

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

Міністерство освіти і науки України

**Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя**

*Кафедра
транспортних технологій*

**«ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять**

Тернопіль – 2016

Автори:

О.П. Цьонь, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри транспортних технологій;

В.О. Дзюра, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій;

Ю.Я. Вовк, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій

Рецензент:

Тесля В.О., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів

Розглянуто й затверджено на засіданні кафедри транспортних технологій, протокол № 1 від 09.09.2016р.

Схвалено й рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету машинобудування та харчових технологій, протокол № 1 від 16.09.2016р.

Цьонь О.П. Експлуатаційні властивості транспортних засобів: Методичні вказівки до практичних занять / Цьонь О.П., Дзюра В.О., Вовк Ю.Я. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 44 с.

Пропоновані методичні вказівки розроблено відповідно до навчальної програми та навчальних планів підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки 6.070101 «Транспортні технології» з професійною орієнтацією на спеціальність 7.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті» і призначений для студентів денної форми навчання.

Посібник рекомендовано також для самостійної роботи студентів.

Відповідальний за випуск: **Цьонь О.П.**

ЗМІСТ

	стр.
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
2. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
2.1 Вступ. Експлуатаційні властивості АТЗ.....	5
2.2. Основні параметри АТЗ.....	5
2.3. Взаємодія автомобільного колеса з опорною поверхнею.....	5
2.4. Сили, що діють на АТЗ.....	5
2.5. Тягово-швидкісні властивості АТЗ.....	6
2.6. Паливна економічність АТЗ.....	6
2.7. Проектувальний тяговий розрахунок автомобіля.....	7
2.8. Гальмівні властивості АТЗ.....	7
2.9. Керованість АТЗ.....	7
2.10. Стійкість АТЗ.....	8
2.11. Плавність ходу.....	8
2.12. Маневреність АТЗ.....	9
2.13. Прохідність АТЗ.....	9
3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ.....	10
3.1. Загальні зауваження.....	10
3.2. Практична робота 1. Динамічний паспорт АТЗ.....	11
3.3. Практична робота 2. Паливо-економічна характеристика АТЗ.....	18
3.4. Практичні роботи 5-10.....	21
4. ОСНОВНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ.....	23
4.1. Сили, що діють на АТЗ при його русі.....	23
4.2. Тягово-швидкісні властивості.....	28
4.3. Тяговий розрахунок.....	30
4.4. Гальмівні властивості.....	32
4.5. Паливна економічність.....	33
4.6. Стійкість.....	36
4.7. Керованість.....	37
5. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ЩО НЕ ПОЯСНЕНІ У ТЕКСТІ.....	38
РЕКОМЕНДОВАНА ТА ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА.....	40

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Експлуатаційні властивості транспортних засобів» розглядає закони руху автотransпортних засобів (АТЗ), а також їх взаємозв'язок з технічними характеристиками, конструктивними параметрами й умовами руху автомобілів.

Експлуатаційні властивості АТЗ визначають можливі середні швидкості їхнього руху в різних дорожніх умовах, витрати палива, пов'язані із транспортуванням вантажів, пасажирів або спеціального обладнання, безпеку руху, можливість руху дорогами різної якості.

Засвоєння даної дисципліни є необхідною умовою для успішного вивчення наступних спеціальних курсів й ефективної діяльності фахівця у галузі організації перевезень автомобільним транспортом.

У результаті вивчення дисципліни «Експлуатаційні властивості АТЗ» необхідно знати:

- закони взаємодії АТЗ із навколишнім середовищем при різних умовах руху;
- техніко-експлуатаційні властивості АТЗ і методи оцінки їхньої якості;
- шляхи вдосконалення й поліпшення техніко-експлуатаційних властивостей АТЗ.

Крім того, студент повинен уміти:

- розраховувати техніко-експлуатаційні показники з метою найбільш ефективної експлуатації автотransпортних засобів;
- організовувати випробування АТЗ й оцінювати отримані результати.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, набутих при освоєнні фундаментальних і загально-інженерних курсів.

Великий обсяг досліджуваного матеріалу вимагає чіткої організації самостійної роботи з літературними джерелами.

Студент звітує про засвоєння дисципліни «Експлуатаційні властивості транспортних засобів» заліком.

2. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Вступ. Експлуатаційні властивості АТЗ

Зміст, значення й завдання вивчення дисципліни. Основні експлуатаційні властивості АТЗ: тягово-швидкісні характеристики, гальмові властивості, паливна економічність, стійкість, керованість, плавність ходу, маневреність, прохідність. Формування й розвиток науки про експлуатаційні властивості АТЗ.

2.2. Основні параметри АТЗ

Зовнішня швидкісна характеристика ТЗ без обмежувача й з обмежувачем максимальної частоти обертання колінчатого вала, її характерні точки й способи побудови. Коефіцієнти пристосовності. Коефіцієнт корисної дії трансмісії. Параметри шин. Радіуси еластичного колеса. Координати центра мас АТЗ і методика їхнього визначення. Лобова площа АТЗ.

2.3. Взаємодія автомобільного колеса з опорною поверхнею

Кінематика й динаміка автомобільного колеса. Сили, що діють на еластичне колесо при його коченні. Фізична сутність явища опору коченню колеса. Коефіцієнт опору коченню і його залежність від конструктивних й експлуатаційних факторів.

Обмеження поздовжньої реакції колеса по зчепленню. Коефіцієнт поздовжньої сили й коефіцієнт поздовжнього зчеплення. Фактори, що визначають коефіцієнт зчеплення. Режими кочення колеса.

2.4. Сили, що діють на АТЗ

Нормальні реакції, що діють на колеса АТЗ. Сила тяги. Потужність, що підводиться до ведучих коліс. Втрати в трансмісії. Сили й потужності опору коченню й підйому. Коефіцієнт сумарного дорожнього опору. Сила опору розгону. Коефіцієнт урахування мас, що обертаються.

Сила опору повітря. Коефіцієнт обтічності. Фактор обтічності. Методи експериментального визначення аеродинамічного опору. Пристрої для поліпшення аеродинаміки АТЗ.

Сили, що діють у зчірному пристрої.

2.5. Тягово-швидкісні властивості АТЗ

Оціночні показники тягово-швидкісних властивостей. Рівняння силового й потужнісного балансів АТЗ. Графічні методи рішення рівнянь силового й потужнісного балансів. Динамічний фактор. Динамічна характеристика АТЗ. Динамічний паспорт АТЗ. Методика використання динамічного паспорта для визначення показників тягово-швидкісних властивостей. Запас потужності й коефіцієнт використання потужності двигуна.

Граничні умови руху автомобіля. Обмеження руху автомобіля по тязі й зчепленню. Прискорення, час і шлях розгону. Визначення динамічних реакцій, що діють на колеса кожної з осей автомобілів. Коефіцієнти динамічного перерозподілу нормальних реакцій.

Вплив конструктивних й експлуатаційних факторів на тягово-швидкісні властивості АТЗ. Вплив основних конструктивних параметрів на максимальну швидкість руху, прискорення, час і шлях розгону АТЗ.

Зміна тягово-швидкісних властивостей у процесі експлуатації.

Експериментальні методи визначення тягово-швидкісних властивостей АТЗ.

2.6. Паливна економічність АТЗ

Місце автомобільного транспорту в паливно-енергетичному балансі країни.

Визначення поняття «паливна економічність» та її оціночні показники. Норми витрат палива.

Розрахункові методи визначення показників паливної економічності АТЗ. Вплив режимів роботи двигуна на питому витрату палива. Методика побудови паливно-економічної характеристики за допомогою рівняння витрати палива.

Вплив конструктивних й експлуатаційних факторів на паливну економічність АТЗ. Взаємозв'язок паливної економічності автотранспорту з охороною навколишнього середовища від забруднення. Вплив конструктивних й експлуатаційних факторів на токсичність газів, що відпрацювали.

Способи і пристрої для експериментальної оцінки паливної економічності.

2.7. Проектувальний тяговий розрахунок автомобіля

Завдання проектувального тягового розрахунку. Параметри, які задають для тягового розрахунку. Методика вибору допоміжних параметрів. Вибір зовнішньої характеристики двигуна. Методика вибору передаточних чисел механічної трансмісії.

2.8. Гальмівні властивості АТЗ

Значення вдосконалювання безпеки руху автотранспортних засобів. Визначення поняття «гальмівні властивості». Оціночні показники гальмівних властивостей. Нормування гальмівних властивостей. Зовнішні сили, що діють на АТЗ при гальмуванні. Види гальмування.

Рівняння руху АТЗ при гальмуванні. Гальмування з повним використанням сил зчеплення. Діаграма гальмування. Розрахункові формули для визначення уповільнення, гальмівного й зупиночного шляхів. Допущення, використані при виводі рівнянь, що визначають уповільнення і гальмівний шлях.

Розподіл гальмівних сил між осями. Оптимальний розподіл гальмівних сил між осями двовісного автомобіля. Коефіцієнт розподілу гальмівних сил. Вимоги до розподілу гальмівних сил з урахуванням забезпечення керованості й стійкості при гальмуванні. Вимоги до розподілу гальмівних сил між ланками автопоїзда.

2.9. Керованість АТЗ

Визначення поняття «керованість АТЗ». Оціночні показники. Відведення й ковзання автомобільного колеса. Коефіцієнт опору відведенню. Коефіцієнт зчеплення при ковзанні колеса в поздовжньому напрямку. Поперечний коефіцієнт зчеплення.

Кінематика криволінійного руху АТЗ. Реакції опорної поверхні при криволінійному русі.

Поворотність автомобіля. Конструктивні й експлуатаційні критерії поворотності. Визначення радіуса повороту й кутової швидкості повороту автомобіля при дії на нього постійної зовнішньої бічної сили. Реакції автомобіля на керуючий вплив водія й зовнішні збурювання.

Стабілізація керованих коліс. Пружний стабілізуючий момент шини. Ваговий й швидкісний стабілізуючий моменти. Плече обкатування і його роль у керованості АТЗ.

Коливання керованих коліс щодо шворнів, причини, що їх викликають і вплив на керованість. Коливання керованих коліс, викликані їхньою незрівноваженістю. Види незрівноваженості керованих коліс. Коливання керованих коліс, викликані неузгодженістю кінематики підвіски й рульове керування.

Сили взаємодії коліс із мікропрофілем дороги й коливання керованих коліс, що викликані ними.

Експериментальні методи оцінки керованості.

2.10. Стійкість АТЗ

Визначення поняття «стійкість АТЗ». Оціночні показники. Види втрати стійкості. Критична швидкість руху по бічному ковзанню.

Поперечне перекидання АТЗ. Критична швидкість по перекиданню на горизонтальній дорозі й віражі.

Критична швидкість руху по кутовій швидкості повороту.

Стійкість прямолінійного руху системи «автомобіль-водій» і способи її оцінки. Критичні кути косоугру по бічному ковзанню й перекиданню. Коефіцієнт поперечної стійкості.

Стійкість АТЗ при гальмуванні.

Вплив співвідношення між критичними швидкостями ковзання передньої й задньої осей на розвиток процесу втрати стійкості.

Крен підресореної маси і його вплив на критичну швидкість. Вплив людського фактора на розвиток процесу перекидання.

Аеродинамічна стійкість. Критерії аеродинамічної стійкості. Вплив на аеродинамічну стійкість положення метацентра.

Експериментальні методи оцінки стійкості АТЗ.

2.11. Плавність ходу

Визначення поняття «плавність ходу АТЗ». Оціночні показники. Вплив плавності ходу на продуктивність і безпеку руху АТЗ. Основні поняття про вплив вібрації на людину.

Автомобіль як коливальна система. Наведена жорсткість пружних елементів підвіски.

Вільні коливання підресорної маси без обліку загасання й впливу не підресорених мас. Умови незалежності коливачь передньої і задньої підресорних мас. Коефіцієнти зв'язку. Парціальні частоти.

Вільні коливання підресорних і не підресорених мас без урахування

загасання. Наближені формули для визначення власних частот коливань. Відносний коефіцієнт загасання.

Змушені коливання. Сили, що збурюють коливання. Мікропрофіль дороги. Змушені коливання при русі автомобіля по дорозі синусоїдного профілю. Амплітудно-частотна характеристика. Низькочастотний резонанс. Вплив конструктивних й експлуатаційних факторів на плавність ходу.

Віброакустичні властивості АТЗ і їхній вплив на пасажирів і водія. Нормування віброакустичних властивостей. Експериментальні методи оцінки плавності ходу.

2.12. Маневреність АТЗ

Визначення поняття «маневреність АТЗ». Оціночні показники маневреності. Маневреність автомобілів й автопоїздів. Експериментальні методи оцінки маневреності АТЗ.

2.13. Прохідність АТЗ

Визначення поняття «прохідність АТЗ». Оціночні показники прохідності. Класифікація АТЗ за прохідністю. Показники профільної й опорної прохідності. Конструктивні заходи, що забезпечують підвищення прохідності. Характеристики опорних поверхонь доріг і бездоріжжя.

Рівняння руху повноприводного автомобіля. Розподіл потоку потужності між ведучими осями. Циркуляція потужності.

Принципи експериментального визначення показників прохідності.

3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

3.1. Загальні зауваження

Вихідні дані для заданої моделі АТЗ варто приймати відповідно до технічних характеристик, які доцільно звести в табл. 1 (як приклад таблиця заповнена за значеннями параметрів автомобіля Камаз-5320).

Таблиця 1. Вихідні (довідкові) дані по АТЗ

Параметри		Умовні позначки параметрів	Значення параметрів	
Власна маса, кг		G_0	7080	
У тому числі на задню вісь (візок)		G_{02}	3760	
Повна маса, кг		G_a	15305	
У тому числі на приводну вісь (візок)		$G_{вед}$	10930	
Максимальна потужність двигуна, кВт		N_{\max}	154,4	
Максимальний крутний момент двигуна, Нм		M_{\max}	637,4	
Частота обертання колінчастого вала:	при M_{\max}	n_M	1400...1700	
	при N_{\max}	n_N		
Передаточні числа	КПП на передачах:	першої	U_{K1}	6,38
		другої	U_{K2}	3,29
		третьої	U_{K3}	2.04
		четвертої	U_{K4}	1,25
		п'ятої	U_{K5}	0.81
	додаткової коробки (якщо вона є)	на вищій передачі	$U_{\partial k}$	7.22
		головної передачі	U_0	
Шини		$B_{III} - d$	260...508	
Висота АТЗ, м		B	3,65	
Ширина, м (легкового автомобіля)		III		
Колія передніх коліс, м (вантажівки і автобуса)		K	2,026	

Якщо значення частоти n_M , що відповідає максимальному крутному моменту двигуна, дано в інтервалі частот ($n_M = 1800...2000 \text{ хв}^{-1}$), то приймати середнє значення ($n_M = 1900 \text{ хв}^{-1}$).

Частоти обертання колінчатого вала, при яких потрібно визначати параметри для побудови характеристик, приймати такими, що дорівнюють від $0,2n_N$ до $1,0n_N$ (рекомендується 0,2; 0,4; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 й $1,0 n_N$). Цей ряд частот повинен містити частоту n_M . При цьому, якщо одна із частот ряду близька до частоти при M_{\max} (різниця менше як 100 хв^{-1}), то її можна замінити на n_M .

Роботи виконувати із прикладами обчислень параметрів для однієї частоти обертання колінчастого вала (бажано, для частоти n_M). Результати розрахунків для інших зводити в таблиці.

При написанні контрольних робіт необхідно дотримувати вимоги до оформлення пояснювальних записок курсових і дипломних проектів і робіт.

3.2. Практична робота 1-2. Динамічний паспорт АТЗ

Динамічний паспорт АТЗ є сукупність динамічної характеристики, номограми навантажень і графіка контролю буксування.

Динамічною характеристикою називають графік залежності динамічного фактора АТЗ із повним завантаженням від швидкості руху на різних передачах.

Динамічний фактор – це відношення різниці сили тяги F_T й сили опору повітря F_B до ваги АТЗ

$$D = \frac{F_T - F_B}{G_a \cdot g},$$

де G_a – повна маса АТЗ, кг;

g – прискорення вільного падіння, ($9,81 \text{ м/с}^2$).

Сила тяги на ведучих колесах

$$F_T = \frac{M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp}}{r_K},$$

де M_e – крутний момент двигуна, Нм;

U_{mp} – передаточне число трансмісії (коробки передач, роздавальної коробки й головної передачі), $U_{mp} = U_{Ki} \cdot U_{\partial Kj} \cdot U_o$;

η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

r_K – радіус колеса, м.

Значення крутного моменту M_e визначають за формулою

$$M_e \approx 9550 \frac{N_e}{n_e},$$

де n_e – частота обертання колінчастого вала (хв^{-1}) і відповідна їй потужність двигуна N_e (кВт).

Потужність, що розвиває двигун при заданій частоті обертання колінчастого вала, можна визначити за формулою:

$$N_e = N_{\max} \left[a \frac{n_e}{n_N} + B \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right],$$

де N_{\max} – максимальна потужність двигуна, кВт;

n_N – частота обертання колінчастого вала, відповідна максимальній потужності, хв^{-1} ;

a, b, c – постійні коефіцієнти для даної моделі двигуна.

Коефіцієнти a, b й c можна визначити за формулами:

– для карбюраторних двигунів

$$a = \frac{3n_N - 4n_M}{2(n_N - n_M)}, \quad b = 3 - 2a, \quad c = 2 - a;$$

– для дизелів

$$a = K \frac{n_M}{n_N}, \quad b = \frac{2n_M(1-a)}{2n_M - n_N}, \quad c = \frac{b}{2} \frac{n_N}{n_M},$$

де n_M – частота обертання, що відповідає максимальному крутному моменту двигуна, хв^{-1} .

K – коефіцієнт пристосовуваності двигуна, по крутному моменту,

$$K = M_{\max} / M_N;$$

M_N – крутний момент при максимальній потужності двигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

У спрощених розрахунках можна приймати:

– карбюраторних – $a \approx b \approx c \approx 1$;

– дизельних – $a \approx 0,53$; $b \approx 1,56$; $c \approx 1,09$.

Коефіцієнт корисної дії трансмісії η_{tr} рекомендується приймати для автомобілів:

– легкових – 0,92, легкових повнопривідних – 0,86;

– вантажних двохвісних з одинарною головною передачею – 0,9, з подвійною – 0,88;

- вантажних тривісних (із двома приводними осями) – 0,84;
- автобусів двовісних – 0,88...0,9;
- повноприводних вантажних й автобусів – 0,8.

Радіус колеса можна визначити, користуючись формулою

$$r_K \approx r_d \approx r_{cm} \approx 0,5d + \Delta\lambda_{cm}B_{ш},$$

де $B_{ш}$ – номінальна ширина профілю, мм (перша цифра позначення шини);

d – діаметр ободу, мм (друга цифра позначення);

Δ – $\Delta = H / B_{ш}$, (H – висота профілю шини, мм);

λ_{cm} – коефіцієнт, що враховує зминання шини під навантаженням.

Для шин вантажних автомобілів й автобусів, а також шин з регульованим тиском повітря, (крім широко профільних $H / B_{ш} \approx 1$, а $\lambda_{cm} = 0,85...0,9$).

Якщо шини легкових автомобілів мають дюймове позначення, то $H / B_{ш} \approx 0,95$, а якщо змішане (міліметрово-дюймове), то $H / B_{ш} \approx 0,8...0,85$.

У радіальних шин легкових автомобілів у позначення уведений індекс, що відповідає відношенню $H / B_{ш}$.

Наприклад, у шин 205/70 R 14 $H / B_{ш} \approx 0,7$. У радіальних шин легкових автомобілів $\lambda_{cm} = 0,8...0,85$, а в діагональних $\lambda_{cm} = 0,85...0,9$.

Радіус колеса можна приймати рівним статичному радіусу відповідно до державних стандартів на шини.

Силу, необхідну для подолання опору повітря (при відсутності вітру), визначають за формулою:

$$F_B = k \cdot A \cdot \left(\frac{V_a}{3,6} \right)^2,$$

де k – коефіцієнт обтічності АТЗ, $\frac{H \cdot c^2}{m^4}$;

A – лобова площа, m^2 ;

V_a – швидкість руху автомобіля, км/год.

Коефіцієнт обтічності для конкретного автомобіля можна брати з літературних джерел або ж приймати, виходячи з наступних рекомендацій:

- для легкових автомобілів – $k = 0,2 \dots 0,3 \frac{H \cdot c^2}{m^4}$;

- для автобусів – $k = 0,3 - 0,35 \frac{H \cdot c^2}{m^4}$;

- для вантажних автомобілів – $k = 0,7 \dots 0,9 \frac{H \cdot c^2}{m^4}$.

Площа лобового опору вантажних автомобілів й автобусів приблизно дорівнює добутку колії передніх коліс K' і висоти B , тобто $A_B = K' \cdot B$, а легкових – $A_L = a \cdot Ш \cdot B$, де $Ш$ – ширина автомобіля; a – коефіцієнт заповнення лобової площини АТЗ.

Швидкість руху автомобіля (км/год) на кожній передачі визначають за формулою:

$$V_a = 0,377 \frac{n_e \cdot r_k}{U_{mp}}.$$

Тут n_e у xv^{-1} , r_k у м.

Для швидкостей менших 30 км/год силу опору повітря можна не визначати й не враховувати при обчисленнях значень динамічного фактора.

Результати обчислень звести в таблицю за формою, наведеною як у табл. 2. Побудувати залежності $N_e = f(n_e)$, $M_e = f(n_e)$, $F_T = f(V_a)$ на кожній передачі й вищій передачі роздавальної коробки (рис. 1 і 2).

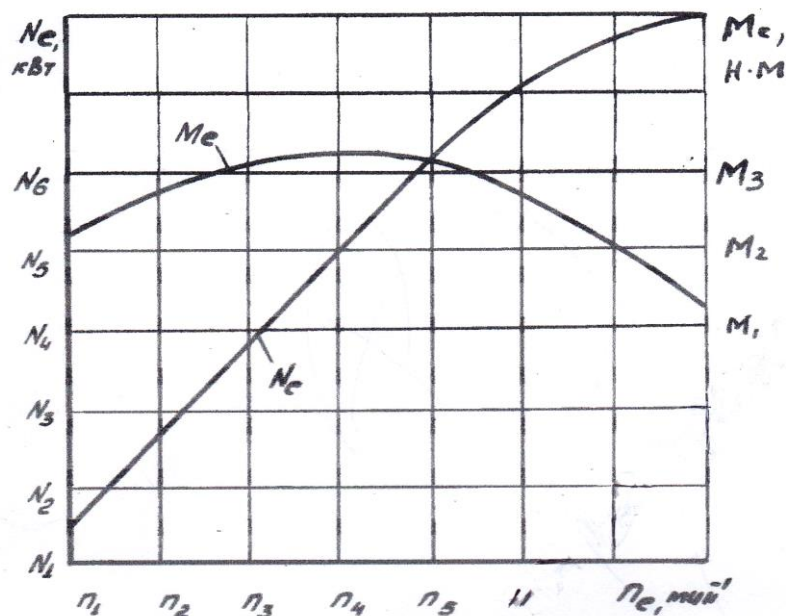


Рисунок 1. Залежність потужності та крутного моменту від частоти обертання колінчастого вала двигуна.

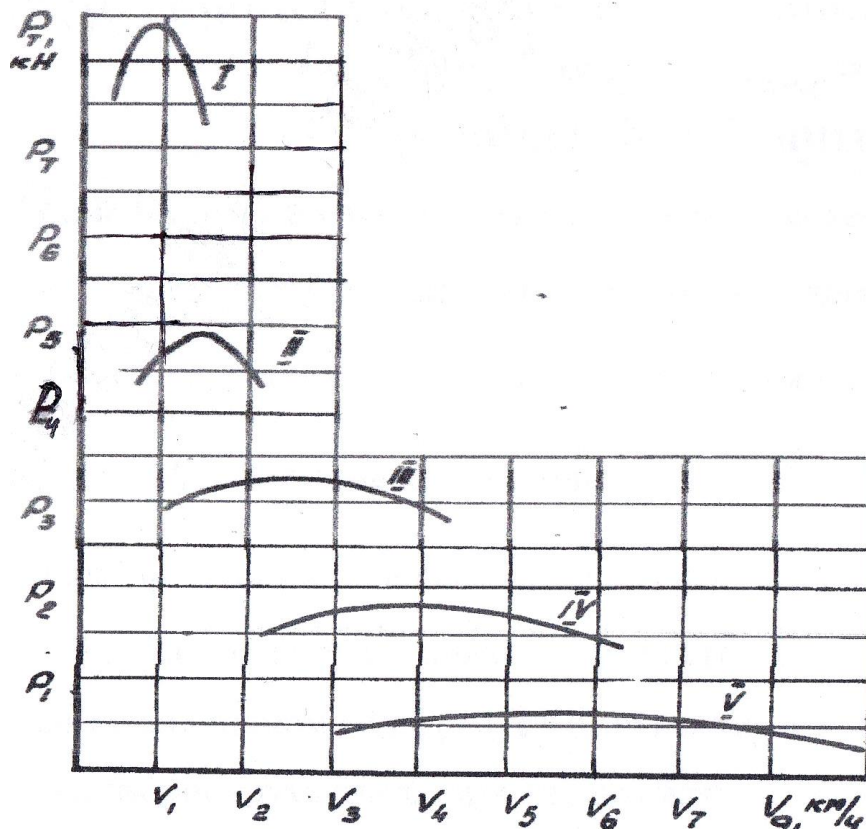


Рисунок 2. Залежність тягового зусилля на колесах від швидкості руху АТЗ.

За розрахунковими даними необхідно побудувати динамічну характеристику АТЗ із повною масою, до якої прибудувати номограму навантажень і графік контролю буксування. Номограма навантажень служить для визначення динамічного фактора при різному ступені завантаження АТЗ, (від G_0 до G_a). Графік контролю буксування дозволяє визначити граничні можливості руху АТЗ за умовами зчеплення.

Номограму навантажень будують у такий спосіб. Вісь абсцис динамічної характеристики продовжують уліво (рис. 3) і на ній відкладають відрізок довільної довжини. На цьому відрізку наносять шкалу завантаження АТЗ у відсотках. Через нульову точку шкали навантажень (тобто точку, що відповідає власній масі АТЗ – G_0), проводять пряму, паралельну осі D_a й на ній наносять шкалу динамічного фактора D_o для АТЗ без вантажу і пасажирів.

Масштаб для шкали D_o приймати рівним $a_o = a \cdot G_o / G_a$, де a – масштаб шкали динамічного фактора для АТЗ повної маси D_a . Рівнозначні розподіли шкал D_o й D_a (0,05; 0,1; 0,15 і т.д.) з'єднати прямими лініями.

Таблиця 2. Результати розрахунків

Параметри		Значення параметрів при частоті обертання к. в.							
		0,2 n_N	0,4 n_N	0,6 n_N	0,7 n_N	0,8 n_N	0,9 n_N	n_N	n_M
Частота обертання, хв ⁻¹									
Потужність, кВт									
Крутний момент, Нм									
Тягова сила на колесах при включеній передачі в КПП, Н	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								
Швидкість автомобіля при включеній передачі в КПП, км/год	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								
Сила опору повітря при включеній передачі в КПП, Н	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								
Динамічний фактор АТЗ при включеної передачі в КПП	I								
	II								
	III								
	IV								
	V								

Для побудови графіка контролю буксування визначити динамічний фактор зчеплення для АТЗ власної й повної мас при значеннях коефіцієнтів.

Зчеплення φ_x від 0,1 до 0,8 (через 0,1) за формулами:

$$D_{осц} = \frac{G_{ов}}{G_o} \varphi_x; \quad D_{асс} = \frac{G_{ав}}{G_a} \varphi_x,$$

де G_{ov} й $G_{ав}$ – маса, що доводиться на ведучі колеса порожнього й повністю завантаженого АТЗ, відповідно.

Значення $D_{осц}$ відкласти по осі D_o номограми навантажень, а значення $D_{асс}$ – по осі D_a . Рівнозначні розподіли шкал $D_{осц}$ і $D_{асс}$ з'єднати прямими штриховими лініями, над якими вказати величину коефіцієнта φ_x .

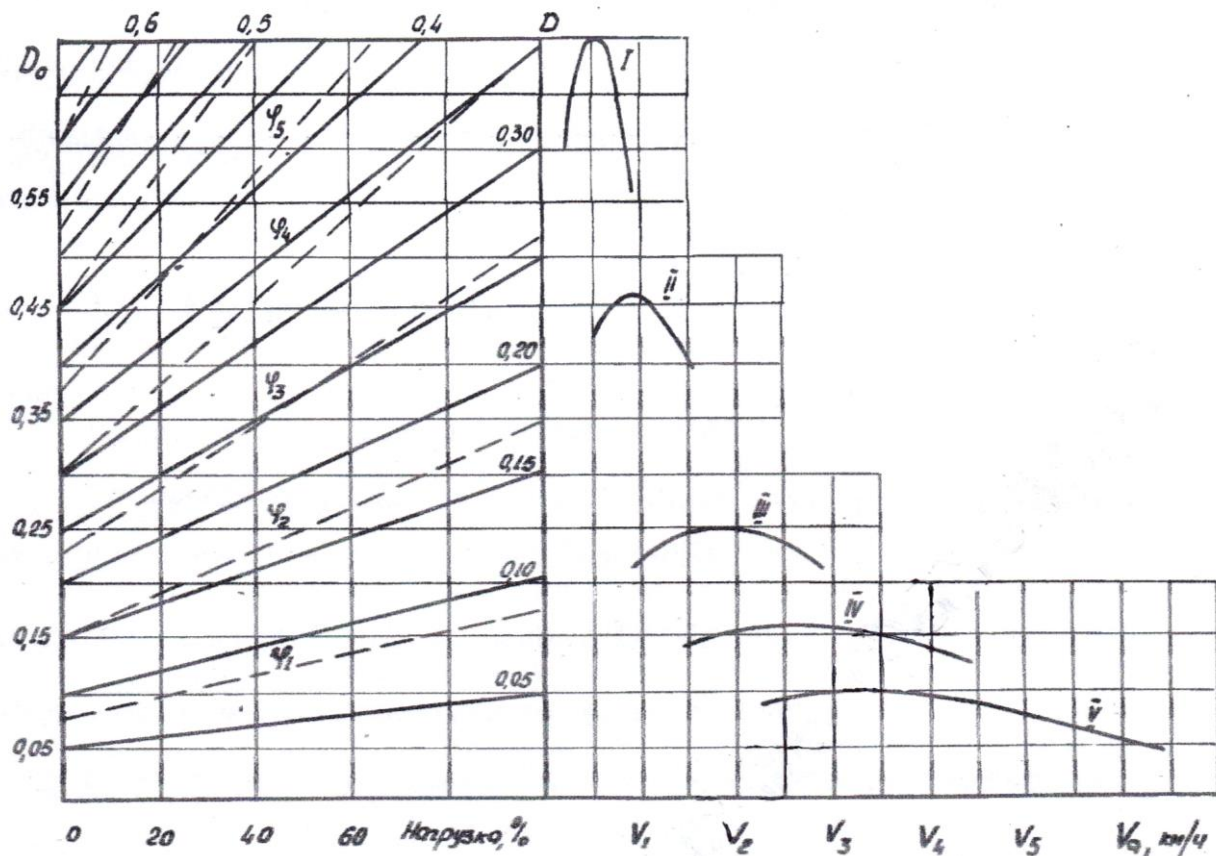


Рис. 3. Динамічний паспорт автомобіля

На підставі побудованого динамічного паспорта визначити:

- максимальні підйоми (у градусах), які може перебороти транспортний засіб, що рівномірно рухається, при завантаженні 100% й 0%, на першій і вищій передачах (коефіцієнт опору коченню прийняти такими, що дорівнює 0,02);

- на яких передачах і з якою швидкістю можливий рух АТЗ із завантаженням на 50%, при $\psi = 0,1$;

- мінімальний коефіцієнт зчеплення, необхідний для руху АТЗ зі швидкістю 50км/ч, завантаженого на 75%.

3.3. Практична робота 3-4. Паливо-економічна характеристика АТЗ

Комплектним показником паливної економічності автотранспортного засобу є паливно-економічна характеристика, тобто графік залежності шляхової витрати палива Q від швидкості V_a сталого руху по дорогах з різними коефіцієнтами дорожнього опору ψ .

Шляхову витрату палива в літрах на 100 км визначають за формулою

$$Q = \frac{q_e}{10V_a \cdot \rho_{II} \cdot \eta_{mp}} (N_{\partial} + N_e),$$

де q_e – питомий розхід палива, (г/кВт·год), визначають за формулою

$$q_e = q_N \cdot K_N \cdot K_{об},$$

де q_N – питома витрата палива при максимальній потужності двигуна, г/кВт·год;

K_N , $K_{об}$ – коефіцієнти, що враховують залежності витрати палива від ступеня використання потужності двигуна N й частоти обертання його колінчатого вала n_e ;

ρ_{II} – густина палива, г/см³ (бензини – 0,69...0,75; дизельне паливо 0,83...0,86);

N_{∂} , N_e – потужності, затрачувані на подолання дорожнього опору й опору повітря, кВт.;

η_{mp} – ККД трансмісії АТЗ.

Питому витрату палива q_N бажано брати за зовнішньою характеристикою, отриманою при випробуванні даної моделі двигуна [4]. Якщо даних про q_N немає, то можна вважати, що

$$q_N = (1,05 \dots 1,15) \cdot q_{e \min}.$$

(Більші числа ставлять до карбюраторних двигунів, менші – до дизелів.) Мінімальна витрата палива $q_{e \min}$ (при повній подачі) зазначена у технічних характеристиках двигуна.

При відсутності даних про $q_{e \min}$ брати його значення, орієнтуючись на середні значення. Середні значення мінімальної питомої витрати палива $q_{e \min}$ для карбюраторних двигунів дорівнюють 260...310 г/кВт·год. (Менші значення ставлять до двигунів зі ступенем стиску 8...9; більші – до двигунів зі ступенем стиску 6...7). Для дизелів $q_{e \min} = 195 \dots 230$ г/кВт·год.

Коефіцієнти K_N й $K_{об}$ розраховують за наближеними рівняннями:

- для карбюраторних двигунів

$$K_N = 2,75 - 4,61Q + 2,86Q^2;$$

- для дизельних

$$K_N = 1,71 - 2,63Q + 1,92Q^2.$$

Тут $Q = \frac{N_{\partial} + N_{\epsilon}}{N_e \cdot \eta_{тр}}$ – ступінь використання потужності двигуна.

Для обох типів двигунів

$$K_{об} = 1,23 - 0,792 \frac{n_e}{n_N} + 0,58 \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2.$$

Потужність (кВт), що потрібна на подолання дорожнього опору й опору повітря, визначають за формулами:

$$N_{\partial} = \frac{G_a \cdot g \cdot \psi \cdot V_a}{3600}; \quad N_{\epsilon} = k \cdot A \left(\frac{V_a}{3,6} \right)^3 10^{-3}.$$

Паливно-економічну характеристику розраховують для випадку руху максимально навантаженого АТЗ на вищій передачі на дорогах різної якості, тобто таких, що мають різні значення сумарного коефіцієнту опору дороги ψ . Рекомендовано брати наступні три постійні значення ψ :

- $\psi_1 = 0,015$;
- $\psi_2 = 0,8 \cdot D_{\max}$ на вищій передачі;
- $\psi_3 = 0,5(\psi_1 + \psi_2)$.

Значення ψ_2 й ψ_3 заокруглюють до трьох знаків після коми. Результати розрахунків залежностей шляхової витрати палива від швидкості руху доцільно звести в таблицю за рекомендованою формою (таблиця 3) й побудувати графіки залежностей шляхової витрати палива від швидкості руху при коефіцієнтах сумарного дорожнього опору ψ_1 , ψ_2 й ψ_3 .

Паливна економічність може бути виражена й, так званим, «економічним фактором», тобто пробігом АТЗ у кілометрах на одному літрі палива

$$E_{\Pi} = 100/Q.$$

Таблиця 3. Результати розрахунку паливно-економічної характеристики АТЗ на вищій передачі

Параметри	Значення параметрів							
	0,2 n_N	0,4 n_N	0,6 n_N	0,8 n_N	0,9 n_N	0,2 n_N	n_N	n_M
n_e , хв ⁻¹								
N_e , кВт								
V_a , км/год								
N_θ , кВт								
$K_{об}$								
N_θ , кВт								
K_N								
q_e , г/кВт·год								
Q , л/100 км								
Таблицю продовжити для значень параметрів при ψ_1 й ψ_2 .								

Залежність $E_{II} = f(V_a)$ побудувати тільки для $\psi = \psi_1$.

Порівняти контрольну витрату палива АТЗ (відповідно до технічної характеристики) з отриманою витратою, при $\psi = 0,015$.

Крім того, визначити ступінь впливу (у літрах і відсотках) на шляхову витрату палива (при швидкості, що відповідає максимальному крутному моменту двигуна, на вищій передачі):

- густині палива, прийнявши її, такою, щоб дорівнює ρ_{\min} , а потім при таких значеннях: бензин – $\rho_{\min} = 0,69$; $\rho_{\max} = 0,75$; – дизпаливо $\rho_{\min} = 0,83$; $\rho_{\max} = 0,86$;

- коефіцієнта корисної дії трансмісії, при його зменшенні на 20% порівняно із прийнятим у розрахунках значенням;

- зменшення завантаження АТЗ від максимальної (G_a) до мінімальної (G_0) при $\psi = 0,015$.

3.4. Практичні роботи 5-10

Завдання

Автотранспортний засіб (модель АТЗ визначає викладач) повністю завантажений і рухається по дорозі із твердим покриттям.

Необхідно визначити:

1. Потужність двигуна при частоті обертання колінчастого вала, що відповідає максимальному крутному моменту.
2. Максимальну потужність двигуна при швидкості руху, дорівнює половині максимальної.
3. Крутий момент двигуна при частоті обертання колінчастого вала, що відповідає максимальній потужності.
4. Коефіцієнти пристосовуваності двигуна по крутному моменту й частоті обертання колінчастого вала.
5. Статичний радіус коліс АТЗ.
6. Максимальне тягове зусилля на колесах на нижчій і вищій передачах.
7. Частоту обертання колінчастого вала двигуна при швидкості, дорівнює половині максимальної на вищій передачі.
8. Швидкість руху АТЗ при максимальному тяговому зусиллі на колесах на нижчій і вищій передачах.
9. Орієнтовно лобову площу АТЗ.
10. Силу й потужність повітряного опору при максимальній швидкості.
11. Значення коефіцієнта опору коченню при максимальній швидкості, якщо при мінімальній він дорівнює 0,02.
12. Силу й потужність дорожнього опору при максимальній швидкості на горизонтальній дорозі.
13. Потужність, необхідну для подолання опору підйому порожнього й завантаженого АТЗ при його русі зі швидкістю 30 км/год по дорозі з поздовжнім ухилом 10%.
14. Максимальний динамічний фактор на нижчій і вищій передачах.
15. Максимальний зтяжний підйом, що може подолати автомобіль на нижчій передачі при коефіцієнті опору коченню, що дорівнює 0,02.
16. Максимальне прискорення при розгоні на нижчій і вищій передачах, якщо коефіцієнт сумарного дорожнього опору дорівнює 0,02.
17. Силу інерції при розгоні на другій передачі, якщо прискорення дорівнює $0,3 \text{ м/с}^2$.
18. Зміну коефіцієнта обліку обертових мас АТЗ зі збільшенням його завантаження від нуля до максимального при розгоні на другій передачі.

19. На скільки зміниться (у літрах і відсотках) контрольна витрата палива, якщо його густина зменшиться на 5%?

20. На скільки зміниться (у літрах і відсотках) контрольна витрата палива, якщо технічний стан трансмісії погіршився і її ККД зменшився на 20%?

21. Чи можливий рух АТЗ на підйом з кутом нахилу дороги 20° і коефіцієнтом опору коченню 0,02 при коефіцієнті поздовжнього зчеплення 0,3?

22. Яким повинне бути передаточне число головної передачі, щоб АТЗ розвивало швидкість на 20% більше максимальної?

23. Мінімальні коефіцієнти поздовжнього зчеплення шин з дорогою при русі порожнього й повністю завантаженого АТЗ на нижчій передачі й роботі двигуна на режимі максимального крутного моменту.

24. Який максимальний дорожній опір може здолати автомобіль на другій передачі?

25. Суму сил на колесах АТЗ при його екстреному гальмуванні на дорозі з коефіцієнтом поздовжнього зчеплення, що дорівнює 0,4.

26. Гальмовий і зупинний шлях при екстреному гальмуванні з максимальної швидкості, якщо коефіцієнт поздовжнього зчеплення дорівнює 0,7.

27. Поперечну складову відцентрової сили при русі з максимальною швидкістю й середнім кутом повороту керованих коліс три градуси.

28. Як зміниться критична швидкість АТЗ за умовами перекидання, якщо після його завантаження висота центра мас збільшилася в 1,5 рази?

29. Критичну швидкість АТЗ за умовами ковзання, якщо радіус повороту 10 м, а коефіцієнт поперечного зчеплення становить 0,4.

30. Зміну коефіцієнта опору відведенню шин передніх коліс при зменшенні внутрішнього тиску повітря в них на 30%.

31. АТЗ стоїть на горизонтальній площадці. Визначити відстані від проекції центра мас на опорну поверхню до передньої й задньої осей при порожньому й максимально рівномірно завантаженому АТЗ.

4. ОСНОВНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ

4.1. Сили, що діють на АТЗ при його русі

Сила тяги на колесах

$$F_T = M_m / r_k = M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp} / r_k.$$

Потужність на колесах

$$N_m = M_m / \omega_k = F_T \cdot V_a = N_e \cdot \eta_{mp}.$$

Крутний момент на півосях

$$M_{KP} = M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp}.$$

Радіуси колеса:

- кочення

$$r_k = S / 2\pi n_k = V_k / \omega_k;$$

- статичний

$$r_{cm} = 0,5d + \Delta\lambda_{cm} B_{ш} \approx r_k.$$

Відношення

$$h / B_{ш} = \Delta \approx 0,7...1,0.$$

Коефіцієнт зминання шини

$$\lambda_{зм} \approx 0,85...0,90.$$

Нормальний прогин шини

$$h_z = K_z \cdot R_z^{3/4} \cdot (1 + P_w),$$

де K_z – коефіцієнт, постійний для даної шини.

Кутова швидкість колеса

$$\omega_k = \frac{\omega_e}{U_{mp}} = \frac{2\pi \cdot n_e}{U_{mp}}.$$

Крутний момент двигуна

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} = \frac{N_e}{2\pi n_e}.$$

Якщо N_e у кВт, а n_e у хв^{-1} , то $M_e = \frac{N_e 1000}{2\pi n_e / 60} \approx 9549,3 \frac{N_e}{n_e}$.

Передаточне число трансмісії

$$V_{mp} = V_r \cdot U_{ki} \cdot U_{dki}.$$

Коефіцієнт корисної дії трансмісії

$$\eta_{mp} = 1 - N_{mp} / N_e.$$

Потужність двигуна:

$$N_e = N_{\max} \left[a \frac{n_e}{n_N} + b \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^3 \right];$$

$$N_e = N_{\max} \left[a \frac{V_a}{V_{\max}} + b \left(\frac{V_a}{V_{\max}} \right)^2 - c \left(\frac{V_a}{V_{\max}} \right)^3 \right].$$

Постійні коефіцієнти a, b, c :

- для карбюраторних двигунів

$$a = \frac{3n_N - 4n_M}{2(n_N - n_M)}; \quad b = 3 - 2a; \quad c = 2 - a;$$

- для дизелів

$$a = \frac{M_{\max}}{M_N} - \frac{n_M}{n_N}; \quad b = \frac{2n_M(1-a)}{2n_M - n_N}, \quad c = \frac{bn_N}{2n_M}.$$

У спрощених розрахунках можна приймати для двигунів:

- карбюраторних $a \approx b \approx c \approx 1$;
- дизелів чотиритактних $a \approx 0,53, b \approx 1,56, c \approx 1,09$;
- дизелів двотактних $a \approx 0,87, b \approx 1,13, c \approx 0$.

Коефіцієнт пристосованості двигуна по:

- моменту

$$K_M = \frac{M_{\max}}{M_N};$$

- частоті

$$K_\omega = \frac{n_N}{n_M}.$$

Опір дороги

- сила

$$P_{\partial} = G \cdot g \cdot \psi = G \cdot g (f \cos \alpha_{\partial} + \sin \alpha_{\partial}) \approx G(f + i);$$

- потужність

$$N_{\partial} = G \cdot g \cdot \psi \cdot V_a = G \cdot g (f + i) V_a.$$

Опір повітря (при відсутності вітру):

- сила

$$F_{\partial} = k \cdot A \cdot V_a^2;$$

- потужність

$$N_{\partial} = k \cdot A \cdot V_a^3.$$

Лобова площа:

- вантажних автомобілів й автобусів

$$A_{\partial} = K' \cdot B;$$

- легкових

$$A_l = a \cdot III \cdot B.$$

Опір підйому:

- сила

$$F_n = G \cdot g \cdot \sin \alpha_{\partial} \approx G \cdot g \cdot i;$$

- потужність

$$N_n = G \cdot g \cdot \sin \alpha_{\partial} \cdot V_a = G \cdot g \cdot i \cdot V_a.$$

Ухил дороги

$$i = \operatorname{tg} \alpha_{\partial} \approx \sin \alpha_{\partial}.$$

Опір коченню колеса:

- сила

$$F_K = R_z \cdot f;$$

- момент

$$M_K = R_z \cdot f \cdot r_K;$$

- потужність

$$N_K = R_z \cdot f \cdot V_a.$$

Опір коченню АТЗ:

- сила

$$F_A = G \cdot g \cdot f;$$

- потужність

$$N_K = G \cdot g \cdot f \cdot V_a.$$

Коефіцієнт опору коченню

$$f = \frac{F_f}{R_z} = \frac{M_f}{R_z \cdot r_K} = \frac{N_f}{R_z \cdot r_K \cdot \omega_K} = \frac{a}{r_K}.$$

Плече опору коченню

$$a = \frac{M_f}{R_z} = \frac{N_f}{R_z \cdot \omega_K}.$$

Залежності опору коченню колеса від:

- швидкості руху

$$f = f_0 + 7 \cdot 10^{-6} V_a; \quad f = f_0 \left(1 + \frac{V_a}{1500} \right); \quad f = \frac{32 + V_a}{2800};$$

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V_a^2}{20000} \right), \quad (\text{тут } V_a \text{ у км/ год});$$

- внутрішнього тиску повітря в шині P_w при нормальному навантаженні R_z

$$f = \frac{\alpha + \beta \cdot R_z^2}{1 + P_w};$$

- кута відведення

$$f = f_0 + K_{y\theta} \cdot \delta_{y\theta}^2 / R_z.$$

Сила інерції, що діє на АТЗ

$$F_I = G \cdot \delta_{ep} \cdot j.$$

Потужність, затрачувана на подолання сили інерції АТЗ

$$N_u = G \cdot \delta_{ep} \cdot j \cdot V_a.$$

Коефіцієнт обліку обертових мас

$$\delta_{ep} = 1 + \left(\delta_1 + \delta_2 \cdot U_{ki}^2 \right) \frac{G_a}{G_\phi}, \quad \delta_1 \approx \delta_2 = 0,03 \dots 0,05.$$

Для повністю завантаженого АТЗ, тобто при $G_\phi = G_a$,

$$\delta_{ep} = 1,04 + 0,05 U_{ki}^2.$$

Сила зчеплення колеса з дорогою

$$F_{зч} = P_z \cdot \phi.$$

Умова можливості руху АТЗ

$$F_m \geq F_\partial + F_\theta.$$

Нормальні реакції, що діють на передні й задні колеса АТЗ, на горизонтальній дорозі:

- у статичному стані:

$$R_{z1} = G_1 \cdot g = Gg \frac{l_2}{L}; \quad R_{z2} = G_2 \cdot g = G \cdot g \frac{l_1}{L};$$

- при рівномірному русі по дорозі з гарним покриттям:

$$R_{z1} = \left[G \cdot g \cdot l_2 - (F_\kappa - F_\theta) h_y \right] / L;$$

$$R_{z2} = \left[G \cdot g \cdot l_1 - (F_\kappa - F_\theta) h_y \right] / L;$$

або

$$R_{z1} = G \cdot g (l_2 - \phi_x \cdot h_y) / (L - \phi_x \cdot h_y);$$

$$R_{z2} = G \cdot g \cdot l_1 / (L - \phi_x \cdot h_y).$$

Коефіцієнти зміни нормальних реакцій на колесах:

- передніх

$$m_{p1} = \frac{R_{z1}}{G_1 \cdot g};$$

- задніх

$$m_{p2} = \frac{R_{z2}}{G_2 \cdot g}.$$

4.2. Тягово-швидкісні властивості

Силовий баланс АТЗ

$$F_m = F_{\partial} + F_n + F_{\epsilon} \pm F_u.$$

Баланс потужностей

$$N_m = N_e - N_{mp} = N_{\partial} + N_n + N_{\epsilon} \pm N_u.$$

Динамічний фактор:

$$D = \frac{(F_m - P = F_{\epsilon})}{G \cdot g} = \frac{(M_e \cdot U_{mp} \cdot \eta_{mp} / r_k - k \cdot A \cdot V_a^2)}{G \cdot g},$$

$$D = \frac{(F_{\partial} - F_u)}{G \cdot g} = \frac{G \cdot g(f + i) + G \cdot \delta_{ep} \cdot j}{G \cdot g} = \psi + \frac{G \cdot \delta_{ep} \cdot j}{g}.$$

Динамічний фактор по зчепленню

$$D_{зч} = \frac{F_{зч} - F_{\epsilon}}{G \cdot g} = \frac{G_{зч} \cdot q \cdot \varphi_x - P_{\epsilon}}{G \cdot g}.$$

При буксуванні ведучих коліс

$$D_{зч} = \frac{G_{зч}}{G} \varphi_x.$$

Прискорення при розгоні

$$j = (D - \psi) \frac{g}{\delta_{ep}}.$$

Середнє значення прискорення в заданому інтервалі швидкостей руху

$$j_{cpi} = 0,5(j_i + j_{i+1}).$$

Час розгону в заданому інтервалі швидкостей руху

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{j_{cpi}} = \frac{V_{i+1} - V_i}{j_{cpi}}.$$

Час розгону від швидкості V_1 до V_n

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n.$$

Величина зменшення швидкості за час перемикання передач t_{nn}

$$\Delta V_{nn} = \psi \cdot t_{nn} \cdot g / \delta_{ep} \approx 9,3\psi \cdot t_{nn}.$$

Середнє значення швидкості в обраному інтервалі

$$V_{cpi} = 0,5(V_{i+1} + V_i).$$

Шлях, пройдений АТЗ:

- у заданому інтервалі швидкостей

$$\Delta S_i = V_{cpi} \cdot \Delta t_i = V_{cpi} \frac{\Delta V}{j_{cpi}};$$

- за час розгону на даній передачі

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n;$$

- за час перемикання передач

$$\Delta S_{nn} = \Delta V_{nn} \cdot t_{nn} = (V_n - 4,65\psi \cdot t_{nn})t_{nn}.$$

Максимальний поздовжній зтяжний підйом дороги, що може подолати автомобіль

$$i_{\max} = \mathcal{D}_{\max} - f.$$

Рівняння руху автомобіля накатом

$$G \cdot \delta_{ep} \cdot j = F_{\partial} + F_{\epsilon} + F_n + F_z.$$

Сила тертя трансмісії при роботі на холостому ходу, прикладена до ведучих коліс

$$F_{mp} = M_{mp} / r_k.$$

Гідравлічні втрати в трансмісії (для автомобілів з колісною формулою 4х2)

$$M_{mp} = (2 + 0,09V)G \cdot g \cdot r_k \cdot 10^{-3}.$$

4.3. Тяговий розрахунок

Потужність двигуна (кВт), що необхідна для забезпечення заданої максимальної швидкості руху

$$N_V = \frac{V_{\max}}{1000 \eta_{mp}} \left(G_a \cdot g \cdot \psi + k \cdot F \cdot V_{\max}^2 \right).$$

Максимальна потужність двигуна

$$N_{\max} = \frac{N_V}{\left[a \frac{n_V}{n_N} + b \left(\frac{n_V}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_V}{n_N} \right)^3 \right]}.$$

Для двигунів:

- карбюраторних без обмежувача частоти обертання колінвала

$$\frac{n_V}{n_N} = 0,9 \dots 1,5;$$

- карбюраторних з обмежувачем частоти обертання колінвала

$$\frac{n_V}{n_N} = 0,9 \dots 1,0;$$

- дизелів

$$\frac{n_V}{n_N} = 1,0.$$

Швидкість руху АТЗ

$$V_a = \omega_k \cdot r_k = \frac{\omega_e \cdot r_k}{U_{mp}} = \frac{2\pi \cdot n_e \cdot r_k}{U_{mp}}.$$

Якщо n_e у хв^{-1} , а V_{\max} в км/год , то

$$V_a = \frac{2\pi \cdot n_e \cdot 60 r_k}{1000 U_{mp}} = 0,377 \frac{n_e \cdot r_k}{U_{mp}}.$$

Передаточне число головної передачі

$$U_z = \frac{2\pi \cdot n_v \cdot r_k}{V_{\max} \cdot U_{кв} \cdot U_{дкв}}.$$

Якщо n_e у $xв^{-1}$, а V_{\max} в км/год, то

$$U_z = 0,377 \frac{n_v \cdot r_k}{V_{\max} \cdot U_{кв} \cdot U_{дкв}}.$$

Передаточне число коробки передач на нижчій передачі з умови:

- подолання максимального дорожнього опору

$$U_{к1} \geq \frac{G_a \cdot g \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot U_z \cdot U_{дкн} \cdot \eta_{тр}};$$

- виключення буксування ведучих коліс

$$U_{к1} \leq \frac{G_{зч} \cdot g \cdot \varphi_x \cdot r_k}{M_{\max} \cdot U_z \cdot U_{дкн} \cdot \eta_{тр}};$$

- для АТЗ із задніми ведучими колесами

$$U_{к1} \leq \frac{m_{p2} \cdot G_{a2} \cdot g \cdot \varphi_x \cdot r_k}{M_{\max} \cdot U_z \cdot U_{дкн} \cdot \eta_{тр}}.$$

Передаточні числа проміжних ступенів КПП

$$U_m = \sqrt{U_{к1}^{n-m} \cdot U_{кв}^{m-1}},$$

де n – кількість передач;

m – порядковий номер ступені КПП.

Передаточне число понижуючої передачі додаткової коробки з умови:

- отримання стійкої мінімальної швидкості руху АТЗ

$$U_{дкн} = \frac{2\pi \cdot n_{e \min} \cdot r_k}{V_{\min} \cdot U_{к1} \cdot U_z}.$$

Якщо n_e у $xв$, а V_{\max} в км/год, то

$$U_{дкн} = 0,377 \frac{n_{e \min} \cdot r_k}{V_{\min} \cdot U_{к1} \cdot U_z}, (V_{\min} = 3...5 \text{ км/год});$$

- при відсутності буксування ведучих коліс

$$U_{дкн} \leq \frac{G_{зч} \cdot g \cdot \varphi_x \cdot r_k}{M_{\max} \cdot U_{к1} \cdot U_z \cdot \eta_{тр}}, (\varphi_x = 0,6...0,8).$$

4.4 Гальмівні властивості

Гальмівна сила

$$F_{zl} = G \cdot g \cdot \varphi_x.$$

Рівняння руху АТЗ при гальмуванні

$$F_{zl} + F_{\partial} + F_{\epsilon} + F_{m\partial} + P = F_z - F_u = 0 \approx F_{zl} + F_{\partial} - F_u;$$

$$Gg \cdot \varphi_x + G \cdot g \cdot \psi - \delta_{\epsilon p} \cdot G \cdot a_z = 0 \text{ або } \varphi_x + \psi - \frac{\delta_{\epsilon p}}{g} \cdot a_z = 0.$$

Стале уповільнення при гальмуванні

$$a_z = \left[\frac{(\varphi_x + \psi)}{\delta_{\epsilon p}} \right] g \approx \left(\frac{\varphi_x}{\delta_{\epsilon p}} \right) g = \varphi_x \cdot g.$$

Гальмівний шлях

$$S_{zl} = V_n(t_{zn} + 0,5t_{nz}) + \frac{V_n^2}{2\varphi_x \cdot g}.$$

Зупинний шлях

$$S_z = V_n \cdot t_{\text{сум}} + \frac{V_n^2}{2\varphi_x \cdot g},$$

де $t_{\text{сум}} = t_{pv} + t_{zn} + 0,5t_{nz}$;

t_{pv} – час реакції водія;

t_{zn} – час запізнювання привода;

t_{nz} – час наростання уповільнення.

Вимірники гальмівної динамічності з урахуванням коефіцієнта ефективності гальмування K_e (для легкових $K_e = 1,1 - 1,2$; для вантажних й автобусів $K_e = 1,4 - 1,6$):

- уповільнення

$$a_z = \frac{\varphi_x \cdot g}{K_e};$$

- зупиночний час

$$t_z = t_{\text{сум}} + \frac{K_e \cdot V_n}{\varphi_x \cdot g};$$

- гальмівний шлях

$$S_{\text{мор}} = \frac{K_e \cdot V_n^2}{2\varphi_x \cdot g} + V_n \cdot (t_{3n} + 0,5t_{n3});$$

- зупиночний шлях

$$S_3 = V_n \cdot t_{\text{сум}} + \frac{K_e \cdot V_n^2}{2\varphi_x \cdot g}.$$

Нормальні реакції дороги при гальмуванні на колеса:

- передні $R_{z1} = m_{p1} \cdot G_1 \cdot g;$

- задні $R_{z2} = m_{p2} \cdot G_2 \cdot g.$

Коефіцієнти зміни реакцій при гальмуванні

$$m_{p1} = 1 + \varphi_x \cdot h_u / l_2; \quad m_{p2} = 1 - \varphi_x \cdot h_u / l_1.$$

4.5. Паливна економічність

Годинна витрата палива (кг/год)

$$q_{\text{год}} = q_e \cdot N_e \cdot 10^{-3},$$

або

$$q_{\text{год}} = \frac{3600 \cdot G \cdot \rho \cdot m}{t},$$

де t – час, що відповідає витраті палива G , с.

Шляхова витрата палива (у л/100км)

$$Q_{\text{ш}} = \frac{q}{S} 100 = \frac{q_{\text{год}} \cdot 100}{\rho_n \cdot V} = \frac{q_e \cdot N_e \cdot 100}{1000 \cdot \rho_m \cdot V} = \frac{q_e \cdot (N_d + N_e \pm N_u)}{10 \cdot \rho_m \cdot V \cdot \eta_{\text{мр}}};$$

$$Q_{\text{ш}} = \frac{q_e \cdot (F_d + F_e \pm F_u)}{3600 \cdot \rho_m \cdot \eta_{\text{мр}}}.$$

Питома витрата палива (г/кВт·год)

$$q_e = q_N \cdot K_{об} \cdot K_u.$$

Питома витрата палива при максимальній потужності

$$q_N = (1,05 \dots 1,15) q_{e \min}.$$

Коефіцієнт, що враховує залежність витрати палива від частоти обертання колінчастого вала

$$K_{об} = 1,23 - 0,792 \frac{n_e}{n_N} + 0,58 \left(\frac{n_e}{n_N} \right)^2.$$

Коефіцієнт, що враховує залежність витрати палива від ступеня використання потужності двигуна Q для:

- карбюраторних $K_u = 2,75 - 4,61Q + 2,86Q^2;$

- дизельних $K_u = 1,71 - 2,63Q + 1,92Q^2.$

Ступінь використання потужності двигуна

$$Q = \frac{N_{\partial} + N_{\epsilon}}{N_e \cdot \eta_{mp}}.$$

Рівняння витрати палива в загальному вигляді

$$Q_n = \frac{1}{\eta_i \cdot \alpha_m} \left[A \cdot U_{\kappa i} + B \cdot U_{\kappa i}^2 \cdot V_a + C \left(C_a \cdot g \cdot \psi + 0,077 \kappa \cdot V_a^2 \pm \delta_{\epsilon p} \cdot G_a \cdot j \right) \right];$$

де η_i – індикаторний ККД двигуна

(у карбюраторних – 0,25...0,35; у дизельних – 0,42...0,52);

t – температурний коефіцієнт зміни ККД індикаторного;

A , B і C – коефіцієнти, що залежать від параметрів АТЗ;

V_a – середня технічна швидкість руху АТЗ, км/год;

kA – фактор обтічності, $H \cdot c^2 / m^2$;

$$\alpha_m = 0,96 \pm 0,27 \cdot 10^{-2}.$$

Для двигунів:

- дизельних

$$A_{\partial} = \frac{381 \cdot V_h \cdot U_{\epsilon}}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_{\kappa}}; \quad B_{\partial} = \frac{11 \cdot V_h \cdot S_n \cdot U_{\epsilon}^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_{\kappa}^2}; \quad C_{\partial} = \frac{100}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_{mp}};$$

- карбюраторних

$$A_K = \frac{358 \cdot V_h \cdot U_z}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_K}; \quad B_K = \frac{9 \cdot V_h \cdot S_n \cdot U_z^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_K^2}; \quad C_K = C_\partial.$$

У цих формулах:

V_h – робочий обсяг циліндрів двигуна, л;

H_n – нижня теплота згоряння палива, кДж/кг (у бензину – 44000; у дизельного палива – 43000);

S_n – хід поршня, м.

Розрахунок нормативної витрати палива автотранспортним засобом виконують за формулами:

- для легкових автомобілів й автобусів

$$Q_H = 0,01 \cdot H_S \cdot S_a (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma);$$

- для бортових вантажних автомобілів і сідельних тягачів у складі автопоїздів, автомобілів-фургонів і вантажно-пасажирських автомобілів, робота яких ураховується в тонно-кілометрах

$$Q_H = 0,01 [(H_S + H_\partial \cdot G_{np}) + H_w \cdot W] \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma);$$

- для автомобілів-самоскидів і самоскидних автопоїздів

$$Q_H = 0,01 [H_S + H_w (G_{np} + 0,5q_{II})] \cdot S_a \cdot (1 + 0,01 \cdot K_\Sigma) + H_z \cdot Z;$$

де H_S – базова лінійна норма витрати палива, л/100 км (куб. м/100 км);

S_a – пробіг автотранспортного засобу, км;

K_Σ – сумарний коефіцієнт, що коригує, %;

H_∂ – норма витрати палива на одну тону спорядженої маси причепа або напівпричепа, л/100 км (куб.м/100 км);

G_{np} – споряджена маса причепа або напівпричепа, т;

H_w – норма витрати палива на транспортну роботу, л/100 км (куб.м/100 км);

W – обсяг транспортної роботи, т·км;

q – вантажопідйомність причепа, т;

H_z – норма витрати палива на одну їздку з вантажем автомобіля-самоскида, л(м³);

Z – кількість їздок із вантажем.

Норма H_w залежно від виду пального становить:

- бензин 2,0 л/100 т/км;

- дизельне паливо 1,3 л/100 т/км;

- зріджений нафтовий газ 2,5 л/100 т/км;
- стиснений природний газ 2,0 м³куб. м/100 т/км;
- при газодизельному живленні двигуна природного газу 1,2 м³/100 т/км і дизельного палива 0,25 л/100 т/км.

Норма H_z встановлена в наступних розмірах:

- 0,25 л рідкого палива (0,25 м³ природного газу);
- 0,2 м³ природного газу і 0,1 л дизельного палива при газодизельному живленні двигуна.

Для автомобілів-самоскидів «Белаз» $H_z = 1,0$ л на їздку з вантажем.

4.6. Стійкість

Відцентрова сила, що діє на АТЗ при його рівномірному русі по дузі кола постійного радіуса (кривій ділянці шнеку)

$$F_C = \frac{G \cdot V_a^2}{R \cdot \cos \gamma} = \frac{G \cdot V_a^2 \cdot \operatorname{tg} \theta_{cp}}{L \cdot \cos \gamma}.$$

Поперечна складова відцентрової сили

$$P_{Cy} = F_C \cdot \cos \gamma = \frac{G \cdot V_a \cdot \operatorname{tg} \theta_{cp}}{L}.$$

Критична швидкість АТЗ (у м/с) за умовами:

- перекидання

$$V_o = \sqrt{K \cdot L g / 2h_y \cdot \operatorname{tg} \theta_{cp}} = \sqrt{K \cdot R \cdot g / 2h_y};$$

- ковзання

$$V_{ck} = \sqrt{L \cdot \varphi_y \cdot g / \operatorname{tg} \theta_{cp}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \varphi_y}.$$

Критичний кут косоугору за умовами:

- перекидання $\beta_o = \operatorname{arctg} \left(\frac{K}{2h_y} \right);$

- бічного ковзання $\beta_z = \operatorname{arctg} \varphi_y.$

Коефіцієнт поперечної стійкості $\eta_{nc} = \frac{K}{2h_y}.$

4.7. Керованість

Критична швидкість за умовами:

- керованості

$$V_{KK} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{\varphi^2 - f^2}}{\operatorname{tg} \theta} - f \right) g \cdot L \cos \theta};$$

– відведення

$$V_{KB} = \sqrt{\frac{L}{G_2 / K_{OB2} - G_1 / K_{OB1}}}.$$

Коефіцієнт опору відведенню

$$K_{OB} = 780(d_{об} + 2B_{ш}) \cdot B_{ш} \cdot (P_{м} + 98) \cdot a,$$

де $d_{об}$ й $B_{ш}$ – відповідно внутрішній діаметр ободу й ширина шини, м;

$P_{м}$ – тиск повітря в шині, кПа.

Для шин вантажних автомобілів й автобусів $a = 1$; для шин легкових автомобілів $a \approx 1,5$.

Коефіцієнт поворотності

$$\eta_{пов} = \frac{G_2 \cdot K_{OB1}}{G_1 \cdot K_{OB2}}.$$

Співвідношення кутів повороту керованих коліс із шинами:

- твердими

$$\operatorname{ctg} \theta_n - \operatorname{ctg} \theta_s = \frac{L_{шк}}{L}.$$

- еластичними в поперечному напрямку

$$\operatorname{ctg} \theta_n - \operatorname{ctg} \theta_s = \frac{L_{шк} \left[L - \left(\frac{G_2}{K_{OB2}} \right) V_a^2 \right]}{\left[L - \left(\frac{G_2}{K_{OB2}} - \frac{G_1}{K_{OB1}} \right) V_a^2 \right]^2}.$$

5. УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ЩО НЕ ПОЯСНЕНІ У ТЕКСТІ

- S – шлях пройдений колесом АТЗ, м;
 n_k – кількість обертів колеса на шляху в S метрів;
 $d_{об}$ – діаметр ободу, м;
 $B_{ш}$ – ширина профілю шини, м;
 h – висота профілю шини, м;
 U_2 – передаточне число головної передачі;
 U_{ki} – передаточне число коробки передач на i -тій передачі;
 $U_{кв}$ – передаточне число коробки передач на вищій передачі;
 $U_{к1}$ – передаточне число коробки передач на першій передачі;
 $U_{джj}$ – передаточне число додаткової коробки на j -тій передачі;
 $U_{джн}$ – передаточне число додаткової коробки на нижчій передачі;
 $N_{тр}$ – потужність, затрачувана на подолання опору в механізмах трансмісії, кВт;
 N_{max} – максимальна потужність двигуна, кВт;
 ω_e – кутова швидкість обертання колінчастого вала двигуна, рад/с;
 ω_N – кутова швидкість обертання колінчастого вала двигуна, при максимальній потужності, рад/с;
 n_e – частота обертання колінчастого вала двигуна, с⁻¹;
 n_N – частота обертання колінчастого вала при максимальній потужності двигуна, с⁻¹;
 n_M – частота обертання колінчастого вала при максимальному крутному моменті двигуна, с⁻¹;
 n_V – частота обертання колінчастого вала при максимальній швидкості руху АТЗ, с⁻¹;
 $n_{e\min}$ – мінімальна частота обертання колінчастого вала двигуна, с⁻¹;
 M_{max} – максимальний момент, що розвиває двигун, Нм;
 M_N – момент двигуна при максимальній потужності, Нм;
 V_a – швидкість руху АТЗ, м/с;
 V_n – початкова швидкість руху АТЗ, м/с;
 V_{max} – максимальна швидкість руху АТЗ, м/с;
 G – вага АТЗ, кг;
 G_a – повна вага АТЗ, кг;
 G_o – власна вага АТЗ, кг;
 G_{01} – власна вага АТЗ, що припадає на передню вісь, кг;
 G_{02} – власна вага АТЗ, що припадає на задню вісь (візок), кг;
 $G_{3ч}$ – вага АТЗ, що припадає на ведучі колеса;

G_{a2} – повна вага, що припадає на задню вісь (візок), кг;
 g – прискорення вільного падіння, м/с²;
 R_z – нормальна реакція дороги, Н;
 ψ – коефіцієнт сумарного опору дороги;
 f_o – коефіцієнт опору коченню при русі АТЗ із швидкістю, близькою до нуля;
 α і β – коефіцієнти, що залежать від моделі шини;
 K_{OB} – коефіцієнт опору відведенню, Н/рад.;
 K_{OT} – коефіцієнт обтічності, Н с²/м⁴;
 φ – коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею;
 φ_x – коефіцієнт поздовжнього зчеплення шини з дорогою;
 φ_y – коефіцієнт поперечного зчеплення шини з дорогою;
 α_0 – кут поздовжнього ухилу дороги, град.;
 i – ухил дороги;
 j – прискорення АТЗ, м/с²;
 B – висота АТЗ, м;
 $Ш$ – ширина АТЗ, м;
 K' – колія передніх коліс, м;
 l_1 – відстань від центра мас до осі переднього моста, м;
 l_2 – відстань від центра мас до осі заднього моста, м;
 h_u – відстань від центра мас до опорної поверхні, м.

РЕКОМЕНДОВАНА ТА ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Dzyura V. Ways of improvement of the city road network functioning / V. Dzyura // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2016. – Vol. 1, No. 1. – p. 11-15.
2. Tson O. Analytical evaluation of technical and operational indicators impact on the transportation technology by automobile trailers / O. Tson // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2016. – Vol. 1, No. 1. – pp. 23-26. doi:10.14254/jsdtl.2016.1-1.4.
3. Vovk Y. Crisis of relationship in general theory of crisis / Andrushkiv, B., Vovk, Y., Pohaydak, O., Fedyshyn, I. // Journal of International Studies, 2011. – Vol. 4, No 1. – pp. 18-25. DOI: 10.14254/2071-8330.2011/4-1/2
4. Vovk Y. Resource-efficient intelligent transportation systems as a basis for sustainable development. Overview of initiatives and strategies / Y. Vovk // Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2016. – Vol. 1, No. 1. – p. 6-10. (Польща).
5. Вовк Ю. Аналіз стану транспортної системи України та перспективи її розвитку / Юрій Вовк // Соціально-економічні проблеми і держава. – 2015. – Вип. 2 (13). – С. 5-15.
6. Вовк Ю. Вплив трансферу технологій на інноваційні процеси: український та зарубіжний досвід [Електронний ресурс] / Ю. Вовк, І. Нагорняк, Г. Нагорняк // Соціально-економічні проблеми і держава. – 2013. – Вип. 2 (9). – С. 117-127.
7. Вовк Ю.Я. Пути формирования ресурсоэффективной транспортной системы / Ю.Я. Вовк // Экономические тенденции, 2017. – Вып. 1, № 1. – С. 22-29. (Білорусь).
8. Вовк Ю.Я. Ресурсономіка: теоретичні та прикладні аспекти: Монографія / Андрушків Б.М., Вовк Ю.Я., Вовк І.П., Паляниця В.А. та ін. – Тернопіль: ТОВ "Терно-Граф", 2012. – 456 с. (0,2 внесок автора).
9. Волков В.П., Кравченко О.П. Основы теории эксплуатационных vlastivostey автомобиля: навчальний посібник. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – 248 с.
10. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. – Минск.: Выш. шк., 1986. – 208с.
11. Дегтярь В.Г., Цуканов І. М. Елементи теорії випадкових процесів та їх застосування для прийняття рішень. – К.: УТУ, 1999. – 79 с.
12. Деордица Ю.С., Савченко В.Т. Компьютерные технологии в экономике и менеджменте: Учеб. пособие. – Луганськ: ВУГУ, 1999.
13. Дзюра В.О. Обґрунтування швидкості руху на міських вулицях і дорогах / В.О. Дзюра // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2016. – Вип. №55. – С. 112-116.
14. Дзюра В.О. Порушення при облаштуванні прибудинкових територій, зокрема місць для зберігання індивідуальних транспортних засобів в межах населених пунктів / В.О. Дзюра // Вісник Харківського національного

- технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка присвячений 25 річчю ННІ ТС. – 2016. – Вип. 169 «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу» «транспортні технології». – Харків : ХНТУС, 2016. – С. 228-232.
15. Доля В. К. Пасажирські перевезення / В. К. Доля. – Х. : Вид-во „Форт”, 2011. – 507 с.
 16. Зайцев М. Г. Количественные методы в менеджменте. Часть 1. Принятие решений в условиях определенности. – М.: Академия Народного Хозяйства при правительстве РФ. – 235 с.
 17. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: Підручник. – К: ВІПОЛ, 2000.
 18. Иванов В.В., Иларионов В.А., Морин М.М. Основы теории автомобиля и трактора: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. Шк., 1977. – 245 с.
 19. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ) – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
 20. Карпенко О. Проблеми функціонування механізму трансферу наукових технологій освітньої діяльності в логістиці / Олена Карпенко, Світлана Ковальчук, Юрій Вовк, Ігор Гирила, Оксана Шевчук, Мар'яна Януш // Соціально-економічні проблеми і держава. – 2016. – Вип. 2 (15). – С. 114-119.
 21. Краткий автомобильный справочник / А.Н.Понизовкин, Ю.М.Власко, М.Б.Ляликов и др. – М.: Трансконсалтинг, НИИАТ, 1994. – 779 с.
 22. Кремер Н. Ш. Исследование операций в экономике. – М.: ЮНИТИ, 1997. – 407 с.
 23. Курс лекций по дисциплине «Автомобили. Теория эксплуатационных свойств» в 2-х частях. Часть 1 / В.Г. Цокур, А.В. Химченко, С.Н. Крамарь. – Горловка: АДИ ДонНТУ, 2006. – 64 с.
 24. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
 25. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь / Словарь современной экономической науки. Издание 4-е, переработанное и дополненное. – Г.: Издательство «АВФ», 1996. – 704с.
 26. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни «Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів» для студентів спеціальності «Організація перевезень і управління на автомобільному транспорті» / В.Г. Алексеев, Л.Н. Денисова. – Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, 2010. – 42с.
 27. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни “Основи теорії транспортних процесів та систем“ для студентів 4 курсу денної форми навчання 6.070101 «Транспортні технології» (автомобільний транспорт) / Укл.: Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра, П.В. Попович та ін. – Тернопіль: СтереоАрт, 2016. – 38 с.
 28. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Автоматизована система управління на транспорті» (для студентів 4 курсу денної форми

- навчання 6.070101 Транспортні технології). Укл.: Ю.Я. Вовк, В.О. Дзюра, П.В. Попович та ін. – Тернопіль: СтереоАрт, 2016. – 24 с.
29. Мур Дж., Уэдерфорд Л. Экономическое моделирование в Microsoft Excel. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
 30. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку : методи та моделі організації дорожнього руху / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.
 31. Попович П. В. Дослідження тенденцій розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень в сучасних умовах / П.В. Попович, О.С. Шевчук, А.Й. Матвійшин, В.Н. Лотоцька // Науковий журнал. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир, 2016. – №2(77). – С. 224-228.
 32. Попович П.В. Аналітичні технології в забезпеченні економічної ефективності логістичних систем / Попович П. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – Вип. № 169. – С. 223 - 225.
 33. Попович П.В. Економічні аспекти використання послуг 3PL операторів вітчизняними підприємствами / П.В. Попович. // Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – № 2. - С. 125-129.
 34. Попович П.В. Проблематика імітаційного моделювання в оцінці економічної ефективності у логістиці / П. Попович // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – Вип. № 169. – С. 226-229.
 35. Ржевський С.В. Елементи теорії дослідження операцій. – К.: ЄУФІМБ, 1999. – 120 с.
 36. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
 37. Солтус А.П. Теория эксплуатационных свойств автомобиля. – К.: Аристей, 2005. – 188 с.
 38. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.
 39. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т.Н. Асмут, К. Боргнакке, С.К. Клерк и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 504 с.
 40. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер.с англ.-М: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 913 с.
 41. Цьонь О.П. Правові аспекти організації перевезень вантажів у міжнародному сполученні / О.П. Цьонь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 169. «Деревооброблювальні технології та системотехніка лісового комплексу», «Транспортні технології» Х.: ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2016. – С. 209-211.
 42. Цьонь О.П. Шляхи визначення оптимальних відстаней між пунктами транспортної мережі / Цьонь О.П. // Міжвузівський збірник “Наукові нотатки”. Випуск №55. – Луцьк.: ЛНТУ, 2016. – С. 418-421.

43. Четверухін Б. М. Дослідження операцій в транспортних системах. Частина 1. Методи лінійного програмування та їх застосування. Навчальний посібник. – К.: УТУ, 2000. – 100 с.
44. Четверухін Б.М., Бакуліч О.О., Радкевич С.Д. Дослідження операцій в транспортних системах. Частина 2. Системи масового обслуговування. Навчальний посібник. – К.: НТУ, 2001. – 141 с.
45. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1975. – 214 с.