

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з дисципліни

«Математичне моделювання робочих процесів КГТЗ»

для студентів спеціальності G 11.05 «Транспортні засоби»

2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичне моделювання робочих процесів КГТЗ» для студентів спеціальності G 11.05 «Транспортні засоби» / Укл. : О. М. Артюх. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. 44 с.

Укладач: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі,
теплові двигуни та гібридні
енергетичні установки»
Протокол № 1
від « 29 » серпня 2025.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету

Протокол № 1
від « 11 » вересня 2025.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Практична робота 1. Моделювання взаємодії колеса автомобіля з дорогою та опору коченню.....	7
1.1 Загальні відомості	7
1.2 Завдання до практичної роботи	7
1.3 Порядок проведення практичної роботи	10
1.4 Зміст звіту.....	10
Контрольні запитання.....	10
Практична робота 2. Аналіз тягово-швидкісних властивостей автомобіля.....	12
2.1 Загальні відомості	12
2.2 Завдання до практичної роботи	12
2.3 Порядок проведення практичної роботи	14
2.4 Зміст звіту.....	14
Контрольні запитання.....	14
Практична робота 3. Моделювання гальмівних властивостей транспортного засобу	16
3.1 Загальні відомості	16
3.2 Завдання до практичної роботи	16
3.3 Порядок проведення практичної роботи	18
3.4 Зміст звіту.....	19
Контрольні запитання.....	19
Практична робота 4. Оптимізація паливної економічності КГТЗ	20
4.1 Загальні відомості	20
4.2 Завдання до практичної роботи	20
4.3 Порядок проведення практичної роботи	22
4.4 Зміст звіту.....	22
Контрольні запитання.....	23
Практична робота 5. Моделювання криволінійного руху та бокового уводу колеса	24
5.1 Загальні відомості	24
5.2 Завдання до практичної роботи	24
5.3 Порядок проведення практичної роботи	26
5.4 Зміст звіту.....	26
Контрольні запитання.....	26

Практична робота 6. Аналіз поперечної стійкості та заносу мостів автомобіля	28
6.1 Загальні відомості	28
6.2 Завдання до практичної роботи	28
6.3 Порядок проведення практичної роботи	30
6.4 Зміст звіту	31
Контрольні запитання	31
Практична робота 7. Моделювання траєкторної керованості автомобіля	32
7.1 Загальні відомості	32
7.2 Завдання до практичної роботи	32
7.3 Порядок проведення практичної роботи	34
7.4 Зміст звіту	34
Контрольні запитання	35
Практична робота 8. Моделювання профільної та опорно-зчепної прохідності КГТЗ	36
8.1 Загальні відомості	36
8.2 Завдання до практичної роботи	36
8.3 Порядок проведення практичної роботи	38
8.4 Зміст звіту	39
Контрольні запитання	39
Рекомендована література	41
Базова	41
Допоміжна	41
Інформаційні ресурси	42

ВСТУП

Практичні роботи з дисципліни «**Математичне моделювання робочих процесів колісних та гусеничних транспортних засобів (КГТЗ)**» є логічним продовженням лекційного курсу і спрямовані на закріплення теоретичних знань, отриманих у процесі вивчення предмета. Їхнє основне завдання полягає у формуванні у здобувачів вищої освіти практичних навичок побудови, аналізу та оптимізації математичних моделей, що описують роботу вузлів, агрегатів і систем колісних та гусеничних транспортних засобів. У контексті сучасного машинобудування такі вміння є визначальними для інженера-автомобіліста, оскільки забезпечують можливість прийняття обґрунтованих технічних рішень на етапах проектування, виготовлення та експлуатації техніки.

Сучасний етап розвитку транспортного машинобудування характеризується стрімким зростанням складності технічних систем, широким впровадженням цифрових технологій, вимогами до підвищення енергоефективності, надійності та екологічності продукції. У цих умовах **математичне моделювання** виступає невід'ємним інструментом, який дозволяє досліджувати поведінку технічних об'єктів без потреби у створенні численних експериментальних зразків. Практичні заняття орієнтовані на розвиток у студентів системного підходу до аналізу та синтезу інженерних рішень, що включає принципи **декомпозиції, ієрархічності, ітеративності та локальної оптимізації**.

Зміст практичних робіт охоплює увесь цикл інженерного моделювання – від формалізації задачі до побудови алгоритмічної моделі та аналізу отриманих результатів. Студенти набувають умінь визначати структуру технічної системи, встановлювати взаємозв'язки між параметрами, розробляти математичні вирази, що описують процеси руху, передавання енергії, деформації або втрати потужності. Особлива увага приділяється створенню **детермінованих і стохастичних моделей**, а також вивченню їх застосування для аналізу реальних робочих процесів КГТЗ в умовах невизначеності експлуатаційних факторів.

У ході виконання практичних завдань студенти ознайомлюються з використанням **інструментів комп'ютерного моделювання**, зокрема Microsoft Excel для розрахунків і побудови графічних залежностей, а також спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Siemens NX або MATLAB/Simulink) для виконання числових експе-

риментів і симуляцій. Таке поєднання теоретичних знань і практичних засобів забезпечує підготовку студентів до роботи у сфері **автоматизованого проєктування (CAD/CAE)**, що є важливою складовою професійної компетентності інженера-механіка.

Практичні заняття охоплюють такі напрямки: побудова моделей елементів ходової частини, аналіз динаміки руху, оцінювання стійкості та маневреності транспортних засобів, оптимізація параметрів трансмісії, розрахунок тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності. Окремі завдання присвячені розробці алгоритмів автоматизованого проєктування, моделюванню процесів модернізації й утилізації техніки, а також оцінюванню впливу конструктивних параметрів на експлуатаційні характеристики.

Важливим результатом виконання практичних робіт є формування здатності **переносити математичні моделі у прикладні технічні рішення**, тобто реалізовувати отримані знання у вигляді інженерних проєктів. Студенти вчаться не лише розв'язувати задачі розрахункового типу, але й обґрунтовувати вибір моделі, проводити аналіз помилок, інтерпретувати результати в контексті реальних умов роботи транспортних засобів.

Таким чином, практичні роботи з дисципліни сприяють розвитку **інженерного мислення**, вмінню критично оцінювати ефективність технічних систем, знаходити оптимальні шляхи їх удосконалення та впроваджувати сучасні методи моделювання у виробничу діяльність. Опанування цих навичок формує базу для подальшої науково-дослідної роботи та професійного зростання у сфері транспортного машинобудування, забезпечуючи відповідність підготовки сучасним стандартам інженерної освіти.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1. МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ З ДОРОГОЮ ТА ОПОРУ КОЧЕННЮ

Мета: дати основи знань щодо моделювання взаємодії колеса автомобіля з дорогою та опору коченню, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

1.1 Загальні відомості

Загальна динаміка автомобіля при взаємодії із зовнішнім середовищем визначає найважливіші експлуатаційні властивості, такі як тягово-швидкісні, гальмові, паливна економічність, стійкість, керованість, плавність ходу та прохідність.

Моделювання взаємодії колеса з дорогою включає розрахунок опору коченню, зчеплення та нормальних реакцій, що залежить від параметрів колеса (радіус кочення, коефіцієнт опору), маси автомобіля, швидкості, кута підйому та інших факторів. Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи динаміки руху, зокрема рівняння руху автомобіля, сили опору (кочення, повітря, підйому) та ККД трансмісії.

Методичні поради: почніть з аналізу емпіричних формул для коефіцієнта опору коченню та нормальних реакцій; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, опір від швидкості); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна швидкості впливає на момент опору чи реакції дороги, варіюючи значення в межах 80-120 км/год для спостереження динаміки.

1.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання взаємодії колеса з дорогою, розрахувати опір коченню, сили опору повітря, ККД трансмісії, прискорення, наведену масу та нормальні реакції в заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови

графічних залежностей та аналізу впливу факторів на динаміку руху.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для визначення моменту опору коченню M_f автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг на початку та в кінці подолання підйому, якщо початкова швидкість становила 120 км/год, а кінцева 80 км/год. Кут підйому $\alpha = 5^\circ$, радіус кочення $r_{k0} = 0,285$ м. При визначенні коефіцієнта опору коченню використовувати емпіричну формулу (2.29). Прийняти $f = 0,01$. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності моменту від швидкості та аналізу впливу на опір коченню.
2. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для визначення сили опору повітря при зустрічному та попутному вітрі за даними попереднього завдання, якщо $k_w = 0,28$ Н·с²/м⁴; $A_L = 2,32$ м². Швидкість вітру $v_w = 8$ м/с спрямована під кутом $\theta = 20^\circ$ щодо поздовжньої осі автомобіля. Варіюйте швидкість вітру у межах 0-8 м/с для побудови графічної залежності сили опору від швидкості вітру та аналізу впливу на взаємодію з дорогою.
3. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для визначення ККД трансмісії автомобіля під час руху на прямій передачі з тією самою швидкістю на двох ділянках дороги. На першій ділянці опір руху вище, момент двигуна $M_d = 120$ Н·м, на другому – нижче, $M_d = 50$ Н·м. Передатне число основної передачі $u_0 = 4,37$. Передача карданна, з трьома карданними шарнірами. Момент гідравлічного опору прокручування трансмісії даної швидкості $M_g = 19$ Н·м. Варіюйте момент двигуна у межах 50-120 Н·м для побудови графічної залежності ККД від моменту двигуна та аналізу впливу на ефективність трансмісії.
4. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою, використовуючи рівняння руху автомобіля, для визначення його прискорення на двох ділянках дороги – горизонтальній та з ухилом $\alpha = 3^\circ$, якщо в обох випадках швидкість однакова і дорівнює $v = 70$ км/год. Параметри автомобіля: $m_a = 7\,400$ кг; $M_d = 252$ Н·м; $u_{тр} = 6,83$; $\eta_{тр} = 0,95$; $r_{k0} = 0,465$ м; $k_w = 0,6$ Н·с²/м⁴; $A_L =$

5,28 м²; $\delta_{п.м} = 1,08$. Коефіцієнт опору коченню $f = 0,015$. Варіюйте кут ухилу у межах $0-3^\circ$ для побудови графічної залежності прискорення від кута ухилу та аналізу впливу на динаміку руху.

5. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою, використовуючи емпіричну формулу (2.86), для визначення коефіцієнта наведеної маси порожнього та навантаженого автомобіля на нижчій та вищій передачах, якщо повна маса $m_a = 7\ 400$ кг, споряджена маса $m_c = 3\ 250$ кг, передавальне число нижчої передачі $ик.п.н = 0,55$, вищої – $ик.п.в = 1,0$. Прийняти середні значення емпіричних коефіцієнтів δ_1 і δ_2 . Варіюйте передавальне число у межах $0,55-1,0$ для побудови графічної залежності коефіцієнта наведеної маси від передавального числа та аналізу впливу на масові характеристики.
6. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для визначення нормальних реакцій дороги на передній та задній мости двовісного автомобіля масою $m_a = 5\ 465$ кг при русі на підйом на двох швидкісних режимах – при постійній швидкості та з уповільненням $a = -0,5$ м/с². Параметри автомобіля: $L = 3,7$ м; $l_1 = 2,67$ м; $h_c = 1,5$ м; $h_w = 1,6$ м; $r_{к0} = 0,445$ м; $k_w = 0,6$ Н·с²/м⁴; $A_l = 5,21$ м²; $\delta_{п.м} = 1,09$. Параметри дорожніх умов: $f = 0,018$; $\alpha = 4^\circ$. Прийняти $v = 60$ км/год. Варіюйте швидкість у межах $60-100$ км/год для побудови графічної залежності нормальних реакцій від швидкості та аналізу впливу на стійкість руху.
7. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для обчислення коефіцієнтів перерозподілу нормальних реакцій за даними попередньої задачі. Варіюйте уповільнення у межах $-0,5-0$ м/с² для побудови графічної залежності коефіцієнтів від уповільнення та аналізу впливу на розподіл реакцій.
8. Побудуйте модель взаємодії колеса з дорогою для визначення швидкості автомобіля при рівномірному русі горизонтальною ділянкою дороги, якщо двигун розвиває момент $M_d = 190$ Н·м. Параметри автомобіля: $m_a = 5\ 465$ кг; $u_{тр} = 6,83$; $\eta_{тр} = 0,94$; $r_{к0} = 0,445$ м; $k_w = 0,6$ Н·с²/м⁴; $A_l = 5,2$ м². Коефіцієнт опору коченню $f = 0,025$. Варіюйте момент двигуна у межах $190-250$ Н·м для побудови графічної залежності швидкості від моменту двигуна та аналізу впливу на динаміку руху.

1.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, опір від швидкості чи реакції від кута підйому). Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

1.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні експлуатаційні властивості автомобіля впливають на взаємодію колеса з дорогою та опір коченню?
2. Що таке вимірник, показник, параметр у контексті моделювання взаємодії колеса з дорогою?
3. Якими є основні параметри автомобільного колеса, що впливають на моделювання опору коченню?
4. Як визначається радіус кочення та коефіцієнт опору коченню колеса в математичних моделях? Від чого залежить їх значення в процесі взаємодії з дорогою?
5. Які причини викликають опір коченню, підйому та розгону в моделях взаємодії колеса з дорогою? За якими формулами їх обчислюють?
6. Від яких факторів залежить сила опору повітря та як вона обчислюється в моделях взаємодії колеса з дорогою? За допомогою яких засобів можна зменшити її значення в процесі моделювання?
7. Від чого залежить та як визначається швидкість автомобіля в моделях взаємодії колеса з дорогою та опору коченню?
8. Як називаються і від чого залежать складові реакції дороги на коло в математичних моделях? Як визначаються їх граничні значення в процесі взаємодії з дорогою?

9. За якими формулами обчислюють граничні моменти ведучого та гальмівного коліс у моделях опору коченню?
10. Від яких факторів залежить ККД трансмісії та в яких межах знаходяться його значення в моделях взаємодії колеса з дорогою?
11. Які складові входять до рівняння прямолінійного руху автомобіля в моделях взаємодії колеса з дорогою? Який їхній фізичний зміст?
12. Який фізичний зміст наведеної маси автомобіля та коефіцієнта наведеної маси в моделях опору коченню?
13. Від яких параметрів автомобіля залежить коефіцієнт наведеної маси та на що він впливає в моделях взаємодії колеса з дорогою?
14. Що таке коефіцієнти перерозподілу нормальних реакцій і від чого вони залежать у моделях взаємодії колеса з дорогою? Як змінюються їх значення на тяговому режимі та при гальмуванні?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2. АНАЛІЗ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛЯ

Мета: дати основи знань щодо моделювання тягово-швидкісних властивостей автомобіля, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

2.1 Загальні відомості

Тягово-швидкісні властивості автомобіля визначають його здатність розвивати швидкість, розганятися та долати підйоми, що залежить від динамічного фактора, балансу потужності, максимальної швидкості та прискорення.

Моделювання цих властивостей включає розрахунок динамічного фактора, тягової сили, потужності та часу розгону, з урахуванням параметрів автомобіля (маса, момент двигуна, передавальне число, ККД трансмісії) та умов руху (опір коченню, повітря, підйом). Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи тягово-швидкісних характеристик, зокрема рівняння балансу потужності, динамічний паспорт та криві прискорення.

Методичні поради: почніть з аналізу емпіричних формул для динамічного фактора та балансу потужності; модельуйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, динамічний фактор від швидкості); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна моменту двигуна впливає на прискорення чи максимальну швидкість, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

2.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання тягово-швидкісних властивостей, розрахувати динамічний фактор, баланс потужності, максимальну швидкість, прискорення та час розгону в заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на тягово-швидкісні характеристики.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $M_d = 120$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,95$, $r_{к0} = 0,285$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-120 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на тягові характеристики.
2. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 50$ км/год, якщо $M_d = 190$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,94$, $r_{к0} = 0,445$ м. Варіюйте швидкість у межах 50-100 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на швидкісні властивості.
3. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $M_d = 252$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,95$, $r_{к0} = 0,465$ м. Варіюйте швидкість у межах 70-120 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на тягову силу.
4. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо $M_d = 120$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,95$, $r_{к0} = 0,285$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на швидкісні характеристики.
5. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $M_d = 190$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,94$, $r_{к0} = 0,445$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на тягові властивості.
6. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $M_d = 252$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,95$, $r_{к0} = 0,465$ м. Варіюйте швидкість у межах 70-110 км/год для побудови графічної залежності динамічного факто-

- ра від швидкості та аналізу впливу на швидкісні властивості.
7. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо $M_d = 120$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,95$, $gk_0 = 0,285$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на тягові характеристики.
 8. Побудуйте модель тягово-швидкісних властивостей для визначення динамічного фактора автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $M_d = 190$ Н·м, $\eta_{тр} = 6,83$, $\eta_{тр} = 0,94$, $gk_0 = 0,445$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності динамічного фактора від швидкості та аналізу впливу на швидкісні властивості.

2.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, динамічний фактор від швидкості чи прискорення від часу). Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

2.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які оціночні показники тягово-швидкісних властивостей автомобіля?
2. Що таке динамічний фактор і динамічна характеристика? За якими формулами вони визначаються в моделях тягово-швидкісних властивостей?
3. Яке призначення динамічної характеристики автомобіля в моделях

- тягово-швидкісних властивостей? Які особливості її побудови?
4. Який фізичний зміст балансу потужності автомобіля? За якою формулою він визначається в моделях тягово-швидкісних властивостей?
 5. Як побудувати графік балансу потужності автомобіля та що він дає для аналізу тягово-швидкісних властивостей?
 6. Як визначається максимальна швидкість автомобіля за балансом потужності в моделях тягово-швидкісних властивостей? За якими формулами обчислюється максимальна швидкість?
 7. Як визначається час та шлях розгону автомобіля за динамічною характеристикою в моделях тягово-швидкісних властивостей? Які особливості їхньої побудови?
 8. Як визначається час та шлях розгону автомобіля за балансом потужності в моделях тягово-швидкісних властивостей? Які особливості їхньої побудови?
 9. Який максимальний підйом може подолати автомобіль? За якими формулами він обчислюється в моделях тягово-швидкісних властивостей?
 10. Які чинники впливають на тягово-швидкісні властивості автомобіля? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу в моделях тягово-швидкісних властивостей?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3. МОДЕЛЮВАННЯ ГАЛЬМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Мета: дати основи знань щодо моделювання гальмівних властивостей транспортного засобу, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

3.1 Загальні відомості

Гальмівні властивості автомобіля визначають його здатність зменшувати швидкість або зупинитися, що залежить від гальмівного шляху, уповільнення, розподілу гальмівних моментів та регулювання.

Моделювання цих властивостей включає розрахунок рівняння руху при гальмуванні, розподіл моментів між мостами, ефективність гальмівної системи та вплив факторів, таких як коефіцієнт зчеплення, маса автомобіля, швидкість та тип дороги. Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи гальмівних характеристик, зокрема рівняння руху при гальмуванні, методи регулювання моментів та оцінку ефективності.

Методичні поради: почніть з аналізу емпіричних формул для гальмівного шляху та уповільнення; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, гальмівний шлях від швидкості); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна коефіцієнта зчеплення впливає на уповільнення чи ефективність, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

3.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання гальмівних властивостей, розрахувати уповільнення, гальмівний шлях, розподіл гальмівних моментів та ефективність системи в заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на гальмівні характеристики.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення уповільнення j автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при гальмуванні з швидкості $v = 80$ км/год, якщо гальмівний момент $M_g = 1200$ Н·м, $r_{k0} = 0,285$ м, $\delta_{п.м} = 1,05$. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності уповільнення від швидкості та аналізу впливу на гальмівну ефективність.
2. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення гальмівного шляху S_g автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при уповільненні $j = 4$ м/с² з швидкості $v = 60$ км/год. Варіюйте уповільнення у межах 4-6 м/с² для побудови графічної залежності гальмівного шляху від уповільнення та аналізу впливу на безпеку гальмування.
3. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення розподілу гальмівних моментів між мостами автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при гальмуванні з уповільненням $j = 5$ м/с², $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м. Варіюйте уповільнення у межах 4-6 м/с² для побудови графічної залежності розподілу моментів від уповільнення та аналізу впливу на стабільність гальмування.
4. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення ефективності гальмівної системи автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо гальмівний момент $M_g = 1500$ Н·м, $\varphi = 0,8$. Варіюйте коефіцієнт зчеплення у межах 0,6-0,9 для побудови графічної залежності ефективності від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на гальмівні характеристики.
5. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення уповільнення j автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при гальмуванні з швидкості $v = 60$ км/год, якщо гальмівний момент $M_g = 2000$ Н·м, $r_{k0} = 0,445$ м, $\delta_{п.м} = 1,09$. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності уповільнення від швидкості та аналізу впливу на гальмівну динаміку.
6. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення гальмівного шляху S_g автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при уповільненні $j = 5$ м/с² з швидкості $v = 70$ км/год. Варіюйте

уповільнення у межах 4-6 м/с² для побудови графічної залежності гальмівного шляху від уповільнення та аналізу впливу на ефективність гальмування.

7. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення розподілу гальмівних моментів між мостами автомобіля масою $m_a = 1\,820$ кг при гальмуванні з уповільненням $j = 4,5$ м/с², $L = 2,8$ м, $l_1 = 1,46$ м. Варіюйте уповільнення у межах 4-5 м/с² для побудови графічної залежності розподілу моментів від уповільнення та аналізу впливу на стабільність.
8. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення ефективності гальмівної системи автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо гальмівний момент $M_g = 1200$ Н·м, $\varphi = 0,7$. Варіюйте коефіцієнт зчеплення у межах 0,6-0,8 для побудови графічної залежності ефективності від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на гальмівні властивості.
9. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення уповільнення j автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при гальмуванні з швидкості $v = 60$ км/год, якщо гальмівний момент $M_g = 1800$ Н·м, $r_{k0} = 0,445$ м, $\delta_{п.м} = 1,08$. Варіюйте швидкість у межах 60-90 км/год для побудови графічної залежності уповільнення від швидкості та аналізу впливу на гальмівну динаміку.
10. Побудуйте модель гальмівних властивостей для визначення гальмівного шляху S_g автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при уповільненні $j = 4,5$ м/с² з швидкості $v = 70$ км/год. Варіюйте уповільнення у межах 4-5 м/с² для побудови графічної залежності гальмівного шляху від уповільнення та аналізу впливу на ефективність гальмування.

3.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, уповільнення від швидкості чи розподіл моментів від маси). Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками;

надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

3.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які гальмівні системи автомобіля та види гальмування?
2. Які оціночні показники гальмівних властивостей автомобіля в моделях гальмівних характеристик?
3. За яким рівнянням визначається рух автомобіля при гальмуванні в моделях гальмівних властивостей?
4. Які способи гальмування автомобіля в моделях гальмівних властивостей? За допомогою яких засобів вони здійснюються?
5. Як розподіляються гальмівні моменти між мостами автомобіля в моделях гальмівних властивостей? За якими формулами їх обчислюють?
6. Які причини зниження ефективності гальмівної системи при постійному розподілі гальмівних моментів в моделях гальмівних властивостей?
7. Які способи регулювання гальмівних моментів в моделях гальмівних властивостей? Які їхні особливості?
8. Які особливості гальмування автопоїзда в моделях гальмівних властивостей? Як вони впливають на ефективність гальмування?
9. Яке призначення та особливості гальмівної системи з антиблокувальним пристроєм в моделях гальмівних властивостей?
10. Які основні положення експертизи дорожньо-транспортної пригоди в контексті моделювання гальмівних властивостей?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ КГТЗ

Мета: дати основи знань щодо моделювання паливної економічності КГТЗ, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

4.1 Загальні відомості

Паливна економічність автомобіля визначає його здатність ефективно використовувати паливо, що залежить від витрат палива, паливної характеристики, впливу конструктивних та експлуатаційних факторів. Моделювання цих властивостей включає розрахунок рівнянь витрат палива, паливної характеристики, витрат у їздовому циклі та вплив факторів, таких як швидкість, маса, ККД двигуна та опір руху. Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи паливної економічності, зокрема рівняння витрат палива, паливний баланс та криві витрат.

Методичні поради: почніть з аналізу емпіричних формул для витрат палива та паливної характеристики; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, витрати палива від швидкості чи маси); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна швидкості чи маси впливає на витрати палива, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

4.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання паливної економічності, розрахувати витрати палива, паливну характеристику, витрати в їздовому циклі та вплив факторів у заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на паливну економічність.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель паливної економічності для визначення

витрат палива автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо годинна витрата палива $G_t = 10$ л/год, потужність двигуна $N_e = 50$ кВт. Варіюйте швидкість у межах 60-120 км/год для побудови графічної залежності витрат палива від швидкості та аналізу впливу на економічність.

2. Побудуйте модель паливної економічності для визначення питомої витрати палива g_e автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 50$ км/год, якщо $G_t = 15$ л/год, $N_e = 100$ кВт. Варіюйте швидкість у межах 50-100 км/год для побудови графічної залежності питомої витрати палива від швидкості та аналізу впливу на паливну ефективність.
3. Побудуйте модель паливної економічності для визначення витрат палива в їздовому циклі автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $G_t = 20$ л/год, $N_e = 150$ кВт. Варіюйте швидкість у межах 70-120 км/год для побудови графічної залежності витрат палива від швидкості та аналізу впливу на економічність у їздовому циклі.
4. Побудуйте модель паливної економічності для визначення впливу маси автомобіля на витрати палива для автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо $G_t = 12$ л/год, $N_e = 80$ кВт. Варіюйте масу у межах 1 355-1 500 кг для побудови графічної залежності витрат палива від маси та аналізу впливу на паливну економічність.
5. Побудуйте модель паливної економічності для визначення паливної характеристики автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $G_t = 18$ л/год, $N_e = 120$ кВт. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності паливної характеристики від швидкості та аналізу впливу на ефективність двигуна.
6. Побудуйте модель паливної економічності для визначення витрат палива при розгоні автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг з швидкості $v = 70$ км/год, якщо $G_t = 22$ л/год, $N_e = 160$ кВт. Варіюйте прискорення у межах 0,5-1,5 м/с² для побудови графічної залежності витрат палива від прискорення та аналізу впливу на економічність.
7. Побудуйте модель паливної економічності для визначення впливу опору повітря на витрати палива автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $G_t = 11$ л/год, N_e

- = 55 кВт, $k_w = 0,28 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$. Варіюйте швидкість у межах 60-120 км/год для побудови графічної залежності витрат палива від опору повітря та аналізу впливу на економічність.
8. Побудуйте модель паливної економічності для визначення витрат палива при русі на підйомі автомобіля масою $m_a = 5465 \text{ кг}$ при швидкості $v = 50 \text{ км/год}$, якщо $G_t = 16 \text{ л/год}$, $N_e = 110 \text{ кВт}$, кут підйому $\alpha = 4^\circ$. Варіюйте кут підйому у межах $0-4^\circ$ для побудови графічної залежності витрат палива від кута підйому та аналізу впливу на паливну ефективність.
 9. Побудуйте модель паливної економічності для визначення впливу ККД трансмісії на витрати палива автомобіля масою $m_a = 7400 \text{ кг}$ при швидкості $v = 70 \text{ км/год}$, якщо $G_t = 21 \text{ л/год}$, $N_e = 155 \text{ кВт}$, $\eta_{tr} = 0,94$. Варіюйте ККД трансмісії у межах $0,90-0,94$ для побудови графічної залежності витрат палива від ККД та аналізу впливу на економічність.
 10. Побудуйте модель паливної економічності для визначення витрат палива при змінному русі автомобіля масою $m_a = 1355 \text{ кг}$ при швидкості $v = 80 \text{ км/год}$, якщо $G_t = 13 \text{ л/год}$, $N_e = 85 \text{ кВт}$. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності витрат палива від змінного руху та аналізу впливу на паливну ефективність.

4.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, витрати палива від швидкості чи навантаження). Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

4.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які оціночні показники паливної економічності КГТЗ в моделях оптимізації?
2. За якими рівняннями визначаються витрати палива в моделях оптимізації паливної економічності?
3. Як побудувати паливну характеристику КГТЗ та що вона дає для оптимізації паливної економічності?
4. Які особливості паливної економічності автопоїзда в моделях оптимізації?
5. Як визначається витрата палива в їздовому циклі в моделях оптимізації паливної економічності?
6. Які конструктивні та експлуатаційні чинники впливають на тягово-швидкісні властивості та паливну економічність КГТЗ в моделях оптимізації?
7. Які чинники впливають на витрати палива при рівномірному русі в моделях оптимізації?
8. Які чинники впливають на витрати палива при розгоні в моделях оптимізації?
9. Як впливають конструктивні параметри на паливну економічність КГТЗ в моделях оптимізації?
10. Як впливають експлуатаційні фактори на паливну економічність КГТЗ в моделях оптимізації?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5. МОДЕЛЮВАННЯ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ТА БОКОВОГО УВОДУ КОЛЕСА

Мета: дати основи знань щодо моделювання криволінійного руху та бокового уводу колеса, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

5.1 Загальні відомості

Криволінійний рух автомобіля визначає його маневреність і стійкість при поворотах, що залежить від бокового уводу колеса, кінематики повороту, системи сил та моментів. Моделювання цих процесів включає розрахунок умов повороту, бокового уводу, кінематики та силової взаємодії, з урахуванням параметрів автомобіля (радіус повороту, швидкість, коефіцієнт уводу) та умов дороги (зчеплення, кут нахилу). Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи криволінійного руху, зокрема рівняння бокового уводу, кінематику повороту та систему сил.

Методичні поради: почніть з аналізу емпіричних формул для бокового уводу та кінематики; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, увід від швидкості); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна швидкості впливає на увід чи стійкість, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

5.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання криволінійного руху та бокового уводу колеса, розрахувати увід, кінематику повороту, систему сил та вплив факторів в заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на криволінійний рух.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення боко-

вого уводу колеса автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо кут повороту $\delta = 20^\circ$, радіус повороту $R = 50$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності уводу від швидкості та аналізу впливу на маневреність.

2. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 50$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 15^\circ$. Варіюйте кут повороту у межах $10-20^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на динаміку.
3. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення системи сил та моментів автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $R = 60$ м, $G = 72600$ Н. Варіюйте швидкість у межах 70-100 км/год для побудови графічної залежності сил від швидкості та аналізу впливу на стійкість.
4. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення бокового уводу колеса автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо $\delta = 25^\circ$, $R = 45$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності уводу від швидкості та аналізу впливу на маневреність.
5. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 18^\circ$. Варіюйте кут повороту у межах $15-25^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на динаміку.
6. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення системи сил та моментів автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $R = 55$ м, $G = 72600$ Н. Варіюйте швидкість у межах 70-110 км/год для побудови графічної залежності сил від швидкості та аналізу впливу на стійкість.
7. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення бокового уводу колеса автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $\delta = 22^\circ$, $R = 48$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-90 км/год для побудови графічної залежності уводу від швидкості та аналізу впливу на маневреність.
8. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 50$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 20^\circ$. Варіюйте кут по-

вороту у межах $15-25^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на динаміку.

9. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення системи сил та моментів автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $R = 50$ м, $G = 72600$ Н. Варіюйте швидкість у межах 70-100 км/год для побудови графічної залежності сил від швидкості та аналізу впливу на стійкість.
10. Побудуйте модель криволінійного руху для визначення бокового уводу колеса автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при швидкості $v = 80$ км/год, якщо $\delta = 18^\circ$, $R = 52$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-110 км/год для побудови графічної залежності уводу від швидкості та аналізу впливу на маневреність.

5.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, боковий увід від швидкості чи кут повороту). Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

5.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які умови здійснення повороту в моделях криволінійного руху автомобіля?
2. Як визначається боковий увід колеса в моделях криволінійного руху? Які чинники на нього впливають?
3. Які особливості кінематики повороту автомобіля в моделях криволінійного руху? За якими формулами її обчислюють?
4. Яка система сил і моментів діє на автомобіль при криволінійному

русі в відповідних моделях? За якими формулами вони обчислюються?

5. Які оціночні показники стійкості автомобіля в моделях криволінійного руху?
6. Які чинники впливають на поперечну стійкість автомобіля в моделях криволінійного руху? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?
7. Які чинники впливають на занос мостів автомобіля в моделях криволінійного руху?
8. Які чинники впливають на поворотність автомобіля в моделях криволінійного руху? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?
9. Які чинники викликають коливання керованих коліс в моделях криволінійного руху? За допомогою яких засобів їх усувають?
10. Які чинники впливають на керованість автомобіля в моделях криволінійного руху? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6. АНАЛІЗ ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ЗАНОСУ МОСТІВ АВТОМОБІЛЯ

Мета: дати основи знань щодо моделювання поперечної стійкості та заносу мостів автомобіля, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

6.1 Загальні відомості

Поперечна стійкість автомобіля визначає його здатність протистояти перекиданню під час криволінійного руху, а занос мостів характеризує втрату зчеплення коліс із дорогою.

Моделювання цих властивостей включає розрахунок критичної швидкості, кута перекидання, системи сил і моментів, а також аналіз умов заносу, враховуючи параметри автомобіля (маса, центр мас, ширина колії, коефіцієнт зчеплення) та умови дороги (швидкість, радіус повороту, кут нахилу).

Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи поперечної стійкості, рівняння сил і моментів, а також моделі заносу мостів.

Методичні поради: почніть з аналізу формул для критичної швидкості та кута перекидання; модельуйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, критична швидкість від радіуса повороту); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна швидкості чи коефіцієнта зчеплення впливає на стійкість і занос, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

6.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання поперечної стійкості та заносу мостів, розрахувати критичну швидкість, кут перекидання, умови заносу та вплив факторів у заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на поперечну стійкість і занос.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення критичної швидкості перекидання автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 50$ м, якщо ширина колії $B = 1,4$ м, висота центру мас $h_c = 0,6$ м. Варіюйте радіус повороту в межах 50-100 м для побудови графічної залежності критичної швидкості від радіуса повороту та аналізу впливу на стійкість.
2. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення кута перекидання автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 60$ м, якщо $B = 1,8$ м, $h_c = 1,5$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності кута перекидання від швидкості та аналізу впливу на стійкість.
3. Побудуйте модель заносу мостів для визначення умов заносу заднього моста автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо коефіцієнт зчеплення $\phi_x = 0,8$, $L = 3,7$ м, $H = 2,67$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах 0,6-0,9 для побудови графічної залежності умов заносу від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на стійкість.
4. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення критичної швидкості перекидання автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 45$ м, якщо $B = 1,5$ м, $h_c = 0,7$ м. Варіюйте радіус повороту в межах 45-90 м для побудови графічної залежності критичної швидкості від радіуса повороту та аналізу впливу на стійкість.
5. Побудуйте модель заносу мостів для визначення умов заносу переднього моста автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $\phi_x = 0,7$, $L = 3,7$ м, $H = 2,67$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах 0,6-0,8 для побудови графічної залежності умов заносу від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на стабільність.
6. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення системи сил і моментів автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 55$ м, якщо $B = 1,9$ м, $h_c = 1,6$ м. Варіюйте швидкість у межах 70-110 км/год для побудови графічної залежності сил від швидкості та аналізу впливу на стійкість.

7. Побудуйте модель заносу мостів для визначення умов заносу заднього моста автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при швидкості $v = 60$ км/год, якщо $\phi_x = 0,75$, $L = 2,424$ м, $l_1 = 1,324$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах 0,6-0,8 для побудови графічної залежності умов заносу від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на стабільність.
8. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення кута перекидання автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 50$ м, якщо $B = 1,8$ м, $h_c = 1,5$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-90 км/год для побудови графічної залежності кута перекидання від швидкості та аналізу впливу на стійкість.
9. Побудуйте модель заносу мостів для визначення умов заносу переднього моста автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $\phi_x = 0,85$, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах 0,7-0,9 для побудови графічної залежності умов заносу від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на стабільність.
10. Побудуйте модель поперечної стійкості для визначення критичної швидкості перекидання автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 48$ м, якщо $B = 1,5$ м, $h_c = 0,7$ м. Варіюйте радіус повороту в межах 48-96 м для побудови графічної залежності критичної швидкості від радіуса повороту та аналізу впливу на стійкість.

6.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, критична швидкість від радіуса повороту чи занос від коефіцієнта зчеплення).

Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

6.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які оціночні показники поперечної стійкості автомобіля в моделях аналізу стійкості та заносу?
2. Які чинники впливають на поперечну стійкість автомобіля в моделях аналізу стійкості? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?
3. Які чинники впливають на занос мостів автомобіля в моделях аналізу заносу?
4. Як визначається критична швидкість за поперечною стійкістю в моделях аналізу? За якими формулами її обчислюють?
5. Як визначається кут перекидання автомобіля в моделях поперечної стійкості? За якими формулами його обчислюють?
6. Які умови здійснення повороту в моделях аналізу поперечної стійкості та заносу?
7. Яка система сил і моментів діє на автомобіль при криволінійному русі в моделях поперечної стійкості?
8. Які особливості кінематики повороту автомобіля в моделях аналізу стійкості та заносу?
9. Які чинники викликають коливання керованих коліс у моделях поперечної стійкості? За допомогою яких засобів їх усувають?
10. Які чинники впливають на керованість автомобіля в моделях аналізу поперечної стійкості та заносу?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7. МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЕКТОРНОЇ КЕРОВАНОСТІ АВТОМОБІЛЯ

Мета: дати основи знань щодо моделювання траєкторної керованості автомобіля, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

7.1 Загальні відомості

Траєкторна керованість автомобіля визначає його здатність точно слідувати заданій траєкторії під час руху, зокрема при поворотах, маневрах і зміні смуги. Моделювання цих властивостей включає розрахунок кінематики керованості, системи сил, моментів повороту, кута крену та впливу конструктивних параметрів (база автомобіля, кут повороту коліс, центр мас) і умов руху (швидкість, радіус повороту, зчеплення). Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи траєкторної керованості, зокрема рівняння кінематики повороту, сили бокового уводу та моменти крену.

Методичні поради: почніть з аналізу формул для кута повороту та моментів крену; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, кут повороту від швидкості); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна швидкості чи кута повороту впливає на керованість, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

7.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання траєкторної керованості, розрахувати кінематику повороту, моменти крену, кути повороту коліс та вплив факторів у заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на траєкторну керованість.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення ку-

та повороту коліс автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 50$ м, якщо швидкість $v = 60$ км/год, $L = 2,424$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-100 км/год для побудови графічної залежності кута повороту від швидкості та аналізу впливу на керованість.

2. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення моменту крену автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 60$ м, якщо швидкість $v = 50$ км/год, $h_c = 1,5$ м. Варіюйте швидкість у межах 50-100 км/год для побудови графічної залежності моменту крену від швидкості та аналізу впливу на стабільність.
3. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 20^\circ$. Варіюйте кут повороту в межах $15-25^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на траєкторію.
4. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кута повороту коліс автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 45$ м, якщо швидкість $v = 80$ км/год, $L = 2,424$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-120 км/год для побудови графічної залежності кута повороту від швидкості та аналізу впливу на керованість.
5. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення моменту крену автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 55$ м, якщо швидкість $v = 60$ км/год, $h_c = 1,5$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-90 км/год для побудови графічної залежності моменту крену від швидкості та аналізу впливу на стабільність.
6. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 18^\circ$. Варіюйте кут повороту в межах $15-20^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на траєкторію.
7. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кута повороту коліс автомобіля масою $m_a = 1\,250$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 48$ м, якщо швидкість $v = 60$ км/год, $L = 2,424$ м. Варіюйте швидкість у межах 60-90 км/год для побудови графічної залежності кута повороту від швидкості та

- аналізу впливу на керованість.
8. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення моменту крену автомобіля масою $m_a = 5\,465$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 50$ м, якщо швидкість $v = 50$ км/год, $h_c = 1,5$ м. Варіюйте швидкість у межах 50-80 км/год для побудови графічної залежності моменту крену від швидкості та аналізу впливу на стабільність.
 9. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кінематики повороту автомобіля масою $m_a = 7\,400$ кг при швидкості $v = 70$ км/год, якщо $L = 3,7$ м, $\delta = 22^\circ$. Варіюйте кут повороту в межах $20-25^\circ$ для побудови графічної залежності радіуса повороту від кута та аналізу впливу на траєкторію.
 10. Побудуйте модель траєкторної керованості для визначення кута повороту коліс автомобіля масою $m_a = 1\,355$ кг при русі по кривій з радіусом $R = 52$ м, якщо швидкість $v = 80$ км/год, $L = 2,424$ м. Варіюйте швидкість у межах 80-110 км/год для побудови графічної залежності кута повороту від швидкості та аналізу впливу на керованість.

7.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft Excel для візуалізації залежностей (наприклад, кут повороту від швидкості чи момент крену від радіуса повороту).

Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

7.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Які оціночні показники траєкторної керованості автомобіля в моделях керованості?
2. Які чинники впливають на траєкторну керованість автомобіля в моделях керованості? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?
3. Які умови здійснення повороту в моделях траєкторної керованості?
4. Як визначається боковий увід колеса в моделях траєкторної керованості? Які чинники на нього впливають?
5. Які особливості кінематики повороту автомобіля в моделях траєкторної керованості? За якими формулами її обчислюють?
6. Яка система сил і моментів діє на автомобіль при криволінійному русі в моделях траєкторної керованості?
7. Які чинники впливають на поперечну стійкість автомобіля в моделях траєкторної керованості?
8. Які чинники викликають занос мостів автомобіля в моделях траєкторної керованості?
9. Які чинники викликають коливання керованих коліс у моделях траєкторної керованості? За допомогою яких засобів їх усувають?
10. Які чинники впливають на поворотність автомобіля в моделях траєкторної керованості? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?

Література

[1]–[5].

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОФІЛЬНОЇ ТА ОПОРНО-ЗЧЕПНОЇ ПРОХІДНОСТІ КГТЗ

Мета: дати основи знань щодо моделювання профільної та опорно-зчепної прохідності КГТЗ, вибору конструктивних параметрів автомобіля, які забезпечують задані експлуатаційні властивості, пов'язані з його рухом.

8.1 Загальні відомості

Профільна та опорно-зчепна прохідність КГТЗ визначає здатність транспортного засобу долати перешкоди (вертикальні, горизонтальні) та забезпечувати зчеплення з дорогою в складних умовах. Моделювання цих властивостей включає розрахунок умов подолання порогових перешкод, сумарного моменту на ведучих колесах, максимального кута підйому, а також аналіз впливу факторів, таких як коефіцієнт зчеплення, маса автомобіля, геометричні параметри та тип диференціала.

Для вивчення рекомендується повторити теоретичні основи прохідності, зокрема рівняння сил зчеплення, геометричні параметри профільної прохідності та вплив диференціалів.

Методичні поради: почніть з аналізу формул для подолання перешкод та зчеплення; моделюйте параметри в Microsoft Excel для побудови графічних залежностей (наприклад, момент на колесах від коефіцієнта зчеплення); зверніть увагу на причинно-наслідкові зв'язки, як зміна коефіцієнта зчеплення чи висоти перешкоди впливає на прохідність, варіюючи значення в межах заданих діапазонів для спостереження динаміки.

8.2 Завдання до практичної роботи

На практичному занятті необхідно виконати моделювання профільної та опорно-зчепної прохідності, розрахувати умови подолання перешкод, сумарний момент на колесах, максимальний кут підйому та вплив факторів у заданих умовах. Варіювати параметри в межах для побудови графічних залежностей та аналізу впливу факторів на прохідність.

Контрольні завдання

1. Побудуйте модель профільної прохідності для визначення можливості подолання задньопривідним автомобілем масою $m_a = 1\,355$ кг порогової перешкоди висотою $H_{пр} = 0,09$ м перед передніми колесами, якщо $f_x = 0,9$, $L = 2,424$ м, $l_1 = 1,324$ м, $r_c = 0,3$ м. Варіюйте висоту перешкоди в межах $0,09-0,15$ м для побудови графічної залежності можливості подолання від висоти та аналізу впливу на профільну прохідність.
2. Побудуйте модель профільної прохідності для визначення можливості подолання автомобілем масою $m_a = 1\,355$ кг порогової перешкоди висотою $H_{пр} = 0,09$ м перед задніми колесами, якщо $f_x = 0,9$, $L = 2,424$ м, $l_1 = 1,324$ м, $r_c = 0,3$ м. Варіюйте висоту перешкоди в межах $0,09-0,15$ м для побудови графічної залежності можливості подолання від висоти та аналізу впливу на профільну прохідність.
3. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення сумарного моменту на ведучих колесах автомобіля масою $m_a = 1\,820$ кг при буксуванні одного колеса, якщо $f_x = 0,3$, $M_{тр} = 30$ Н·м, $L = 2,8$ м, $l_1 = 1,46$ м, $r_{к0} = 0,31$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах $0,3-0,5$ для побудови графічної залежності моменту від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на прохідність.
4. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення можливості руху автомобіля масою $m_a = 1\,820$ кг горизонтальною ділянкою дороги, якщо $f_x = 0,3$, $M_{тр} = 30$ Н·м, $f = 0,1$, $L = 2,8$ м, $l_1 = 1,46$ м, $r_{к0} = 0,31$ м. Варіюйте коефіцієнт опору коченню в межах $0,1-0,2$ для побудови графічної залежності можливості руху від опору та аналізу впливу на прохідність.
5. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення максимального кута підйому автомобіля масою $m_a = 1\,820$ кг, якщо $f_x = 0,3$, $M_{тр} = 30$ Н·м, $L = 2,8$ м, $l_1 = 1,46$ м, $r_{к0} = 0,31$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах $0,3-0,5$ для побудови графічної залежності кута підйому від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на прохідність.
6. Побудуйте модель профільної прохідності для визначення можливості подолання автомобілем масою $m_a = 5\,465$ кг поро-

гової перешкоди висотою $H_{пр} = 0,12$ м перед передніми колесами, якщо $\varphi_x = 0,8$, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м, $r_c = 0,445$ м. Варіюйте висоту перешкоди в межах $0,12-0,18$ м для побудови графічної залежності можливості подолання від висоти та аналізу впливу на профільну прохідність.

7. Побудуйте модель профільної прохідності для визначення можливості подолання автомобілем масою $m_a = 5\ 465$ кг порогової перешкоди висотою $H_{пр} = 0,12$ м перед задніми колесами, якщо $\varphi_x = 0,8$, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м, $r_c = 0,445$ м. Варіюйте висоту перешкоди в межах $0,12-0,18$ м для побудови графічної залежності можливості подолання від висоти та аналізу впливу на профільну прохідність.
8. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення сумарного моменту на ведучих колесах автомобіля масою $m_a = 7\ 400$ кг при буксуванні одного колеса, якщо $\varphi_x = 0,7$, $M_{тр} = 40$ Н·м, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м, $r_{к0} = 0,465$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах $0,7-0,9$ для побудови графічної залежності моменту від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на прохідність.
9. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення можливості руху автомобіля масою $m_a = 7\ 400$ кг горизонтальною ділянкою дороги, якщо $\varphi_x = 0,7$, $M_{тр} = 40$ Н·м, $f = 0,015$, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м, $r_{к0} = 0,465$ м. Варіюйте коефіцієнт опору коченню в межах $0,015-0,025$ для побудови графічної залежності можливості руху від опору та аналізу впливу на прохідність.
10. Побудуйте модель опорно-зчепної прохідності для визначення максимального кута підйому автомобіля масою $m_a = 7\ 400$ кг, якщо $\varphi_x = 0,7$, $M_{тр} = 40$ Н·м, $L = 3,7$ м, $l_1 = 2,67$ м, $r_{к0} = 0,465$ м. Варіюйте коефіцієнт зчеплення в межах $0,7-0,9$ для побудови графічної залежності кута підйому від коефіцієнта зчеплення та аналізу впливу на прохідність.

8.3 Порядок проведення практичної роботи

Практична робота проводиться самостійно з використанням матеріалів лекційного курсу та довідкової літератури. Виконайте розрахунки за контрольними завданнями, побудуйте графіки в Microsoft

Excel для візуалізації залежностей (наприклад, момент на колесах від коефіцієнта зчеплення чи кут підйому від маси).

Оформити звіт у текстовому документі з розрахунками, графіками, аналізом та висновками; надіслати викладачеві через електронну платформу до вказаного терміну.

8.4 Зміст звіту

У звіті необхідно дати письмові відповіді на контрольні завдання з розрахунками, графіками в Microsoft Excel, аналізом отриманих даних та висновками. Кожне виконане контрольне завдання повинно супроводжуватися аналізом отриманих даних та висновками.

Контрольні запитання

1. Що таке прохідність автомобіля в моделях профільної та опорно-зчепної прохідності? Які чинники впливають на втрату прохідності?
2. Які показники профільної прохідності у вертикальній і горизонтальній площинах враховуються в моделях прохідності?
3. Від яких чинників залежать можливості подолання порогових перешкод веденими та ведучими колесами автомобіля в моделях профільної прохідності? Які граничні значення висоти перешкод?
4. Які показники опорно-зчепної прохідності автомобіля в моделях прохідності? За якими формулами їх обчислюють?
5. Які значення допустимих навантажень на мости автомобілів у моделях опорно-зчепної прохідності?
6. Які конструктивні чинники впливають на прохідність автомобіля в моделях прохідності? Які фізичний зміст і причини їхнього впливу?
7. Які типи диференціалів застосовуються в трансмісіях автомобілів у моделях опорно-зчепної прохідності? Які їхні призначення та властивості?
8. Якими властивостями володіє простий конічний диференціал у моделях опорно-зчепної прохідності? За якою формулою визначається сумарний момент у умовах різного зчеплення коліс?
9. Які способи підвищення прохідності автомобіля з диференціальним приводом коліс у моделях прохідності? За рахунок чого вони покращують прохідність?

10. Які додаткові засоби підвищення прохідності автомобіля використовуються в моделях профільної та опорно-зчепної прохідності?

Література

[1]–[5].

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 320 с.
2. Безбородова Г. Б., Галушко В. Г. Моделювання руху автомобіля. Київ : Вища школа, 1978. 168 с.
3. Автомобілі : тягово-швидкісні властивості та паливна економічність : навч. посіб. / В. П. Сахно Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. Київ : КВІЦ, 2004. 174 с.
4. Сирота В. І., Сахно В. П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія : навч. посіб. для студентів ВНЗ. 2-ге вид., доп. і перероб. Київ : Арістей, 2011. 356 с.
5. Гащук П. Автомобіль. Теорія колісного рушія. Київ : Кондор, 2018. 328 с.

Допоміжна

6. Математичне моделювання систем і процесів : навч. посіб. / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, О. М. Чередніков, В. В. Трейтяк. Київ : НАУ, 2017. 392 с.
7. Вишневецький В. І. Основи інформатики і математичного моделювання : у 2 ч. Ч. 1. Основні положення загальної теорії розвитку соціально-економічних систем, системного підходу, аналізу і синтезу : навч. посіб. для аспірантів. Київ : НТУ, 2005. 140 с.
8. Кудін Р. А. Вік автомобільного парку та потреби в технічному сервісі : монографія. Київ : НТУ, 2005. 109 с.
9. Автомобілі. Всеколісне керування : монографія / В. П. Сахно, О. В. Григоращенко, А. В. Вакуліч, О. М. Тімков, Д. М. Яценко. Київ : НТУ, 2013. 180 с.
10. Безбородова Р. Б., Маяк Н. М., Чалий А. А. Економія палива при керуванні автомобілем. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : Техніка, 1989. 128 с.
11. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей : навч. посіб. / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов. Вінниця : ВНТУ, 2017. 163 с.
12. Крайник Л. В., Грубель М. Г. Багатофакторна оцінка та нормуван-

ня паливної економічності вантажних автомобілів : монографія. Львів : Академія сухопутних військ, 2010. 117 с.

13. Зінько Р. В., Крайник Л. В., Горбай О. З. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 344 с.
14. Методи моніторингу та розрахунку експлуатаційних впливів і динаміки руху колісних транспортних систем при транспортуванні великогабаритних вантажів : навч. посіб. / уклад. П. В. Ясній, В. З. Гудь, Ю. І. Пиндус, М. І. Гудь, М. Р. Коневич. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. 168 с.
15. Гліненко Л. К., Сухоносів О. Г. Основи моделювання технічних систем : навч. посіб. Львів : Бескид Біт, 2003. 176 с.
16. Лебідь Р. Д., Жуков І. А., Гузій М. М. Математичні методи в моделюванні систем : навч. посіб. Київ : КМУЦА, 2000. 158 с.
17. Моделювання систем : підруч. / В. М. Томашевський ; за ред. М. З. Згуровського. Київ : Видавнича група ВНУ, 2005. 352 с.
18. Томашевський В. М., Жданова О. Г., Жолдаков О. О. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання. Київ : Корнійчук, 2001. 267 с.
19. Вступ до математичного моделювання: навч. посібник / В. Н. Ашихмін, М. Б. Гітман, І. Е. Келлер, О. Б. Наймарк. Київ: НАУ, 2005. 440 с.
20. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки : підруч. Житомир : ЖІТІ, 2001. 611 с.
21. Павленко П. М. Основи математичного моделювання систем і процесів : навч. посіб. Київ : НАУ, 2014. 274 с.
22. Пальчевський Б. О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація) : навч. посіб. Львів : Світ, 2001. 232 с.

Інформаційні ресурси

23. The IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS (TMECH) is a bimonthly periodical source. <http://www.ieee-asme-mechatronics.org> (дата звернення: 2.08.2025).
24. Mechatronics – an international journal.

- <https://www.journals.elsevier.com/mechatronics> (дата звернення: 2.08.2025).
25. Mechatronics, Informatics and Control Group (MICG) – incorporates the Mechatronics Forum, which has been actively promoting mechatronics internationally for the past 20 years.
<https://www.imeche.org/get-involved/special-interest-groups/mechatronics-informatics-and-control-group> (дата звернення: 2.08.2025).
 26. Robotics. <https://curlie.org/Computers/Robotics> (дата звернення: 2.08.2025).
 27. IEEE Robotics and Automation Society. <http://www.ieee-ras.org> (дата звернення: 2.08.2025)
 28. Investigation of social robots – Robots that mimic human behaviors and gestures. <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/index.html> (дата звернення: 2.08.2025)
 29. Wired's guide to the '50 best robots ever', a mix of robots in fiction (Hal, R2D2, K9) to real robots (Roomba, Mobot, Aibo).
<https://www.wired.com/wired/archive/14.01/robots.html> (дата звернення: 2.08.2025)
 30. Automotive Electronic Systems Clemson Vehicular Electronics Laboratory Website <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-systems.html> (дата звернення: 2.08.2025).
 31. Seattle Robotics «What is a Servo?». <http://www.seattlerobotics.org/guide/servos.html> (дата звернення: 2.08.2025).
 32. Different types of servo motors.
<http://www.servotronix.com/servomotors.html> (дата звернення: 2.08.2025).
 33. Automotive Manufacturing Engineering Overview.
<http://www.automotiveengineeringhq.com/automotive-manufacturing-engineering/> (дата звернення: 2.08.2025).
 34. Engineering Synergy. <http://myengineeringsystems.co.uk/> (дата звернення: 2.08.2025).
 35. The Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), formerly the Institute of Industrial Engineers, is a professional society dedicated solely to the support of the industrial engineering profession and individuals involved with improving quality and productivity.
<http://www.iise.org/> (дата звернення: 2.08.2025).

36. SME (previously the Society of Manufacturing Engineers) is a non-profit student and professional association for educating and advancing the manufacturing industry in North America. <http://sme.org/> (дата звернення: 2.08.2025).