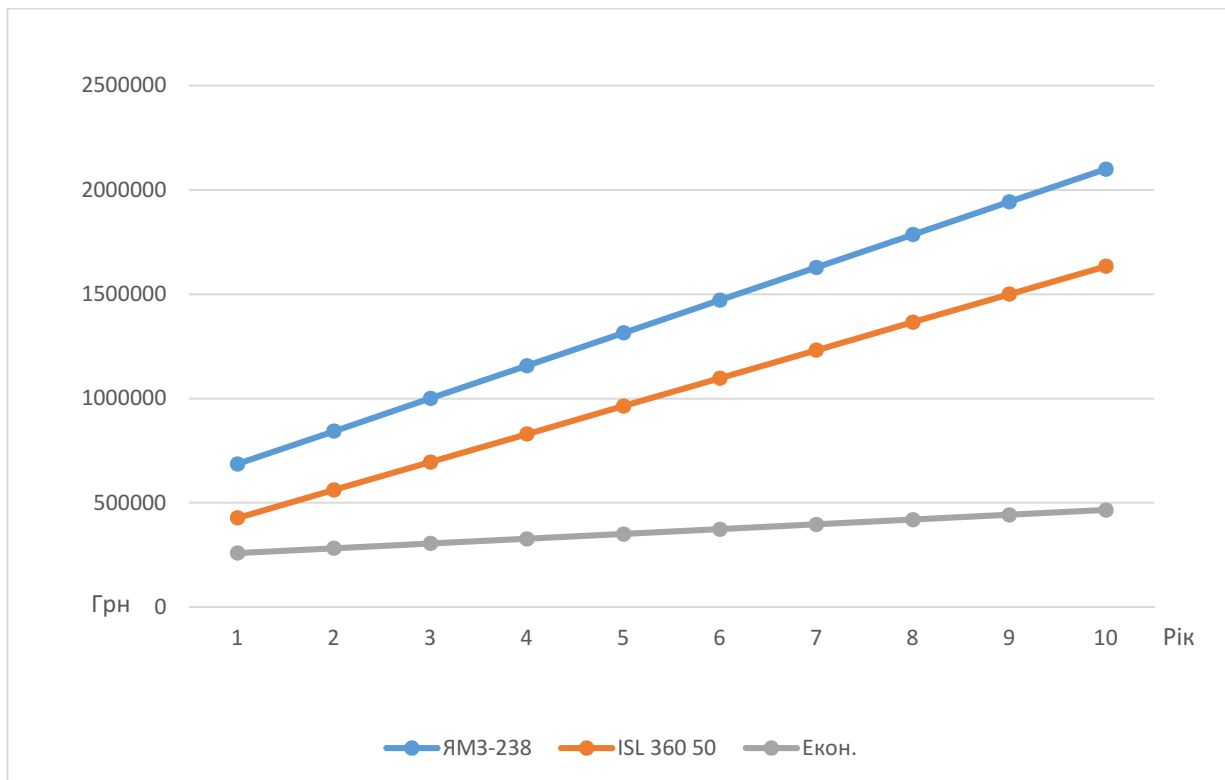


Рисунок 3.2 – Вартість експлуатації аварійно-рятувального автомобіля КрАЗ-63221 САРМ-В

Провівши аналіз отриманих розрахунків та вказаних графіків можемо зробити такі висновки:

- точка початку економії настає з початку експлуатації автомобіля.
- економія за перший рік буде складати 258 982 грн.

Прибуток за другий та наступні роки експлуатації визначається як економія за перший рік експлуатації мінус ціна придбання і установки нового двигуна. За 10 років модернізований автомобіль забезпечить економію в розмірі 465 820 грн, що дозволяє встановити двигун за рахунок економії вже на 3 році експлуатації.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена оптимізації силової установки автомобіля КрАЗ-63221, що використовується в спеціальних випадках експлуатації.

1. Проаналізовані конструктивні особливості двигунів, що встановлюються на аварійно-рятувальний автомобіль КрАЗ-63221 САРМ-В, розраховані тягово-швидкісні характеристики, проведені розрахунки основних параметрів двигунів Cummins ISL 360 50;

2. Виконано порівняльний аналіз основних технічних показників двигунів ЯМЗ-238ДЕ2 та Cummins ISL 360 50, проведено обґрунтування необхідності та доцільності встановлення на аварійно-рятувальний автомобіль КрАЗ-63221 САРМ-В двигуна Cummins ISL 360 50;

3. Проаналізовані конструктивні особливості двигунів, що встановлюються на колісну самохідну гаубицю 2С22 «Богдана», обладнаної на автомобілі-шасі КрАЗ-63221, розраховані тягово-швидкісні характеристики, проведені розрахунки основних параметрів двигунів CUMMINS ISX 15 400;

4. Виконано порівняльний аналіз основних технічних показників двигунів WP12.400 E40 та CUMMINS ISX 15 400, проведено обґрунтування необхідності та доцільності встановлення на колісну самохідну гаубицю 2С22 «Богдана», обладнаної на автомобілі-шасі КрАЗ-63221 двигуна CUMMINS ISX 15 400.

5. Проведено розрахунок економічної доцільності проведення встановлення на аварійно-рятувальний автомобіль КрАЗ-63221 САРМ-В двигунів моделі Cummins ISL 360 50.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шасси автомобилей КрАЗ [Текст] : Холдинговая компания «АвтоКрАЗ», 2016. – 24 с.
2. Грузовые автомобили КрАЗ 6322, 63221, 6446 Ремонт, устройство, обслуживание, электрика. [Текст] : СпецИнфо, 2012. – 203 с.
3. Руководство з експлуатації двигунів cummins [Електронний ресурс] : Руководство з експлуатації двигунів cummins , сайт. – Режим доступу : <https://www.cummins.com/support/manuals>. – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
4. Каталог продукции двигунів cummins [Електронний ресурс] : Каталог виробляємої продукції, сайт. – Режим доступу : <https://www.cummins.com/engines/isl> . – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
5. Каталог продукции двигунів cummins [Електронний ресурс] : Каталог виробляємої продукції, сайт. – Режим доступу : <https://www.cummins.com/engines/isx15> . – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
6. Каталог продукции двигунів Weichai [Електронний ресурс] : Каталог виробляємої продукції, сайт. – Режим доступу : <https://www.karer.in.ua/weichai.php> . – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
7. Каталог продукции автомобилей КрАЗ [Електронний ресурс] : Каталог виробляємої продукції, сайт. – Режим доступу : <http://www.autokraz.com.ua/> . – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
8. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожарной безопасности в Украине.– К.; 2014. – 86 с.
9. Інформації щодо новин переобладнання та випуску військової техніки [Електронний ресурс] : Інформація з переобладнання військової техніки, сайт. – Режим доступу : <https://www.ukrmilitary.com/> . – Дата доступу 17.12.2022. – Загол. з екрана.
10. В. П. Волков Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля [Текст] : підручник / В. П. Волков. - Х.: ХНАДУ, 2004. – 292с.
11. Сідашенко О. І. Ремонт машин та обладнання [Текст] : підручник / за ред. проф. О. І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2015. – 665 с.
12. Бойчик І. М. Економіка підприємства [Текст] : підручник / І. М. Бойчик. – К. : Кондор -Видавництво, 2016. – 378 с.