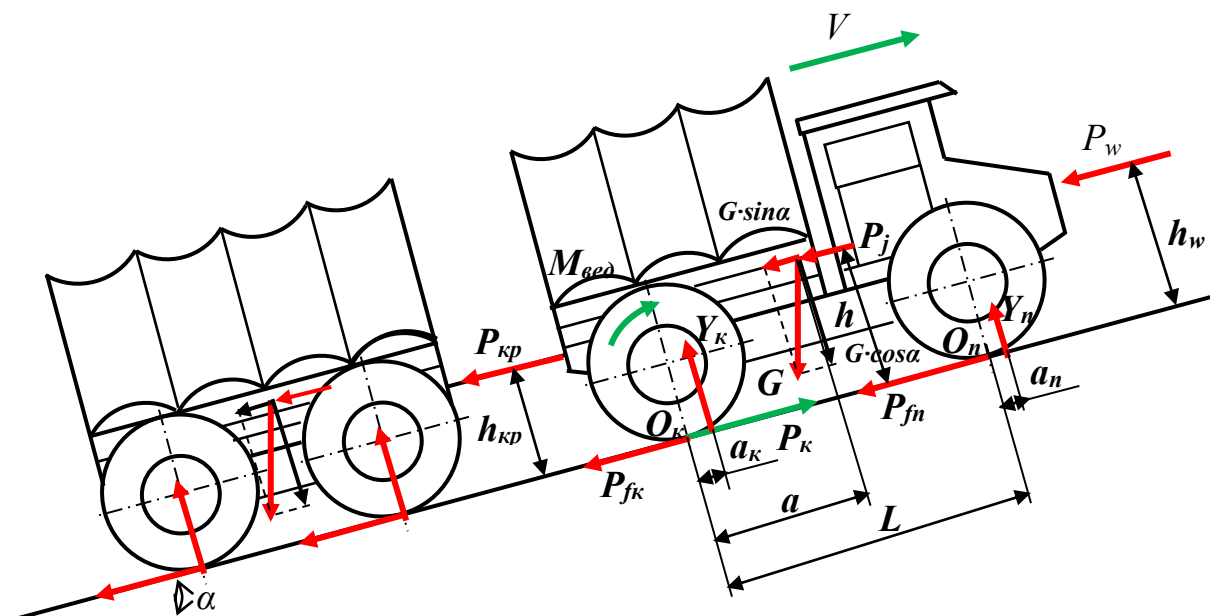


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

А. І. ПАНЧЕНКО, А. А. ВОЛОШИНА, О. В. БОЛТЯНСЬКИЙ,  
І. І. МІЛАСВА, І. А. ПАНЧЕНКО, А. А. ВОЛОШИН

# ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

*Посібник – практикум*



Мелітополь – 2021

Автори: А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський,  
І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин

*Рекомендовано до друку рішенням науково-методичної комісії  
механіко-технологічного факультету Таврійського державного  
агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного  
протокол № 6 від "11" травня 2021 р.*

**Рецензенти:**

**В. А. Войтов** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

**С. В. Воронін** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту.

**Панченко А.І., Волошина А.А., Болтянський, О.В., Мілаєва І.І.,  
Панченко І.А., Волошин А.А.**

**Основи теорії транспортних процесів та систем:** посібник-практикум. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. 160 с.

Посібник–практикум спрямований на поглиблення та закріплення знань з дисциплін «Основи теорії транспортних процесів та систем» та отримання практичних навичок розрахунку тягово-швидкісних та техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу, а також проведенні досліджень різних характеристик рухомого складу.

© А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський,  
І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин, 2021

## ЗМІСТ

<b>ЗАГАЛЬНІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ</b>	<b>5</b>
<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>1. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ</b>	<b>12</b>
Лабораторна робота № 1. Сили і моменти, що діють на рухомий склад	12
Лабораторна робота № 2. Визначення потужності двигуна та побудова швидкісної характеристики	24
Лабораторна робота № 3. Визначення передаточних чисел трансмісії	39
Лабораторна робота № 4. Тягова характеристика рухомого складу	49
Лабораторна робота № 5. Динамічна характеристика рухомого складу	59
Лабораторна робота № 6. Паливна економічність рухомого складу	69
Лабораторна робота № 7. Визначення часу та шляху розгону рухомого складу	82
Лабораторна робота № 8. Гальмівні властивості рухомого складу	95

<b>2. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ</b>	<b>107</b>
Лабораторна робота № 9. Показники використання рухомого складу	107
Лабораторна робота № 10. Використання вантажопідйомності та пробігу рухомого складу	118
Лабораторна робота № 11. Продуктивність рухомого складу	129
Лабораторна робота № 12. Визначення кількості інвентарних автомобілів парку	140
Лабораторна робота № 13. Визначення часу обороту рухомого складу	150

## ЗАГАЛЬНІ ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ

Основною метою лабораторно-практичних робіт, наведених у даному посібнику, є поглиблення та закріплення знань з дисципліни «Основи теорії транспортних процесів та систем» та отримання практичних навичок в проведенні досліджень характеристик рухомого складу.

Включені в даний посібник роботи висвітлюють досвід організації та проведення лабораторних робіт на кафедрі «Мехатронні системи та транспортні технології» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного відповідно до робочої програми навчальної дисципліни та графіка навчального процесу.

У лабораторних роботах, наведених у посібнику, витримується єдина структура: мета і завдання роботи, загальні теоретичні відомості за темою роботи, розв'язання типового завдання та варіанти індивідуальних завдань для визначення необхідних показників роботи рухомого складу. У кожній роботі передбачені контрольні питання та тестові завдання.

Виконання лабораторних робіт спрямоване на закріплення теоретичних знань студентів та відпрацювання навичок з розрахунку експлуатаційних властивостей та техніко-експлуатаційних показників роботи та визначення кількості рухомого складу під час перевезення вантажів і пасажирів.

Під час виконання лабораторних робіт відпрацьовується методика розв'язання таких завдань:

- визначення тягово-швидкісних показників рухомого складу та побудова динамічної характеристики рухомого складу;
- розрахунок показників розгінних та гальмівних якостей рухомого складу;
- розрахунок показників використання і продуктивності рухомого складу;
- визначення техніко-експлуатаційних показників роботи та кількості рухомого складу.

Перед виконанням кожної роботи студент повинен ознайомитися з цими методичними вказівками, вивчити за конспектом лекцій та рекомендованою літературою теоретичні матеріали, що стосуються теми роботи.

## ВСТУП

Експлуатаційними властивостями рухомого складу називаються властивості, що характеризують виконання рухомим складом транспортних та спеціальних робіт – перевезення пасажирів, вантажів та спеціального устаткування.

Ці властивості визначають пристосованість рухомого складу до умов експлуатації, а також ефективність та зручність його використання.

**Основними експлуатаційними властивостями рухомого складу**, які дозволяють визначити ступінь найбільш ефективного їх використання в заданих умовах експлуатації, є:

**Динамічність** – здатність автомобіля перевозити вантажі з найбільшою середньою технічною швидкістю в різних дорожніх умовах. Динамічні якості залежать від інтенсивності розгону, максимальної швидкості, максимального прискорення і можливості долати найбільші підйоми, а також від ефективності гальмування. Динамічність значно впливає на продуктивність автомобіля.

**Економічність** – здатність автомобіля здійснювати перевезення з найменшими експлуатаційними витратами. Визначається сумою всіх витрат на паливе, технічне обслуговування та ремонт. Серед експлуатаційних витрат найбільшими є витрати на паливе.

**Надійність** – здатність автомобіля виконувати роботу тривалий час без поломок та несправностей у заданих умовах експлуатації. Надійність оцінюється частотою відмов, тривалістю простоїв, зумовлених технічними несправностями, а також вантажозатратами на їх усунення.

Рухомий склад має цілу низку експлуатаційних властивостей, які складають дві основні групи, пов'язані і не пов'язані з рухом рухомого складу.

**Основними експлуатаційними властивостями, пов'язаними з рухом рухомого складу**, є тягово-швидкісні властивості, гальмівні властивості, паливна економічність, керованість, маневреність, стійкість, прохідність, плавність ходу, екологічність і безпеку руху. Ці властивості забезпечують рух рухомого складу і визначають закономірності його руху.

**Тягово-швидкісними** називаються властивості рухомого складу,

що визначають діапазони зміни швидкостей руху та максимальні прискорення розгону в різних дорожніх умовах при роботі на тяговому режимі.

**Тяговим** називається режим руху рухомого складу, при якому від двигуна до ведучих коліс підводяться потужність і момент, необхідні для руху.

**Гальмівними** називаються властивості рухомого складу, що визначають максимальні уповільнення при гальмуванні в різних дорожніх умовах і забезпечують нерухоме утримання щодо опорної поверхні.

**Паливною економічністю** називається властивість рухомого складу, що визначає витрати палива при виконанні транспортної роботи.

**Керованість** – здатність автомобіля легко та швидко змінювати положення на дорозі. Керованість забезпечує збереження прямолінійного руху на прямих ділянках дороги та точне виконання траєкторії поворотів, що здійснюються.

**Маневреність** – здатність автомобіля швидко змінювати напрямок руху на мінімальній площі. Маневреність визначається радіусом повороту автомобіля, передатним числом рульового керування, а також зусиллями, потрібними для повороту рульового колеса. Маневреність автомобіля з причепом або напівпричепом погіршується порівняно з маневреністю поодинокого автомобіля.

**Стійкість** – здатність автомобіля рухатись у різних дорожніх умовах без заносів і перекидань. Ця якість автомобіля має велике значення для безпеки дорожнього руху. Розрізняють поздовжню та поперечну стійкість автомобіля, а також стійкість на повороті.

Стійкість підвищується при зниженні центру ваги автомобіля, збільшенні колії (відстані між серединами правих і лівих коліс), бази (відстані між передньою та задньою осями), рівномірності розміщення вантажу та його кріплення.

**Прохідність** – здатність автомобіля рухатись у важких дорожніх умовах та в умовах бездоріжжя. До таких дорожніх умов належать рух по піску, м'якому ґрунту, болоті, нерівних та слизьких дорогах тощо.

Опір руху автомобіля на поганих дорогах і в умовах бездоріжжя значно вищий, ніж на добрих дорогах. Тому для подолання опору

автомобіль має володіти високими тяговими якостями, мати необхідний дорожній просвіт (відстань від найнижчої точки автомобіля до поверхні дороги), достатні кути переднього та заднього звисання (в'їзду та спуску). Дорожній просвіт і кути прохідності визначають величину перешкод, які може подолати автомобіль під час руху.

Прохідність автомобіля значно підвищується при збільшенні кількості ведучих мостів. Підвищити прохідність автомобіля можна за рахунок зменшення питомого тиску шин на дорогу. Для цього в деяких моделях автомобілів (наприклад, КрАЗ-255Б та ін.) застосовують широкопрофільні шини з тиском, що регулюється з робочого місця водія. Для підвищення прохідності автомобілів застосовують шини з рисунком протектора підвищеної прохідності (з ґрунтозачепами), а також протиковзні ланцюги, лебідки, самовитягачі та ін.

**Плавністю ходу** називається властивість рухомого складу забезпечувати захист людей, вантажів і механізмів, що перевозяться рухомим складом від впливу нерівностей дороги.

**Екологічністю** називається властивість рухомого складу, що характеризує ступінь забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами і шумом.

**Безпека дорожнього руху** – визначається стійкістю автомобіля до занесення та перекидання, керованістю, надійністю гальмування та довжиною гальмового шляху, видимістю та оглядовістю дороги, ефективністю освітлення та сигналізації.

Експлуатаційні властивості рухомого складу необхідно оцінювати виходячи з умов експлуатації, тобто особливостей організації процесу перевезень, які визначаються різними поєднаннями транспортних, дорожніх та кліматичних умов.

**До експлуатаційних властивостей, не пов'язаних з рухом рухомого складу**, відносяться місткість, міцність, довговічність, пристосованість до технічного обслуговування і ремонту та пристосованість до вантажно-розвантажувальних робіт. Ці властивості багато в чому визначають ефективність і зручність використання рухомого складу.

**Місткістю** називається властивість рухомого складу, що визначає кількість вантажів або пасажирів, які можуть бути одночасно перевезені.



**Міцністю** називається властивість рухомого складу працювати без поломок та несправностей.

**Довговічність** – визначається тривалістю роботи автомобіля до появи гранично допустимого спрацювання деталей і механізмів, що зумовлює необхідність припинення експлуатації автомобіля. Довговічність оцінюється пробігом його до капітального ремонту, а також загальним (амортизаційним) його пробігом.

**Пристосованість до технічного обслуговування і ремонту** називається властивість рухомого складу, що визначає простоту, трудомісткість та час простою при виконанні цих робіт.

**Пристосованість до вантажно-розвантажувальних робіт** називається властивість рухомого складу забезпечувати ці роботи з мінімальною затратою часу і праці.

**Експлуатаційні властивості рухомого складу** найбільш повно проявляються в умовах експлуатації.

**Умовами експлуатації рухомого складу** називаються умови, в яких здійснюються перевезення і які характеризуються різними зовнішніми факторами.

До умов експлуатації відносяться дорожні, транспортні та природно-кліматичні умови.

**Дорожні умови** характеризуються типом та рівністю дорожнього покриття, поздовжнім профілем дороги (граничними узвозами та підйомами), станом дорожнього покриття в різні пори року, інтенсивністю руху.

Основою дорожніх умов експлуатації є дороги які за призначенням бувають загального користування, автомагістралі, внутрігосподарські (сільські) та міські (вулиці).

Дорожні умови мають найбільший вплив на експлуатаційні властивості рухомого складу.

**Транспортні умови** експлуатації характеризуються видом та кількістю перевезених вантажів, дальністю перевезень, способами навантаження та розвантаження вантажів, режимом роботи, видом маршрутів умовами зберігання, технічним обслуговуванням та ремонтом рухомого складу.

Транспортні умови експлуатації визначають спеціалізацію рухомого складу, яка забезпечує максимальну пристосованість до

перевезення певного виду вантажу в умовах експлуатації.

**Природно-кліматичні умови** характеризуються температурою навколишнього повітря, атмосферним тиском та опадами (туман, дощ, сніг).

**Техніко-експлуатаційні показники** – це система взаємопов'язаних первинних і розрахункових показників, які характеризують можливе і фактичне використання рухомого складу в існуючих умовах експлуатації.

Оцінка і аналіз роботи рухомого складу, окремо кожної його одиниці і парку в цілому проводиться за допомогою системи техніко-експлуатаційних показників, що характеризують кількість і якість виконаної роботи.

Група транспортних засобів, об'єднаних організаційно або виконанням спільної задачі, називається парком рухомого складу.

Основні показники, що визначають транспортну роботу, яка виконується парком автомобілів, можна об'єднати у дві групи:

Перша група характеризує ступінь використання рухомого складу транспорту, до якої відносяться:

- коефіцієнт технічної готовності –  $\alpha_{m.z}$ ;
- коефіцієнт випуску автомобілів –  $\alpha_v$ ;
- коефіцієнт використання рухомого складу –  $\alpha_{вк}$ ;
- коефіцієнт використання вантажопідйомності –  $\gamma$ ;
- коефіцієнт використання пробігу –  $\beta$ ;
- середня технічна швидкість –  $V_m$ ;
- середня експлуатаційна швидкість –  $V_e$ ;
- середня відстань їздки з вантажем –  $l_{ез.в}$ ;
- середня відстань перевезення –  $l_{сп}$ ;
- час у наряді –  $T_n$ ;
- час простою під навантаженням –  $t_n$ ;
- час простою під розвантаженням –  $t_p$ .

Друга група характеризує показники роботи рухомого складу, до якої відносяться:

- кількість їздок –  $n_{ез}$ ;
- загальна відстань перевезення –  $L_{заг}$ ;
- пробіг із вантажем –  $l_{ван}$ ;
- пробіг без вантажу –  $l_{пор}$ ;
- обсяг перевезення –  $Q$ ;
- транспортна робота –  $P$ .

Робота транспорту полягає у переміщенні певної кількості вантажу на визначену відстань. При цьому процес навантаження і розвантаження визначається кількістю перевезених тонн вантажу, а процес переміщення вантажу – кількістю виконаних тонно-кілометрів.

# 1. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ

## Лабораторна робота № 1

### СИЛИ І МОМЕНТИ, ЩО ДІЮТЬ НА РУХОМИЙ СКЛАД

**Мета роботи.** Встановлення взаємозв'язків та аналіз рушійних сил та сил опору руху, що діють на рухомий склад в різних умовах експлуатації.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний пристрій для презентацій та демонстрації навчальних фільмів; плакати.

#### 1. Вказівки по підготовці до самостійної роботи

##### 1.1. Завдання для підготовки до самостійної роботи

1. Знати сили, що діють на рухомий склад у загальному випадку руху.
2. Знати тяговий баланс рухомого складу.
3. Знати визначення нормальних реакцій ґрунту на ведучі та відомі колеса.

##### 1.2. Питання для самоперевірки

1. Які сили діють на рухомий склад у загальному випадку руху?
2. Рівняння тягового балансу рухомого складу у загальному випадку руху.
3. Рівняння тягового балансу одиночного автомобіля.
4. Рівняння тягового балансу автомобіля при сталому русі.
5. Визначення сили опору повітря.
6. Нормальні реакції ґрунту на ведучі колеса.
7. Нормальні реакції ґрунту на відомі колеса.

##### 1.3. Рекомендована література

1. *Босняк М.Г.* Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с.
2. *Вільковський Є.К., Кельман І.І., Бакуліч О.О.*

Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад): підручник. – Львів: «Інтелект-Захід», 2007. 496 с.

3. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие. – СПбГАСУ, 2010. 214 с.

4. Дмитриченко М.Ф., Яцківський Л.Ю., Ширяєва С.В., Докуніхін В.З. Основы теорії транспортних процесів і систем: навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.

5. Мирошниченко А.Н.. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие. – Томск, 2014. 490 с.

6. Осинцев Н.А. Практикум по организации грузовых автомобильных перевозок: учебное пособие. – Магнитогорск, 2014. 121 с.

7. Черненко С. М. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Автомобільні перевезення». – Кременчук, 2019. 58 с.

## 2. Вказівки до виконання лабораторної роботи

### 2.1. Програма роботи

1. Зобразити схему рухомого складу згідно з індивідуальним завданням.

2. Вказати і пояснити фізичну суть силових факторів, що діють на рухомий склад в заданих умовах.

3. Записати рівняння проекцій на поверхню шляху сил, що рухають машину, і сил опору руху.

4. Оформити звіт з лабораторної роботи (тема, мета, індивідуальне завдання, схема сил і моментів, що діють на рухомий склад, фізична суть силових факторів, рівняння проекцій сил на поверхню шляху).

### 2.2. Теоретичні відомості

Розглянемо загальний випадок руху автомобіля на підйом по поверхні, розташованій під кутом  $\alpha$  до горизонтальної площини (рис. 1.1, а, б), із змінною швидкістю  $V$  і навантаженням на крюку  $P_{кр}$ , прикладеним у точці причепу. У даному випадку на машину діють сили, зумовлені гравітаційним полем Землі, опорною поверхнею, навколишнім середовищем та двигуном.

Сила тяжіння  $G$  (вага) машини прикладається в центрі її тяжіння  $C$ , положення якого визначається двома координатами: повздовжньою  $a$  і нормальною  $h$ . Координата  $a$  дорівнює відстані від центру тяжіння  $C$  до площини, що проходить через вісь обертання задніх ведучих коліс перпендикулярно до поверхні дороги; Координата  $h$  дорівнює відстані від центру тяжіння  $C$  до опорної поверхні. Нормальна і повздовжня складові сили тяжіння відповідно становлять  $G \cdot \cos \alpha$  та  $G \cdot \sin \alpha$ .

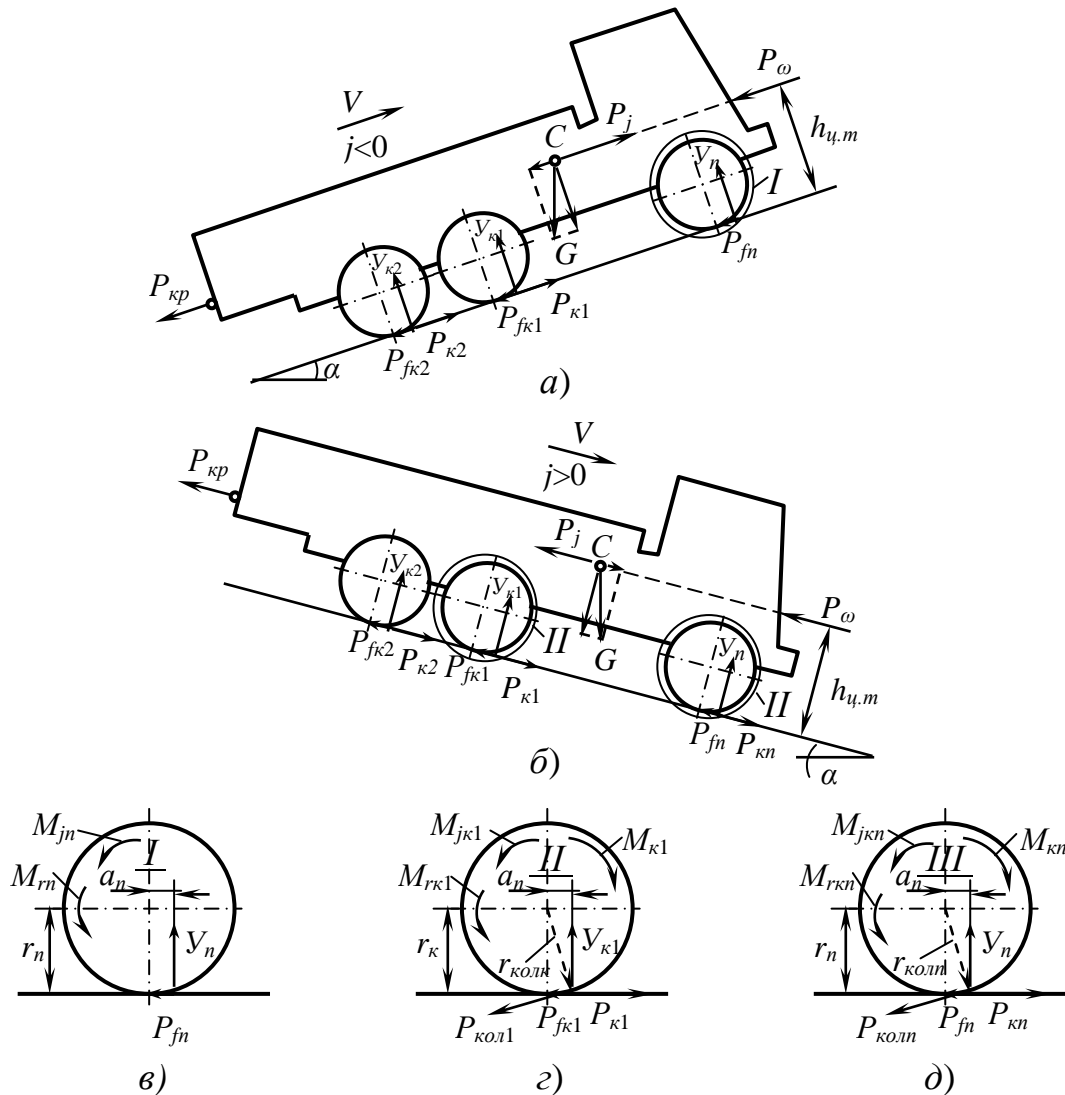


Рис. 1.1. Схеми силових факторів, що діють на рухомий склад в різних умовах експлуатації, зокрема, сил – на машини з колісними схемами бк4 (а) і бк6 (б); сил і моментів – на ведене (в) і ведучі (г, д) колеса

У центрі тяжіння машини також прикладається результуюча сила інерції  $P_j$ , яка під час розгону спрямована протилежно до вектора швидкості  $V$  прямолінійно-поступального руху, а в разі

сповільнення – у напрямі руху:

$$P_j = \delta_{об} \cdot \frac{G}{g} \cdot j, \quad (1.1)$$

де  $\delta_{об}$  – коефіцієнт обертових мас, який враховує збільшення маси машини за рахунок інерції деталей двигуна, силової передачі та коліс, що обертаються;

$j$  – прискорення прямолінійно-поступального руху;

$g$  – прискорення вільного падіння.

Сила опору повітря  $P_{\omega}$  прикладається в центрі парусності, який розташований практично на однаковій висоті  $h$  з центром тяжіння  $C$ . Сила  $P_{\omega}$  залежить від площі, форми та шорсткості лобової поверхні машини і визначається за формулою:

$$P_{\omega} = k_{\omega} \cdot F \cdot V^2, \quad (1.2)$$

де  $k_{\omega}$  – коефіцієнт обтічності;

$F$  – площа лобової поверхні, тобто площа проекції контуру машини на площину, перпендикулярну до напрямку руху.

Рівнодіюча нормальних реакцій опорної поверхні на передні колеса  $Y_n$  (рис. 1.1 а, б) прикладається на відстані  $a_n$  (вздовж напрямку руху) від їх геометричної осі обертання, перпендикулярно до напрямку переміщення машини, і створює момент опору коченню передніх коліс  $M_{fn}$ .

Рівнодіючі нормальних реакцій опори на задні ведучі колеса машини  $Y_{k1}$  та  $Y_{k2}$  (рис. 1.1 а, б) зміщені в напрямі руху від їх осі обертання на відстань  $a_k$  і зумовлюють момент  $M_{fk}$  опору коченню задніх коліс.

Моменти опору кочення передніх та задніх коліс визначаються за формулами:

$$M_{fn} = Y_n \cdot a_n = P_{fn} \cdot r_n; \quad (1.3)$$

$$M_{fk} = Y_k \cdot a_k = (Y_{k1} + Y_{k2}) \cdot a_k = (P_{fk1} + P_{fk2}) \cdot r_k = P_{fk} \cdot r_k, \quad (1.4)$$

де  $P_{fn}$ ,  $P_{fk}$  – сили опору коченню передніх і задніх коліс, динамічний радіус яких відповідно дорівнює  $r_n$  та  $r_k$ ;

$P_{fk1}$ ,  $P_{fk2}$  – сили опору коченню коліс першої і другої задніх ведучих осей, причому  $P_{fk1} + P_{fk2} = P_{fk}$ .

Сила опору коченню машини  $P_f$  діє паралельно до напрямку руху і дорівнює сумі сил  $P_{f_n}$  і  $P_{f_k}$ . Опір коченню зумовлюється незворотними деформаціями дороги, гістерезисними втратами в пневмошинах та втратами на тертя під час ковзання коліс по опорній поверхні.

Сила опору коченню машини  $P_f$  визначається за формулою:

$$P_f = f \cdot (G \cdot \cos \alpha + P_{кр}) = f \cdot (Y_n + Y_k) = f \cdot (Y_n + Y_{k1} + Y_{k2}), \quad (1.5)$$

де  $f$  – коефіцієнт опору коченню, який залежить від типу та стану дороги, конструкції ходової системи.

Дотична сила тяги ведучих коліс машини  $P_k$  – це рівнодіюча повздовжніх реакцій опорної поверхні, які спрямовані вздовж напрямку руху, паралельно вектору швидкості  $V$ . Сила  $P_k$  виникає в зоні контакту кожного ведучого колеса з опорною поверхнею на відстані динамічного радіуса  $r_k$  від осі колеса, як реакція на частину колового зусилля  $P_{кол}$  (рис. 1.1 з, д) з плечем дії  $r_{кол}$ ; значення дотичної сили тяги машини становить:

$$P_k = P_{кк} + P_{кн} = P_{к1} + P_{к2} + P_{кн}, \quad (1.6)$$

де  $P_{кк}$ ,  $P_{кн}$  – дотичні сили тяги задніх і передніх коліс;

$P_{к1}$ ,  $P_{к2}$  – дотичні сили тяги коліс першої і другої задніх осей.

Максимальне значення дотичної сили тяги  $P_{к_{max}}$  називають силою зчеплення  $P_{к\phi}$  ведучих коліс з опорною поверхнею та визначають за формулою:

$$P_{к_{max}} = \phi \cdot (Y_k + Y_n) = \phi \cdot (Y_{к1} + Y_{к2} + Y_n), \quad (1.7)$$

де  $\phi$  – коефіцієнт зчеплення коліс з опорною поверхнею.

Крім вказаних сил, на передні ведені колеса (рис. 1.1, в) діють момент дотичних сил інерції коліс  $M_{j_n}$  та момент опору обертанню  $M_{r_n}$ , зумовлений в основному тертям у підшипниках маточин. Ведучі колеса (рис. 1.1 з, д) сприймають дію моменту  $M_k$ , що підводиться від двигуна, зведеного сумарного моменту дотичних сил інерції  $M_{j_k}$  коліс та кінематично з'єднаних з ними деталей трансмісії та двигуна, а також моменту опору обертанню  $M_{r_k}$ . Моменти  $M_{j_n}$ ,  $M_{j_k}$  дотичних сил інерції протидіють прискореному руху машин і сприяють – у випадку сповільнення, а моменти  $M_{r_n}$ ,



$M_{r_k}$  – завжди протидіють руху.

Ведучий момент  $M_k$  машини дорівнює:

$$M_k = M_{kk} + M_{kn} = M_{k1} + M_{k2} + M_{kn}, \quad (1.8)$$

де  $M_{k_k}, M_{k_n}$  – ведучі моменти задніх і передніх коліс;

$M_{k1}, M_{k2}$  – ведучі моменти коліс першої і другої задніх осей.

Використовуючи схеми сил, наведені на рис. 1.1 а, б, запишемо рівняння проекцій сил на опорну поверхню, що рухають машину, і сил опору руху:

$$\begin{aligned} P_k &= P_{kk} + P_{kn} = P_{k1} + P_{k2} + P_{kn} = \\ &= P_{kp} + P_{fn} + P_{fk1} + P_{fk2} \pm G \sin \alpha \pm P_j + P_{\omega} = \\ &= P_{kp} + f \cdot G \cdot \cos \alpha \pm G \cdot \sin \alpha \pm \delta_{об} \cdot \frac{G}{g} \cdot j + k_{\omega} \cdot F \cdot V^2 \end{aligned} \quad (1.9)$$

### 2.3. Індивідуальні завдання

Таблиця 1.1

Дані для аналізу силових факторів, що діють на автомобілі

Варіант	Машина		Умови експлуатації	
	марка	колісна формула	характер руху*	макрорельєф
1	УАЗ-3303-01	4×4	Прискорений	Горизонтальна дорога
2	КАМАЗ-5320	6×4	Сповільнений з ТН	Підйом
3	ГАЗ-66-11	4×4	Прискорений	Підйом
4	УАЗ-3741	4×4	Рівномірний	Горизонтальна дорога
5	КрАЗ-260	6×6	Рівномірний	Схил
6	МАЗ-5335	4×2	Рівномірний з ТН	Підйом
7	УРАЛ-4320	6×6	Рівномірний	Горизонтальна дорога
8	ЗИЛ-ММЗ-4502	4×2	Рівномірний	Підйом
9	ЗИЛ-431410	4×2	Рівномірний	Горизонтальна дорога
10	КАМАЗ-5320	6×4	Прискорений	Схил
11	ГАЗ-САЗ-3507	4×2	Рівномірний	Горизонтальна дорога
12	УАЗ-3303-01	4×4	Рівномірний	Підйом
13	ГАЗ-66-11	4×4	Рівномірний	Схил
14	УРАЛ-4320	6×6	Сповільнений з ТН	Підйом
15	КрАЗ-260	6×6	Рівномірний з ТН	Підйом
16	УАЗ-3303-01	4×4	Сповільнений	Схил
17	КАМАЗ-5320	6×4	Рівномірний	Горизонтальна дорога
18	ГАЗ-66-11	4×4	Сповільнений	Горизонтальна дорога

## Лабораторна робота № 1. Сили і моменти, що діють на рухомий склад

Варіант	Машина		Умови експлуатації	
	марка	колісна формула	характер руху*	макрорельєф
19	УАЗ-3741	4×4	Прискорений	Підйом
20	КрАЗ-260	6×6	Сповільнений	Схил
21	МАЗ-5335	4×2	Прискорений	Підйом
22	УРАЛ-4320	6×6	Прискорений з ТЕ	Підйом
23	ЗИЛ-ММЗ-4502	4×2	Сповільнений	Схил
24	МАЗ-5335	4×2	Прискорений з ТН	Горизонтальна дорога
25	ГАЗ-САЗ-3507	4×2	Рівномірний	Підйом
26	ГАЗ-66-11	4×4	Рівномірний з ТН	Підйом
27	КрАЗ-260	6×6	Прискорений з ТН	Підйом
28	ГАЗ-САЗ-3507	4×2	Прискорений з ТН	Схил
29	ЗИЛ-ММЗ-4502	4×2	Прискорений з НТ	Підйом
30	МАЗ-5335	4×2	Сповільнений	Схил

\*Примітки:

1. Тягове навантаження (ТН) вказується при його наявності.
2. Лінія тягового навантаження (ТН) автомобілів паралельна до дороги.

### 3. Приклад виконання

#### Лабораторна робота № 1

#### СИЛИ І МОМЕНТИ, ЩО ДІЮТЬ НА РУХОМИЙ СКЛАД

**Мета роботи:** встановлення взаємозв'язків і аналіз рушійних сил та сил опору руху, що діють на рухомий склад в різних умовах експлуатації.

**3.1. Дані для аналізу силових факторів, що діють на колісний трактор.**

Варіант № 0 (вибирається по списку студентів в журналі)

Марка автомобіля КАМАЗ-5320

Колісна формула 6к4

Умови експлуатації:

характер руху прискорений з тяговим навантаженням

макрорельєф підйом

### 3.2. Схема рухомого складу згідно з індивідуальним завданням

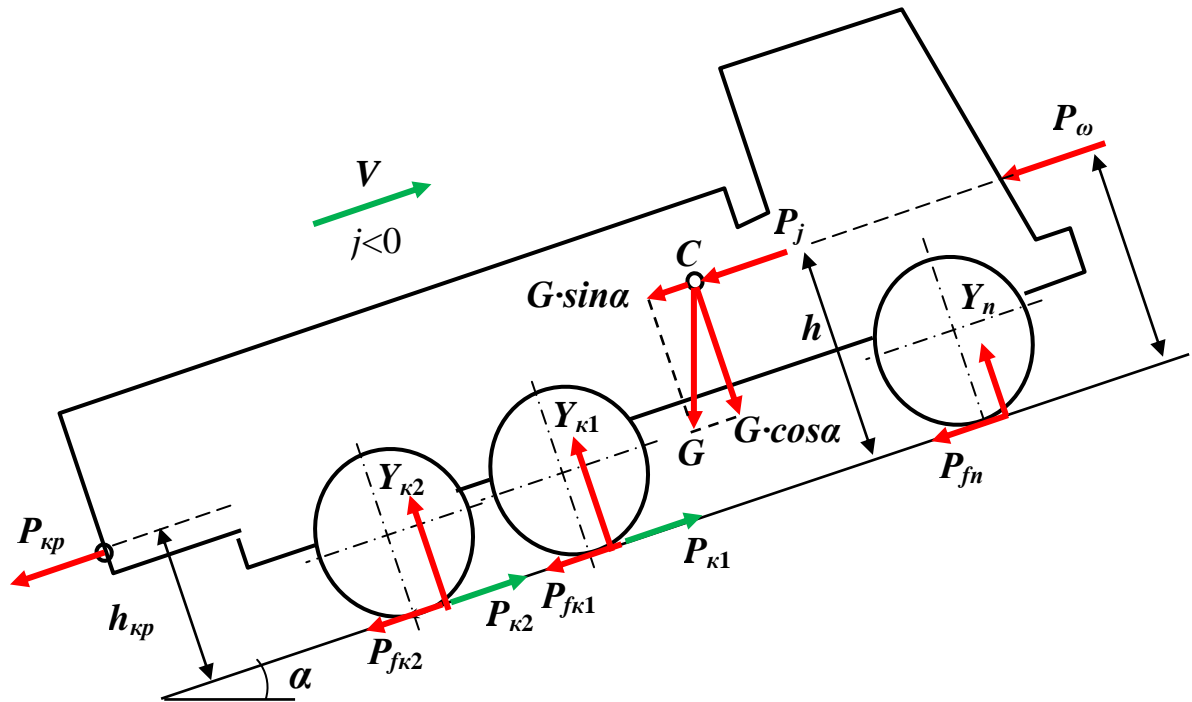


Рис. 1.1. Схема силових факторів, що діють на рухомий склад

Рівняння проєкцій на опорну поверхню сил, що рухають машину, і сил опору руху

$$\begin{aligned}
 P_K &= P_{Kk} + P_{Kn} = P_{K1} + P_{K2} + P_{Kn} = \\
 &= P_{kr} + P_{fn} + P_{fk1} + P_{fk2} + P_\alpha + P_j + P_\omega = \\
 &= P_{kr} + f \cdot G \cdot \cos \alpha + G \cdot \sin \alpha + \delta_{об} \cdot \frac{G}{g} \cdot j + k_\omega \cdot F \cdot V^2
 \end{aligned}$$

де  $P_K$  – дотична сила тяги;

$P_{Kk}$  – дотичні сили тяги задніх коліс;

$P_{Kn}$  – дотичні сили тяги передніх коліс;

$P_{K1}$  – дотичні сили тяги коліс першої ведучої задньої осі;

$P_{K2}$  – дотичні сили тяги коліс другої ведучої задньої осі;

$P_{kr}$  – тягове зусилля;

$P_{fn}$  – сила опору коченню передніх коліс, динамічний радіус яких відповідно дорівнює  $r_n$ ;

$P_{fk}$  – сила опору коченню задніх коліс, динамічний радіус яких відповідно дорівнює  $r_k$ ;

$P_{fk1}$  – сила опору коченню коліс першої ведучої задньої осі;

- $P_{fk2}$  – сили опору коченню коліс другої ведучої задньої осі;  
 $P_a$  – сила опору підйому (спуску);  
 $P_j$  – сила інерції;  
 $P_w$  – сила опору повітря.

#### 4. Контрольні питання

1. Які сили діють на рухомий склад у загальному випадку руху?
2. Рівняння тягового балансу рухомого складу у загальному випадку руху.
3. Рівняння тягового балансу одиночного автомобіля.
4. Рівняння тягового балансу автомобіля при сталому русі.
5. Визначення сили опору повітря.
6. Нормальні реакції ґрунту на ведучі колеса.
7. Нормальні реакції ґрунту на відомі колеса.

#### 5. Тестові завдання

##### 1. Сила $G$ – це:

- ~ сила опору підйому
- ~ сила ваги
- ~ сила опору повітря
- ~ сила опору спуску

##### 2. Сила ваги прикладена в центрі:

- ~ ваги рухомого складу
- ~ парусності рухомого складу
- ~ ведучого колеса
- ~ напрямного колеса

##### 3. Сила $G$ спрямована:

- ~ вертикально вниз
- ~ перпендикулярно опорній поверхні
- ~ паралельно опорній поверхні
- ~ правильна відповідь відсутня

**4. Складова  $G \cdot \cos \alpha$  – це складова, що:**

- ~ відтискає колеса від дороги
- ~ дорівнює силі опору повітря
- ~ дорівнює силі опору підйому (спуску)
- ~ притискає колеса до дороги

**5. Складова  $G \cdot \cos \alpha$  спрямована:**

- ~ вертикально вниз
- ~ перпендикулярно опорній поверхні
- ~ паралельно опорній поверхні
- ~ правильна відповідь відсутня

**6. Складова  $G \cdot \sin \alpha$  – це складова, що:**

- ~ притискає колеса до дороги
- ~ відтискає колеса від дороги
- ~ дорівнює силі опору підйому (спуску)
- ~ дорівнює силі опору повітря

**7. Складова  $G \cdot \sin \alpha$  спрямована:**

- ~ перпендикулярно поверхні руху
- ~ вертикально вниз
- ~ паралельно поверхні руху
- ~ правильна відповідь відсутня

**8. Рівняння тягового балансу рухомого складу, що рухається без причепа, для загального випадку руху має вигляд:**

- ~  $P_{к1} = P_f \pm P_a \pm P_j + P_w$
- ~  $P_{к1} = P_f \pm P_a \pm P_j + P_{кр}$
- ~  $P_{к1} = P_w + P_{кр}$
- ~  $P_{к1} = P_f + P_{кр}$

**9. У рівнянні тягового балансу рухомого складу складові  $P_a$  і  $P_j$  беруться зі знаком “+” при русі на:**

- ~ спуск та гальмування
- ~ спуск та розгоні
- ~ підйом та гальмуванні
- ~ підйом та розгоні

**10. У рівнянні тягового балансу рухомого складу складові  $P_a$  і  $P_j$  беруться зі знаком “–” при русі на:**

- ~ підйом та розгоні
- ~ спуск та розгоні
- ~ підйом та гальмуванні
- ~ спуск та гальмування

**11. При сталому русі на горизонтальній ділянці з постійною швидкістю рівняння тягового балансу одиночного автомобіля має вигляд:**

- ~  $P_{к1} = P_a + P_{кр}$
- ~  $P_{к1} = P_f + P_w$
- ~  $P_{к1} = P_j + P_{кр}$
- ~  $P_{к1} = P_f + P_{кр}$

**12. Сила  $P_w$  – це:**

- ~ сила опору повітря
- ~ сила тяжіння
- ~ сила опору коченню
- ~ сила опору підйому

**13. Сила опору повітря  $P_w$  прикладена в центрі:**

- ~ ваги рухомого складу
- ~ парусності рухомого складу
- ~ ведучого колеса
- ~ напрямного колеса

**14. Сила опору повітря  $P_w$  спрямована:**

- ~ паралельно поверхні руху
- ~ перпендикулярно поверхні руху
- ~ вертикально вниз
- ~ правильна відповідь відсутня

**15. Сила  $P_j$  – це:**

- ~ сила інерції
- ~ сила тяжіння
- ~ сила опору коченню
- ~ сила опору підйому

**16. Сила інерції  $P_j$  прикладена в центрі:**

- ~ парусності рухомого складу
- ~ ведучого колеса
- ~ ваги рухомого складу
- ~ напрямного колеса

**17. Сила інерції  $P_j$  спрямована:**

- ~ перпендикулярно поверхні руху
- ~ вертикально вниз
- ~ паралельно поверхні руху
- ~ правильна відповідь відсутня

**18. Сила  $P_f$  – це:**

- ~ сила інерції
- ~ сила опору перекочування трактора
- ~ сила опору повітря
- ~ сила опору підйому

**19. Сила опору перекочування  $P_f$  спрямована:**

- ~ паралельно поверхні руху
- ~ перпендикулярно поверхні руху
- ~ вертикально вниз
- ~ правильна відповідь відсутня

**20. Сила  $P_k$  – це:**

- ~ дотична сила тяги ведучих коліс
- ~ сила опору перекочування транспортного засобу
- ~ сила опору повітря
- ~ сила опору підйому

## Лабораторна робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ТА ПОБУДОВА ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Мета роботи.** Освоєння методики розрахунку потужності двигуна та побудови швидкісної характеристики двигуна.

**Матеріальне забезпечення:** мультимедійний пристрій для презентацій та демонстрації навчальних фільмів; плакати.

#### 1. Вказівки по підготовці до самостійної роботи

##### 1.1. Завдання для підготовки до самостійної роботи

1. Знати задачі тягового розрахунку рухомого складу.
2. Знати рівняння тягового балансу рухомого складу.
3. Ознайомитися з визначенням потужності двигуна.
4. Ознайомитися з методикою розрахунку швидкісної характеристики двигуна.

##### 1.2. Питання для самоперевірки

1. Що характеризує тяговий баланс рухомого складу?
2. Охарактеризуйте рівняння тягового балансу рухомого складу у загальному випадку руху.
3. Охарактеризуйте рівняння тягового балансу рухомого складу при прямованні з постійною швидкістю на горизонтальній поверхні.
4. В чому полягає методика розрахунку швидкісної характеристики двигуна?

##### 1.3. Рекомендована література

1. *Босняк М.Г.* Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. 408 с.
2. *Вільковський Є.К., Кельман І.І., Бакуліч О.О.* Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад): підручник. – Львів: «Інтелект-Захід», 2007. 496 с.
3. *Горев А.Э.* Основы теории транспортных систем: учебное пособие. – СПбГАСУ, 2010. 214 с.



4. *Дмитриченко М.Ф., Яцківський Л.Ю., Ширяєва С.В., Докуніхін В.З.* Основи теорії транспортних процесів і систем: навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2009. 336 с.

5. *Мирошниченко А.Н.* Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие. – Томск, 2014. 490 с.

6. *Осинцев Н.А.* Практикум по организации грузовых автомобильных перевозок: учебное пособие. – Магнитогорск, 2014. 121 с.

7. *Черненко С. М.* Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Автомобільні перевезення». – Кременчук, 2019. 58 с.

## **2. Вказівки до виконання лабораторної роботи**

### **2.1. Програма роботи**

1. Визначити потужність двигуна проєктованого автомобіля.
2. Розрахувати показники для побудови швидкісної характеристик. двигуна.
3. Побудувати зовнішню швидкісну характеристику двигуна.
4. Оформити звіт з лабораторної роботи (тема, мета, індивідуальне завдання, розрахунки параметрів двигуна, зовнішньої швидкісної характеристики, побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна).

### **2.2. Теоретичні відомості**

Метою тягового розрахунку рухомого складу є визначення потужності двигуна, побудова швидкісної характеристики двигуна та передаточних чисел трансмісії.

У роботі необхідно навести вихідні дані до розрахунку рухомого складу (таблиця 2.3).

Дані для розрахунку рухомого складу  
(лабораторні роботи №2, №3, №4, №5, №6, №7, №8)

Варіант № \_\_\_\_\_ (вибирається по списку студентів в журналі)

Марка автомобіля \_\_\_\_\_

Маса вантажу  $m_g$  \_\_\_\_\_ кг

Власна маса рухомого складу  $m_0$  \_\_\_\_\_ кг

Ширина автомобіля  $B_0$  \_\_\_\_\_ м

Висота автомобіля  $H_0$  \_\_\_\_\_ м

Максимальна швидкість,  $V_{\max}$  \_\_\_\_\_ км/год

Параметри двигуна:

Тип двигуна \_\_\_\_\_

Максимальна частота обертання валу двигуна,  $n_{e\max}$  \_\_\_\_\_  $\text{хв}^{-1}$

Коефіцієнти:

$a$  \_\_\_\_\_

$b$  \_\_\_\_\_

$c$  \_\_\_\_\_

Приведений коефіцієнт сумарного опору для гарної дороги,  $\psi_V$

Приведений коефіцієнт сумарного опору для поганої дороги,  $\psi_{\max}$

Шини \_\_\_\_\_

### 2.2.1. Визначення потужності двигуна

Потужність двигуна визначається за умови, що повністю завантажений автомобіль рухатиметься по рівній горизонтальній дорозі з максимальною заданою швидкістю  $V_{\max}$ .

Потужність двигуна  $N_{V_{\max}}$ , кВт, що відповідає максимальній швидкості рухомого складу визначається з рівняння:

$$N_{eV_{\max}} = \frac{\left( m_a \cdot g \cdot \psi_V + \frac{k \cdot F \cdot V_{\max}^2}{13} \right)}{3600 \cdot \eta_{mp}} \cdot V_{\max} \quad (2.1)$$

де  $\eta_{mp}$  – механічний КПД трансмісії,

$\eta_{mp} = 0,82 \dots 0,87$  – для автобусів;

$\eta_{mp} = 0,8 \dots 0,87$  – для вантажних автомобілів;

$\eta_{mp} = 0,8 \dots 0,85$  – для автопоїздів;

$m_a$  – повна маса рухомого складу, кг

$$m_a = m_0 + m_e, \quad (2.2)$$

де  $m_0$  – власна маса рухомого складу, кг (із завдання);

$m_e$  – маса вантажу, кг (із завдання);

$\psi_V$  – приведений коефіцієнт сумарного опору для гарної дороги (за завданням);

$k$  – коефіцієнт опору повітря:

$k = 0,25 \dots 0,4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$  – для автобусів;

$k = 0,4 \dots 0,6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$  – для вантажних автомобілів;

$k = 0,55 \dots 0,85 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$  – для автопоїздів;

$F$  – площа лобової поверхні,  $\text{м}^2$

$$F_e = \alpha \cdot H_0 \cdot B_0, \quad (2.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт заповнення площі, для вантажних автомобілів  $\alpha = 0,75 \dots 0,9$ ;

$H_0$  – габаритна висота автомобіля, м (із завдання);

$B_0$  – габаритна ширина автомобіля, м (із завдання).

$V_{\max}$  – максимальна швидкість руху рухомого складу, км/год (із завдання);

**Максимальна потужність двигуна  $N_{e_{\max}}$ , кВт**

$$N_{e_{\max}} = \frac{N_{e_{\max}} V_{\max}}{a \cdot \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} + b \cdot \left( \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} \right)^2 - c \cdot \left( \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} \right)^3}, \quad (2.4)$$

де  $a, b, c$  – коефіцієнти (із завдання);

$n_{e_{\max}}$  – максимальна частота обертання колінчастого валу двигуна, об/хв (із завдання).

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності,  $n_N = (0,8 \dots 0,9) \cdot n_{e_{\max}}$ , об/хв.

### 2.2.2. Розрахунок та побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна – це графіки залежності ефективної потужності двигуна  $N_e$ , крутного моменту  $M_e$  та питомої ефективної витрати палива  $g_e$  від частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n$  при максимальній подачі палива.

Поточні значення частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n_i$  визначають згідно таблиці 2.1 та заносять в таблицю 2.2.

**Поточні значення ефективної потужності двигуна, кВт**

$$N_{e_i} = k_N \cdot N_{e_{\max}}, \quad (2.5)$$

де  $k_N$  – коефіцієнт, що залежить від відношення поточної частоти обертання двигуна до частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності  $n_i / n_N$  (таблиця 2.1);

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності, об/хв (із попередніх розрахунків);

$n_i$  – поточні значення частоти обертання валу двигуна, об/хв (таблиця 2.2);

$N_{e_{\max}}$  – максимальна потужність двигуна, кВт (із попередніх розрахунків).

Результати розрахунків ефективної потужності заносимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.1

Параметри для розрахунку частоти обертання валу двигуна, ефективної потужності та крутного моменту

Частота обертання вала двигуна, $n$ , об/хв	$0,4 \cdot n_N$	$0,5 \cdot n_N$	$0,6 \cdot n_N$	$0,7 \cdot n_N$	$0,8 \cdot n_N$	$0,9 \cdot n_N$	$n_N$	$n_{e_{\max}}$
$k_N$	0,495	0,625	0,744	0,847	0,928	0,98	1	0,98
$k_M$	1,24	1,25	1,24	1,21	1,16	1,09	1	0,89

**Крутний момент** при максимальній потужності двигуна  $M_N$ , Н·м

$$M_N = 9550 \cdot \frac{N_{e_{\max}}}{n_N}, \quad (2.6)$$

**Поточні значення крутного моменту, Н·м**

$$M_i = k_M \cdot M_N, \quad (2.7)$$

де  $k_M$  – коефіцієнт, що залежить від відношення поточної частоти обертання двигуна до номінальної  $n_i / n_N$  (таблиця 2.1).

Результати розрахунків крутного моменту заносимо у таблицю 2.2.

Питома витрата палива,  $g/(кВт \cdot год)$

$$g_{e_i} = g_N \cdot \left[ a_w - b_w \cdot \frac{n_i}{n_N} + c_w \cdot \left( \frac{n_i}{n_N} \right)^2 \right], \quad (2.8)$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при максимальній потужності двигуна  $g_N = 300 \dots 340 \text{ } g/(кВт \cdot год)$  – для карбюраторних двигунів;  $g_N = 210 \dots 240 \text{ } g/(кВт \cdot год)$  – для дизельних двигунів;

$a_w, b_w, c_w$  – статичні коефіцієнти; для карбюраторних та дизельних двигунів приймаємо  $a_w = 1,26$ ;  $b_w = 0,85$ ;  $c_w = 0,59$ ;

$n_i$  – поточні значення частоти обертання валу двигуна,  $об/хв$  (таблиця 2.2);

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності,  $об/хв$  (із попередніх розрахунків).

Результати розрахунків питомої витрати палива заносимо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри для розрахунку швидкісної характеристики двигуна

Частота обертання валу двигуна, $n, об/хв$								
Потужність двигуна ефективна $N_e, кВт$								
Крутний момент, $M_0, Н \cdot м$								
Питома витрата палива, $g_e, g/(кВт \cdot год)$								

За значеннями таблиці 2.2 будується зовнішня швидкісна характеристика двигуна (рис. 2.1).

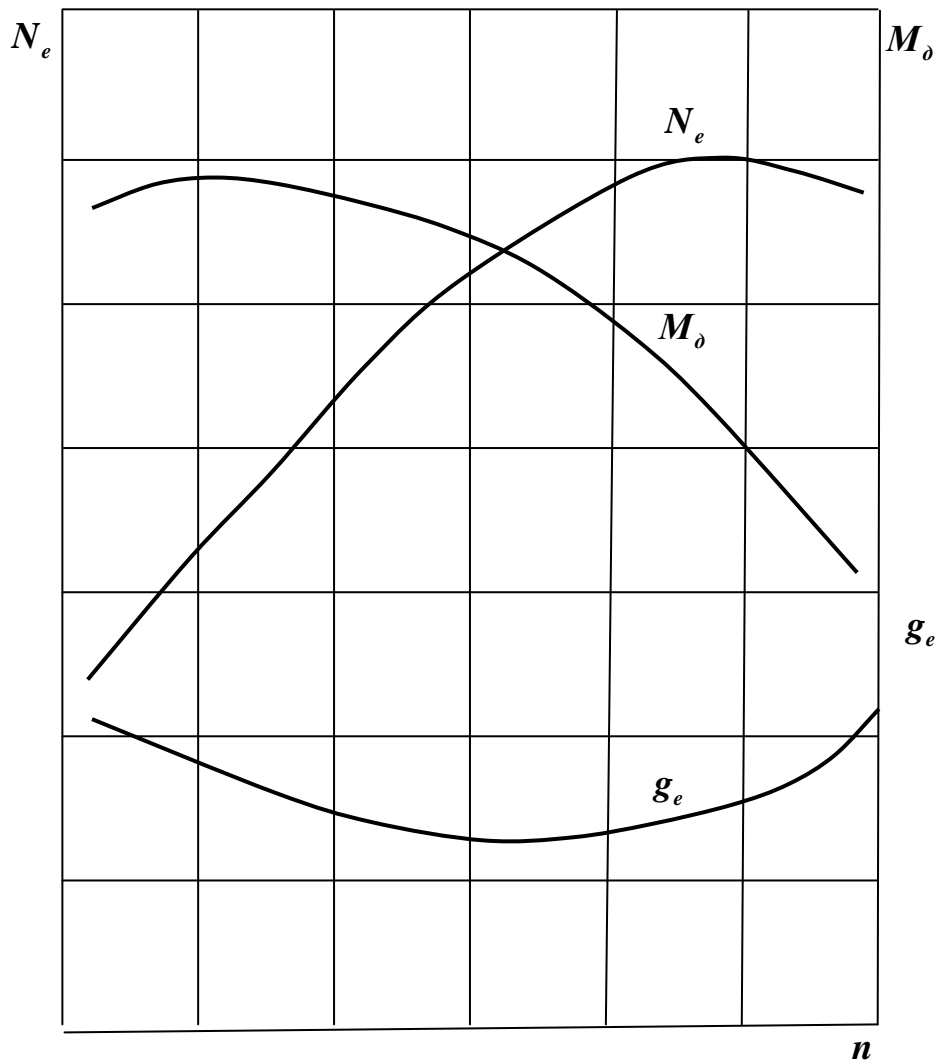


Рис. 2.1. Швидкісна характеристика двигуна

**Лабораторна робота № 2. Визначення потужності двигуна та побудова швидкісної характеристики**

**2.3. Індивідуальні завдання**

Таблиця 2.3

Дані для тягового розрахунку рухомого складу

Варіант	Марка автомобіля	$m_0, кг$	$m_{т0}, кг$	$B_0, м$	$H_0, м$	$V_{max}$	Параметри двигуна, тип:					$\psi$	$\psi_{max}$	Шини
							К – карбюраторний Д – дизельний							
							тип	$n, хв^{-1}$	$a$	$b$	$c$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Вантажні бортові автомобілі загального призначення</i>														
1	ГАЗ-52-03	2500	2515	2,38	2,19	60	К	3000	0,97	0,46	0,43	0,03	0,3	220-508 (7,50-20)
2	ГАЗ-53-А	4000	3250	2,38	2,22	70	К	3600	0,44	2,12	1,56	0,031	0,31	240-508 (8,20-20)
3	ЗИЛ-130	6000	4300	2,5	2,4	80	К	3100	0,75	1,59	1,34	0,032	0,32	260-508 (9,00R20)
4	ЗИЛ-133-ГЯ	10000	7610	2,5	3,35	90	Д	2100	0,68	1,38	1,06	0,033	0,33	320-508 (12,00-20)
5	Урал-3774	7500	7225	2,5	2,56	100	К	3500	0,80	1,3	1,10	0,034	0,34	370-508 (14,00-20)
6	КамАЗ-5320	8000	7080	2,5	3,65	110	Д	2200	0,68	1,38	1,06	0,035	0,35	260-508 (9,00 R20)
7	КамАЗ-53212	10000	8200	2,5	3,65	120	Д	2300	0,68	1,38	1,06	0,036	0,36	260-508 (9,00 R20)
8	МАЗ-5335	8000	6725	2,5	2,72	130	Д	2600	0,44	1,87	1,31	0,037	0,37	300-508 (11,00R20)
9	КрАЗ-25751	12000	10270	2,65	2,67	65	Д	2400	0,44	1,87	1,31	0,038	0,38	410-508 (16,00-20)
<i>Вантажні автомобілі підвищеної прохідності</i>														
10	ГАЗ-66	2000	3470	2,322	2,52	75	К	3500	0,44	2,12	1,56	0,039	0,39	320-457 (12,00-18)
11	ЗИЛ-131	5000	6460	2,5	2,975	85	К	3200	0,75	1,59	1,34	0,04	0,4	320-508 (12,00-20)
12	Урал-375Н	7000	7100	2,5	2,6	95	К	3600	0,80	1,3	1,10	0,03	0,39	370-508 (14,00-20)
13	Урал-4320	5000	8020	2,5	2,87	105	Д	2400	0,68	1,38	1,06	0,031	0,38	370-508 (14,00-20)
14	КрАЗ-255Б1	7500	11690	2,75	3,175	115	Д	2700	0,48	1,73	1,21	0,032	0,37	410-508 (16,00-20)
15	КрАЗ-260	9000	12775	2,722	3,155	125	Д	2600	0,48	1,73	1,21	0,033	0,36	410-508 (16,00-20)
<i>Тягачі</i>														
16	ЗИЛ-130В1-76	6400	3860	2,36	2,4	130	К	3400	0,75	1,59	1,34	0,034	0,35	260-508 (9,00R20)
17	КАЗ-608В	4500	4000	2,36	2,5	120	К	3600	0,75	1,59	1,34	0,035	0,34	260-508 (9,00 R20)
18	Урал-377СН	7500	6830	2,5	2,6	110	К	3000	0,80	1,3	1,10	0,036	0,33	370-508 (14,00-20)
19	КамАЗ-5410	8100	6800	2,5	2,63	100	Д	2500	0,68	1,38	1,06	0,037	0,32	260-508 (9,00 R20)
20	КамАЗ-54112	11000	7100	2,5	2,63	90	Д	2600	0,68	1,38	1,06	0,038	0,31	260-508 (9,00 R20)
21	МАЗ-5429	7750	6540	2,5	2,72	80	Д	2200	0,44	1,87	1,31	0,039	0,3	300-508 (11,00R20)
22	КрАЗ-255Б1	8000	10430	2,75	2,93	70	Д	2500	0,48	1,73	1,21	0,04	0,31	410-508 (16,00-20)
23	КрАЗ-260В	9500	10900	2,722	2,985	60	Д	2400	0,48	1,73	1,21	0,039	0,32	410-508 (16,00-20)
24	МАЗ-6422	14700	9050	2,5	2,97	125	Д	2300	0,48	1,73	1,21	0,038	0,33	320-508 (12,00R20)
<i>Автомобілі самоскиди</i>														
25	ГАЗ-САЗ-53В	3550	3700	2,475	2,675	115	К	3300	0,44	2,12	1,56	0,037	0,34	240-508 (8,20-20)
26	ЗИЛ-ММЗ-555	5250	4570	2,42	2,5	105	К	3000	0,75	1,59	1,34	0,036	0,35	260-508 (9,00 R20)
27	КамАЗ-5511	10000	9000	2,5	2,7	95	Д	2700	0,68	1,38	1,06	0,035	0,36	260-508 (9,00 R20)
28	МАЗ-5549	8000	7225	2,5	2,785	85	Д	2000	0,44	1,87	1,31	0,034	0,37	300-508 (11,00R20)
29	КрАЗ-256Б2	12000	10850	2,64	2,83	75	Д	2200	0,48	1,73	1,21	0,033	0,38	410-508 (16,00-20)
30	КрАЗ-6505	15500	11770	2,48	2,970	65	Д	2100	0,48	1,73	1,21	0,032	0,39	320-508 (12,00R20)

**3. Приклад виконання**

**Лабораторна робота № 2**

**ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ТА ПОБУДОВА ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Мета роботи.** Ознайомлення з методикою розрахунку потужності двигуна та побудови швидкісної характеристики двигуна.

### 3.1. Дані для тягового розрахунку рухомого складу.

Варіант №   0   (вибирається по списку студентів в журналі)

Марка автомобіля   КАМАЗ-5320  

Колісна формула   6к4  

Умови експлуатації:

характер руху   прискорений з тяговим навантаженням  

макрорельєф   підйом  

### 3.2. Визначення потужності двигуна

Потужність двигуна визначається за умови, що повністю завантажений автомобіль рухатиметься по рівній горизонтальній дорозі з максимальною заданою швидкістю  $V_{\max}$ .

Потужність двигуна  $N_{V_{\max}}$ , кВт, що відповідає максимальній швидкості рухомого складу визначається з рівняння:

$$N_{eV_{\max}} = \frac{\left( m_a \cdot g \cdot \psi_V + \frac{k \cdot F \cdot V_{\max}^2}{13} \right)}{3600 \cdot \eta_{mp}} \cdot V_{\max} \quad (2.1)$$

де  $\eta_{mp}$  – механічний КПД трансмісії,  $\eta_{mp} = 0,8 \dots 0,87$ , приймаємо  $\eta_{mp} = 0,85$ ;

$m_a$  – повна маса рухомого складу, кг

$$m_a = m_0 + m_e, \quad (2.2)$$

де  $m_0$  – власна маса рухомого складу, кг (із завдання,  $m_0 = 11770$  кг);

$m_e$  – маса вантажу, кг (із завдання,  $m_e = 15500$  кг).

$$m_a = 11770 + 15500 = 27270 \text{ кг.}$$

$\psi_V$  – приведений коефіцієнт сумарного опору для гарної дороги,  $\psi_V = 0,03$  (із завдання);

$k$  – коефіцієнт опору повітря, приймаємо  $k = 0,7 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$ ;

$F$  – площа лобової поверхні,  $\text{м}^2$

$$F_e = \alpha \cdot H_0 \cdot B_0, \quad (2.3)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт заповнення площі, для вантажних автомобілів  $\alpha = 0,8$ ;

$H_0$  – габаритна висота автомобіля,  $H_0 = 2,97 \text{ м}$  (із завдання);



$B_0$  – габаритна ширина автомобіля,  $B_0 = 2,48$  м (із завдання).

$$F_g = 0,8 \cdot 2,97 \cdot 2,48 = 5,89 \text{ м}^2.$$

$V_{\max}$  – максимальна швидкість руху рухомого складу,  $V_{\max} = 100$  км/год (із завдання);

$$N_{eV_{\max}} = \frac{\left( 27270 \cdot 9,81 \cdot 0,03 + \frac{0,7 \cdot 5,89 \cdot 100^2}{13} \right)}{3600 \cdot 0,85} \cdot 100 = 365,9 \text{ кВт}$$

Максимальну потужність двигуна визначають за формулою

$$N_{e_{\max}} = \frac{N_{eV_{\max}}}{a \cdot \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} + b \cdot \left( \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} \right)^2 - c \cdot \left( \frac{n_{e_{\max}}}{n_N} \right)^3}, \quad (2.4)$$

де  $a, b, c$  – коефіцієнти (із завдання,  $a = 0,48, b = 1,73, c = 1,21$ );

$n_{e_{\max}}$  – максимальна частота обертання колінчастого валу двигуна,  $n_{e_{\max}} = 2500$  об/хв (із завдання).

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності.

$$n_N = (0,8 \dots 0,9) \cdot n_{e_{\max}},$$

$$n_N = 0,9 \cdot 2500 = 2250 \text{ об/хв.}$$

$$N_{e_{\max}} = \frac{365,9}{0,48 \cdot \frac{2500}{2250} + 1,73 \cdot \left( \frac{2500}{2250} \right)^2 - 1,21 \cdot \left( \frac{2500}{2250} \right)^3} = 381,2 \text{ кВт}$$

### 3.3. Розрахунок та побудова зовнішньої швидкісної характеристики двигуна.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна – це графіки залежності ефективної потужності двигуна  $N_e$ , крутного моменту  $M_e$  та питомої ефективної витрати палива  $g_e$  від частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n$  при максимальній подачі палива.

Поточні значення частоти обертання колінчастого валу двигуна  $n_i$  визначають згідно таблиці 2.1 та заносять в таблицю 2.2.

Таблиця 2.1

Параметри для розрахунку частоти обертання валу двигуна, ефективної потужності та крутного моменту

Частота обертання валу двигуна, $n$ , об/хв	$0,4 \cdot n_N$	$0,5 \cdot n_N$	$0,6 \cdot n_N$	$0,7 \cdot n_N$	$0,8 \cdot n_N$	$0,9 \cdot n_N$	$n_N$	$n_{e_{\max}}$
$k_N$	0,495	0,625	0,744	0,847	0,928	0,98	1	0,98
$k_M$	1,24	1,25	1,24	1,21	1,16	1,09	1	0,89

**Поточні значення ефективної потужності двигуна, кВт**

$$N_{e_i} = k_N \cdot N_{e_{\max}}, \quad (2.5)$$

де  $k_N$  – коефіцієнт, що залежить від відношення поточної частоти обертання двигуна до частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності  $n_i / n_N$  (таблиця 2.1);

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності,  $n_N = 2250$  об/хв (із попередніх розрахунків);

$n_i$  – поточні значення частоти обертання валу двигуна, об/хв (таблиця 2.2);

$N_{e_{\max}}$  – максимальна потужність двигуна,  $N_{e_{\max}} = 381,2$  кВт (із попередніх розрахунків).

$$N_{e_i} = 0,495 \cdot 381,2 = 188,7 \text{ кВт}.$$

Результати розрахунків ефективної потужності заносимо у таблицю 2.2.

**Крутний момент при максимальній потужності двигуна  $M_N$ , Н·м**

$$M_N = 9550 \cdot \frac{N_{e_{\max}}}{n_N}, \quad (2.6)$$

$$M_N = 9550 \cdot \frac{381,2}{2250} = 1617 \text{ Н·м}.$$

**Поточні значення крутного моменту, Н·м**

$$M_i = k_M \cdot M_N, \quad (2.7)$$

де  $k_M$  – коефіцієнт, що залежить від відношення поточної частоти обертання двигуна до номінальної  $n_i / n_N$  (таблиця 2.1).

$$M_i = 1,24 \cdot 1617 = 2005 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Питома витрата палива,  $g/(кВт\cdot год)$

$$g_{e_i} = g_N \cdot \left[ a_w - b_w \cdot \frac{n_i}{n_N} + c_w \cdot \left( \frac{n_i}{n_N} \right)^2 \right], \quad (2.8)$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при максимальній потужності двигуна; приймаємо  $g_N = 230 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}$ ;

$a_w, b_w, c_w$  – статичні коефіцієнти; для карбюраторних та дизельних двигунів; приймаємо  $a_w = 1,26$ ;  $b_w = 0,85$ ;  $c_w = 0,59$ ;

$n_i$  – поточні значення частоти обертання валу двигуна, 900 об/хв (таблиця 2.2);

$n_N$  – частота обертання колінчастого валу при максимальній потужності,  $n_N = 2250 \text{ об/хв}$  (із попередніх розрахунків).

$$g_{e_i} = 230 \cdot \left[ 1,26 - 0,85 \cdot \frac{900}{2250} + 0,59 \cdot \left( \frac{900}{2250} \right)^2 \right] = 232,3 \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)}.$$

Результати розрахунків заносять у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Параметри для розрахунку швидкісної характеристики двигуна

Частота обертання валу двигуна, $n$ , об/хв	900	1125	1350	1575	1800	2025	2250	2500
Потужність двигуна ефективна, $N_e$ , кВт	188,7	238	284	323	354	374	381,2	374
Крутний момент, $M_e$ , Н·м	2005	2021	2005	1956	1875	1762	1617	1439
Питома витрата палива, $g_e$ , г/(кВт·год)	232,3	226,09	220,8	219,65	220,8	223,1	230	236,9

За значеннями таблиці 2.2 будується зовнішня швидкісна характеристика двигуна (рис. 2.1).

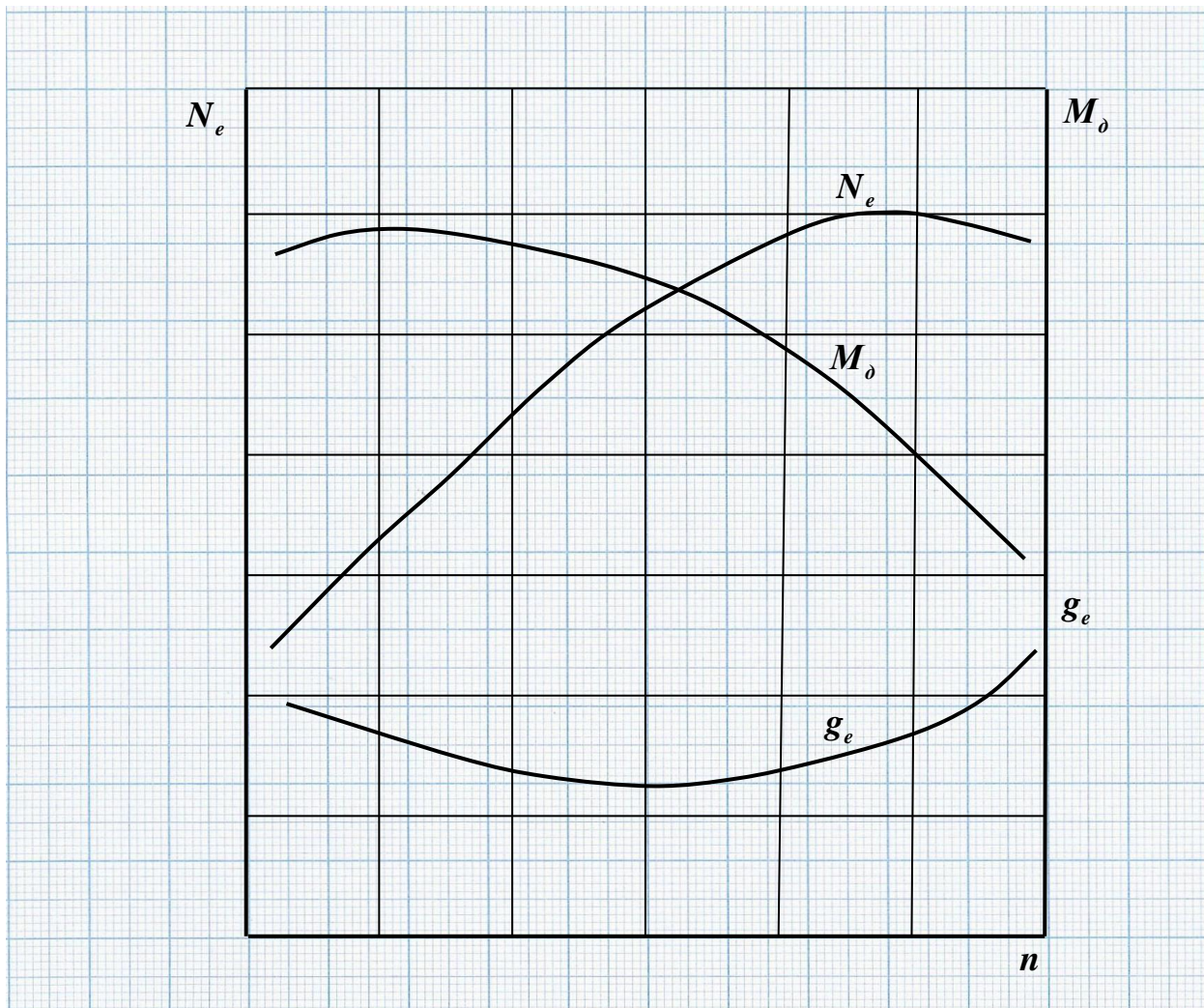


Рис. 2.1. Швидкісна характеристика двигуна

#### 4. Контрольні питання

1. Що характеризує тяговий баланс рухомого складу?
2. Охарактеризуйте рівняння тягового балансу рухомого складу у загальному випадку руху.
3. Охарактеризуйте рівняння тягового балансу рухомого складу при прямованні з постійною швидкістю на горизонтальній поверхні.
4. За якої умови визначається потужність двигуна?
5. На що витрачається потужність двигуна у загальному випадку руху рухомого складу?
6. На що витрачається потужність двигуна при прямованні рухомого складу з постійною швидкістю на горизонтальній поверхні?

7. В чому полягає методика розрахунку швидкісної характеристики двигуна?

## 5. Тестові завдання

### 1. Баланс потужності характеризує:

- ~ розподіл потужності, що розвивається ведучими колесами, на подолання сил опору руху
- ~ розподіл дотичної сили тяги на подолання сил опору руху
- ~ розподіл потужності, що розвивається двигуном, на подолання сил опору руху
- ~ розподіл дотичної сили тяги на подолання тертя у вузлах трансмісії

### 2. Потужність $N_e$ – це потужність, що:

- ~ розвивається двигуном
- ~ розвивається на ведучих колесах
- ~ витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії
- ~ витрачається на подолання підйомів

### 3. Потужність $N_{mp}$ – це потужність, що:

- ~ витрачається на подолання підйомів
- ~ розвивається двигуном
- ~ розвивається на ведучих колесах
- ~ витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії

### 4. Потужність $N_k$ – це потужність, що:

- ~ розвивається двигуном
- ~ витрачається на подолання підйомів
- ~ витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії
- ~ розвивається на ведучих колесах

### 5. Потужність $N_k$ визначається шляхом:

- ~ множення складових рівняння тягового балансу трактора на швидкість руху
- ~ поділу складових рівняння тягового балансу трактора на швидкість руху

~ множення складових рівняння тягового балансу трактора на механічний ККД

~ поділу складових рівняння тягового балансу трактора на механічний ККД

**6. Потужність  $N_f$  – це потужність, що:**

~ витрачається на подолання опорів перекочуванню

~ витрачається на подолання буксування рушіїв

~ розвивається двигуном

~ витрачається на подолання сил інерції

**7. Потужність  $N_\alpha$  – це потужність, що:**

~ розвивається двигуном

~ витрачається на подолання підйомів

~ розвивається на ведучих колесах

~ витрачається на подолання буксування рушіїв

**8. Потужність  $N_j$  – це потужність, що:**

~ витрачається на подолання підйомів

~ розвивається на ведучих колесах

~ витрачається на подолання сил інерції

~ витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії

**9. Потужність  $N_{kp}$  – це:**

~ потужність, що витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії

~ потужність, що розвивається на ведучих колесах

~ потужність, що витрачається на подолання буксування рушіїв

~ тягова потужність

**10. Потужність  $N_\delta$  – це потужність, що:**

~ витрачається на подолання буксування рушіїв

~ розвивається на ведучих колесах

~ витрачається на подолання тертя у вузлах трансмісії

~ розвивається двигуном