

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
із навчальних дисциплін

«ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»
та
«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

*(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальних дисциплін «Основи електричної тяги» та «Теорія електричної тяги» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад.: С. О. Закурдай, І. О. Костенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 59 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. С. О. Закурдай
асист. І. О. Костенко

Рецензент

Ю. П. Колонтаєвський, кандидат технічних наук, доцент кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 1
від 28 серпня 2018 р.*

ЗМІСТ

1 Мета та завдання навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ».....	4
2 Організація самостійної роботи з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ».....	5
2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки.....	5
2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисциплін.....	14
3 Організація проведення практичних занять з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ».....	29
3.1 Теми практичних занять.....	30
3.2 Контрольні роботи для перевірки рівня засвоєння студентами навчального матеріалу з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ».....	50
4 Організація виконання розрахунково–графічної роботи з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ».....	56
4.1 Завдання і тематика.....	56
4.2 Послідовність виконання.....	57
4.3 Зміст розрахунково-графічної роботи та її оформлення.....	57
Список використаної літератури.....	58

1 Мета та завдання навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

Метою викладання навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» є формування основ знань в галузі теорії електричної тяги, ознайомлення з дослідженням і розробками різних видів міського електричного транспорту.

Основними **завданнями** вивчення навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» є формування у студентів належного рівня знань про особливості конструкцій і робочих процесів та технічні характеристики основних функціональних елементів визначеного різновиду транспортних засобів, визначати сили що діють на об'єкт, швидкості руху транспортних засобів у заданих умовах експлуатації, кінематичні характеристики руху і будувати графіки руху за його видами.

У результаті вивчення навчальних дисциплін студент повинен

знати:

- теоретичні основи руху рухомого складу (РС);
- процеси реалізації сил тяги та гальмування;
- сили опору руху;
- характеристики тягового і гальмівного режимів руху РС;
- методи розрахунку витрат електроенергії на рух РС;
- принципи нормування і методи економії електроенергії;
- методи розрахунку нагрівання тягового електродвигуна;
- основні типи тягових електричних приводів та систем керування

приводами.

вміти:

- виконувати розрахунок та побудову кривих руху;
- виконувати розрахунок витрат енергії на рух РС;
- визначати тягові властивості електрорухомого складу;

- виконувати тягово-енергетичні розрахунки руху електрорухомого складу.

мати компетентності:

- вдосконалювати експлуатацію існуючих технічних пристроїв електричної тяги;

- створювати нові, більше економічні та надійні її системи;

- аналізувати взаємні зв'язки, що відбуваються у цих пристроях механічних, електричних і електромагнітних процесів.

2 Організація самостійної роботи з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

Самостійна робота полягає у вивченні теоретичного матеріалу конспекту лекцій та необхідної додаткової літератури, яка вказана у переліку використаних джерел. Засвоївши матеріал, необхідно відповісти на запитання самоперевірки та виконати індивідуальне контрольне завдання до самостійної роботи з метою оцінки рівня опанування матеріалу.

2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки

Тема 1 Рівняння руху електрорухомого складу.

Вступ, мета й основні завдання дисципліни. Теоретичні основи руху рухомого складу. Загальний аналіз основних режимів руху рухомого складу. Поняття про тягові і гальмівні характеристики. Жорсткість тягових і гальмівних характеристик. Криві руху рухомого складу і задачі тягових розрахунків.

Контрольні запитання до теми 1

1. Назвіть дати початку роботи електричного трамвая, тролейбуса і метрополітену в місті Харкові.

2. Як класифікується електричний транспорт за призначенням, за конструктивним виконанням, за струмом та типом використовуваних електричних тягових двигунів?

3. Чому електрична енергія до міського електротранспорту поводитьсь тільки на постійному струмі?
4. Які значення напруги контактної мережі постійного струму для МЕТ прийняті в нашій країні і за кордоном і чим вони обумовлені?
5. Які типи трамвайних вагонів і тролейбусів експлуатуються в даний час в містах України?
6. Що являє собою приведена маса рухомого складу?
7. Що враховує коефіцієнт інерції обертових частин рухомого складу? Від чого залежить його величина?
8. Які значення коефіцієнта інерції обертових частин трамвайних вагонів і тролейбусів?
9. Напишіть рівняння руху рухомого складу в двох видах (формах).
10. Чим обумовлена необхідність введення в рівняння руху рухомого складу перевідних коефіцієнтів? Які їх значення?
11. Назвіть основні режими руху рухомого складу і сили, що діють на РС в цих режимах.
12. Що називають кривими руху рухомого складу?
13. За яких умов в режимах тяги, вибігу та гальмування рухомий склад рухається з усталеною (постійною) швидкістю?
14. Що називають тягової і гальмівної характеристиками рухомого складу?
15. Як оцінюють ступінь взаємної зміни сили тяги (гальмування) і швидкості рухомого складу?
16. Чому відповідає площа під кривою руху $V(t)$?

Тема 2 *Створення та реалізація сил тяги і гальмування.*

Розглядаються процеси утворення сили тяги і гальмування. Обмеження сили тяги і гальмування за умов зчеплення. Фізичні процеси утворення сили зчеплення. Заходи щодо підвищення зчеплення.

Контрольні запитання до теми 2

1. Поясніть процес виникнення сили зчеплення окремого колеса при дії на його рушійного і гальмівного моменту.
2. Які умови нормального (без ковзання) кочення колеса в режимах тяги і гальмування?
3. Яка умова нормальної (без буксування) реалізації сили тяги РС?
4. Яке умова нормальної (без юза) реалізації сили гальмування РС?
5. Яка природа сили зчеплення?
6. Що називають зчіпною і гальмівною вагою РС?
7. Що називають розрахунковим коефіцієнтом зчеплення? Які його значення для РС МЕТ?
8. Намалюйте графік залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості ковзання (відносних переміщень волокон бандажа і рейки).

Тема 3 Сили опору руху.

Проводиться аналіз класифікація та природа сил опору руху. Розрахункові залежності основного опору руху. Опір руху в режимах тяги, вибігу і гальмування. Опір руху від ухилу, кривих. Додатковий опір руху рухомого складу в тунелях. Заходи щодо зменшення опору руху.

Контрольні запитання до теми 3

1. Що є повним, основним і додатковим опором руху рухомого складу? Від чого вони залежать і чим обумовлені?
2. Чим обумовлена різниця в розрахункових значеннях основного опору руху в режимі тяги (електричного гальмування) і в режимі вибігу (механічного гальмування)?
3. Яка структура емпіричних формул для розрахунку основного питомого опору руху РС МЕТ?
4. У якому випадку сила опору руху може бути спрямована у напрямку руху РС?
5. Що означає крутизна схилу, виражена в тисячних частках (промиле)?

6. Чому чисельна дорівнює питомий опір руху від ухилу?

7. Як розраховують питомий опір руху в кривих ділянках колії?

Тема 4 *Характеристики, регулювання швидкості, вимоги до характеристик тягових двигунів постійного та змінного струму.*

Розглядаються та проводиться аналіз характеристик двигунів різних систем збудження. Способи регулювання швидкості тягових двигунів постійного струму. Характеристики двигунів при зміні напруги. Вплив різних способів регулювання швидкості тягових двигунів постійного струму на «жорсткість» їхніх тягових характеристик.

Контрольні запитання до теми 4

1. Що є електромеханічними характеристиками на валу тягового двигуна і від чого залежить їх вид (форма)?

2. Що є електромеханічними характеристиками на ободі рухомого колеса і від яких конструктивних параметрів рухомого складу вони залежать?

3. Які види втрат потужності мають місце в двигуні постійного струму і від чого вони залежать?

4. Яким чином при розрахунку електромеханічних характеристик двигуна визначають суму його механічних і магнітних втрат?

5. Яким чином визначають втрати в механічній передачі тягового електроприводу?

6. Яким чином при розрахунку електромеханічних характеристик двигуна визначають значення магнітного потоку збудження?

7. Що являють собою основні і додаткові магнітні втрати тягового двигуна? Як враховують додаткові магнітні втрати при навантаженні двигуна?

8. Двигуни яких систем збудження можуть автоматично переходити в генераторний режим роботи (в режим рекуперативного гальмування) і чому?

9. Двигуни яких систем збудження мають «м'які» тягові характеристики і які - «жорсткі»?

10. Чим обумовлено відмінність в ступені жорсткості тягових характеристик двигунів послідовного і паралельного (незалежного) збудження?
11. Чому обмежується мінімальне навантаження двигуна послідовного збудження?
12. Назвіть способи регулювання швидкості тягових двигунів постійного струму.
13. Назвіть способи регулювання магнітного потоку тягових двигунів різних систем збудження.
14. Чи можливо регулювання швидкості тягових двигунів за допомогою зміни струму якоря (навантаження)?
15. Що називають коефіцієнтом регулювання збудження?
16. Яка залежність швидкості і сили тяги від напруги у тягових двигунів послідовного і змішаного збудження?
17. Як впливає на ККД тягових двигунів зниження напруги і ослаблення магнітного потоку?
18. Чому при незмінних умовах руху і ослабленні магнітного потоку збудження двигунів швидкість зростає, а при посиленні потоку швидкість знижується?
19. Чи відповідає значення коефіцієнта регулювання збудження ступеню ослаблення магнітного потоку?
20. Яке призначення індуктивного шунта?
21. Чим визначається допустима ступень ослаблення магнітного потоку тягових двигунів РС?
22. Як протікає процес зміни швидкості двигунів послідовного і змішаного збудження при зміні підведеної напруги?
23. Як протікає процес зміни швидкості при зменшенні МДС тягового двигуна послідовного збудження?
24. Перерахуйте основні вимоги, що пред'являються до тягових двигунів за умовами експлуатації рухомого складу на лінії.

25. Назвіть умови електричної і механічної стійкості роботи тягового двигуна.

26. Двигуни яких систем збудження електрично і механічно стійкі у всьому діапазоні навантажень і швидкостей?

27. Які двигуни електрично і механічно нестійкі?

28. При якому електричному з'єднанні тягових двигунів наслідки боксування колісної пари особливо небезпечні?

29. У якому співвідношенні знаходяться ЕРС, електромагнітні сили тяги і швидкості послідовно з'єднаних тягових двигунів?

30. Якої умови слід дотримуватися для забезпечення однакової швидкості руху всіх колісних пар моторного трамвайного вагона?

31. Двигуни яких систем збудження найменш і найбільш чутливі до коливань напруги в контактній мережі?

Тема 5 *Пуск та механічне гальмування електрорухомого складу.*

Розглядається процес пуску рухомого складу. Плавний реостатний пуск. Енергетика пуску. Ступінчатий реостатний пуск. Пускові діаграми. Розрахунок загального пускового опору для одночасного пуску декількох двигунів. Безреостатний пуск (тиристорно-імпульсне регулювання напруги на тягових машинах) Загальні відомості про механічне гальмування рухомого складу. Коефіцієнт тертя. Розрахунок гальмівної сили рухомого складу. Обмеження сили натискання колодок по зчепленню.

Контрольні запитання до теми 5

1. Які вимоги до пуску РС?
2. Що є коефіцієнтом пуску РС?
3. Яким чином можна зменшити втрати енергії в пускових реостатах?
4. Що являють собою коефіцієнти нерівномірності пуску по струму, по силі тяги, по прискоренню? В якому співвідношенні вони знаходяться?
5. Як вибирають максимальний пусковий струм?

6. Поясніть методику розрахунку і побудови діаграми ступеневої реостатного пуску РС.

7. Поясніть процес безреостатного пуску РС.

8. Які системи механічного гальмування застосовують на рухомому складі міського електротранспорту?

9. Чому на сучасних трамвайних вагонах не застосовуються колісно-колодкове гальмо?

10. Чому на трамвайних вагонах гальмівний барабан встановлюють на валу двигуна або на вхідному валу редуктора?

11. Від чого і яким чином залежить значення коефіцієнта тертя гальмівних колодок?

12. Що називають гальмівним коефіцієнтом рухомого складу?

13. Що називають коефіцієнтом натискання гальмових колодок?

14. Напишіть формулу розрахунку питомої гальмівної сили РС.

15. Чим обмежується сила натискання гальмівних колодок?

16. Які типи приводів механічних гальм застосовують на рухомому складі МЕТ?

17. Який вид мають гальмівні характеристики механічних гальм?

18. Яке умова стійкості руху РС при механічному гальмуванні на спуску?

19. Поясніть пристрій і принцип дії рейкового гальма.

Тема 6 *Електричне гальмування електрорухомого складу.*

Розглядається принцип електричного гальмування електрорухомого складу постійного струму з контакторно - реостатним керуванням. Механічна стійкість при гальмуванні на спусках. Реостатне гальмування при тягових машинах змішаного збудження. Рекуперативне гальмування. Електричне гальмування електрорухомого складу постійного струму з імпульсним керуванням.

Контрольні запитання до теми 6

1. Тягові машини яких систем збудження придатні для рекуперативного гальмування при реостатно-контакторному і імпульсному керуванні рухомого складу?
2. Яке умова стійкої роботи на мережу з постійною напругою генераторів постійного струму?
3. Завдяки якій властивості електричних машин можливе електричне гальмування?
4. Які переваги має електричне гальмування в порівнянні з механічним гальмуванням?
5. Які недоліки притаманні електричному гальмуванню?
6. Назвіть умови переходу тягового двигуна послідовного збудження у режим реостатного гальмування?
7. Назвіть умову електричної стійкості реостатного гальмування.
8. Як впливає величина гальмівного опору і швидкості на процес самозбудження генератора?
9. Назвіть способи прискорення процесу самозбудження машини при реостатному гальмуванні.
10. Чим обумовлено відмінність характеристик сили тяги і сили реостатного гальмування?
11. Який вид мають гальмівні характеристики реостатного гальмування?
12. Які обмеження накладають на гальмівні характеристики при реостатному гальмуванні?
13. Поясніть методику розрахунку гальмівних опорів.
14. Виходячи з яких міркувань вибирають межі коливань струму і середній гальмовий струм при реостатному гальмуванні з метою зупинки РСА?
15. Яким чином забезпечують стійку роботу і рівномірний розподіл навантажень між двигунами при реостатному гальмуванні?
16. Який недолік перехресної схеми включення тягових двигунів при реостатному гальмуванні?

17. Яким чином при тиристорно-імпульсному керуванні реостатне гальмування забезпечується сталістю середнього значення гальмівного струму?

Тема 7 *Характеристики електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами*

Переваги безколекторних тягових двигунів. Системи з напівпровідниковими перетворювачами. Регулює режими роботи, статична стійкість, особливості конструкції, електромагнітний розрахунок асинхронних тягових двигунів (АТД).

Контрольні запитання до теми 7

1. Назвіть переваги асинхронного тягового приводу.
2. У яких енергетичних режимах може працювати АТД?
3. Назвіть види керованих інверторів, які застосовуються в частотно-керованому асинхронному тяговому приводі.
4. Назвіть електромагнітні моменти, які в сталому режимі можуть мати місце в АТД.
5. З якою метою одночасно з частотою необхідно змінювати і підводиться до АТД напруга?
6. Дотримання якого умови забезпечує найбільш економічну роботу АТД?
7. Співвідношенням яких параметрів АТД забезпечується оптимальний режим його роботи?
8. Напишіть загальний закон економічного регулювання режимів роботи електрорухомого складу з АТД.
9. Назвіть умови статичної стійкості роботи АТД в різних зонах регулювання швидкостей руху ЕРС.
10. Назвіть особливості конструкції АТД.
11. Назвіть порядок проведення електромагнітного розрахунку АТД.
12. Назвіть порядок розрахунку характеристик АТД.

2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисциплін

Варіант 1

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції K_u , наведену масу $m_{пр}$ та еквівалентну масу m_e обертових частин тролейбусу, що має фізичну масу $m=9,5$ т силу тяги $F=11$ кН з прискоренням $a=1$ м/с².

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного підйому, який може подолати трамвайний вагон зі швидкістю $V=30$ км/год, при коефіцієнті зчеплення коліс з рейками $\Psi=0,16$.

Варіант 2

Завдання 1 Визначити наведену масу $m_{пр}$, фізичну масу m , вагу G та коефіцієнт інерції обертових частин K_u , моторного вагона, що має еквівалентну масу обертових частин $m_e=2,5$ т і рухається під дією прискорення сили $F=30$ кН з прискоренням $a = 1,2$ м/с

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного підйому, на якому можливе зрушення з місця ($V=0$ км/год) трамвайного вагона с прискоренням $a_0=0,4$ м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс з рейками $\Psi=0,16$, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,14$.

Варіант 3

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції K_u еквівалентну масу m_e обертових частин трамвайного рухомого складу, що складається з моторного вагона масою $m_M=16$ т і двох причіпних вагонів, кожен з яких має масу $m_n=10$ т. Коефіцієнт інерції обертових частин моторного і причіпних вагонів прийняти рівними 1,12 і 1,08 відповідно.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального підйому, який може подолати тролейбус типу зі швидкістю $V=30$ км/год, при коефіцієнті зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi =0,35$.

Варіант 4

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції обертових частин причіпного чотиривісного вагона, якщо його маса $m=14$ т, а маса однієї колісної пари $m_B=0,45$ т. Середнє значення відношення радіуса інерції колісної пари до радіусу коліс прийняти рівним $r_B/R_B=0.75$

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального підйому, на якому можливе зрушення з місця ($V=0$ км/год) тролейбусу з прискоренням $a_0=0,3$ м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi =0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин тролейбусу $1+\gamma=1,15$.

Варіант 5

Завдання 1 Визначити передавальне число редуктора моторного трамвайного вагона, якщо його фізична маса $m=28$ т, коефіцієнт інерції обертових частин $K_u=1 + \gamma=1,14$, маса однієї колісної пари $m_k=0,45$ т, маса якоря тягового двигуна і пов'язаних з ним елементів редуктора $m_{я}=0,1$ т, середнє значення відносин радіусів інерції колісної пари r_k і якоря $r_{я}$ до радіусу коліс R_k відповідно рівні: $r_k / R_k=0.75$, $r_{я} / R_{к5}=0,4$.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного підйому, який може подолати трамвайний вагон зі швидкістю $V=30$ км/год, при коефіцієнті зчеплення коліс з рейками $\Psi =0.16$.

Варіант 6

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції K_u наведену масу $m_{пр}$ та еквівалентну масу m_e обертових частин тролейбусу, що має фізичну масу $m= 9,5$ т і рухається під дією сили $F=11$ кН з прискоренням $a = 1$ м/с²

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного підйому, на якому можливе зрушення з місця ($V=0$ км/год) трамвайного вагона с прискоренням $a_0=0,4$ м / с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс з рейками $\Psi=0,16$, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,14$.

Варіант 7

Завдання 1 Визначити наведену масу $m_{пр}$, фізичну масу m , вагу G і коефіцієнт інерції обертових частин K_u моторного вагона, що має еквівалентну масу обертових частин $m_e=2,5$ т і рухається під дією сили $F=30$ кН з прискоренням $a=1,2$ м/с².

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального підйому, який може подолати тролейбус зі швидкістю $V=30$ км/год при коефіцієнті зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi=0,35$.

Варіант 8

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції K_u і еквівалентну масу m_e обертаючих частин трамвайного рухомого складу, що складається з моторного вагона масою $m_M=16$ т і двох причіпних вагонів, кожен з яких має масу $m_n=10$ т. Коефіцієнт інерції обертових частин моторного і причіпних вагонів прийняти відповідно рівними 1,12 і 1,08.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального підйому, на якому можливе зрушення з місця ($V=0$ км/год) тролейбусу з прискоренням $a_0=0,3$ м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\mu=0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин тролейбусу $1+\mu=1,15$.

Варіант 9

Завдання 1 Визначити коефіцієнт інерції обертових частин причіпного чотиривісного вагона, якщо його маса $m=14$ т, а маса однієї колісної пари $m_B=0,45$ т. Середнє значення відношення радіуса інерції колісної пари до радіусу коліс прийняти рівним $r_B/R_B=0,75$

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного підйому, який може подолати трамвайний вагон зі швидкістю $V=30$ км/год, при коефіцієнті зчеплення коліс з рейками $\Psi=16$.

Варіант 10

Завдання 1 Визначити передавальне число редуктора моторного трамвайного вагона, якщо його фізична маса $m=28$ т, коефіцієнт інерції

оберткових частин $K_u=1 + \gamma=1,14$, маса однієї колісної пари $m_k=0,45$ т, маса якоря тягового двигуна і пов'язаних з ним елементів редуктора $m_j=0,1$ т, середнє значення відносин радіусів інерції колісної пари r_k і якоря r_j до радіусу коліс R_k відповідно рівні: $r_k/R_k=0.75$, $r_j/R_k=0.75$

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального підйому, який може подолати тролейбус зі швидкістю $V=30$ км/год, при коефіцієнті зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi=0,35$.

Варіант 11

Завдання 1 Визначити гальмівну силу B , при якій моторний трамвайний вагон масою $m=25$ т на спуску з ухилом $i=-50\%$ буде рухатися з найбільшою припустимою швидкістю $V_{\max,i}=25$ км/ч.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального спуску, на якому тролейбус в режимі електричного гальмування рухатиметься рівномірно зі швидкістю $V=10$ км/год, якщо коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi=0,35$, коефіцієнт інерції оберткових частин $1+\gamma=1,12$.

Варіант 12

Завдання 1 Визначити, на спуску якої крутизни трамвайний вагон масою $m=25,5$ т буде рухатися з постійною швидкістю, якщо сума гальмівної сили основного опору руху $B+W_o=10$ кН.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального прямолінійного спуску, на якому можна загальмувати трамвайний вагон при електричному гальмуванні з уповільненням 1 м/с² якщо коефіцієнт зчеплення з рейками $\Psi=0,15$, коефіцієнт оберткових частин вагона $1+\gamma=1,12$.

Варіант 13

Завдання 1 Визначити, на спуску якої крутизни моторний трамвайний вагон масою 25 т буде рухатися з постійною швидкістю $V=15$ км/год, якщо гальмівна сила $B=20$ кН.

Завдання 2 Визначити величину припустимого максимального криволінійного спуску, на якому трамвайний вагон в режимі електричного гальмування буде рухатися рівномірно зі швидкістю $V=10$ км/год, якщо коефіцієнт зчеплення коліс з рейками $\Psi=0,15$, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,12$, радіус кривизни спуску $R_{кр}=150$ м.

Варіант 14

Завдання 1 Визначити додатковий опір руху W_d трамвайного вагона масою 24 т при русі на криволінійному узвозі з ухилом $i= - 10\%$ і радіусом кривизни $R_{кр}=150$ м.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального спуску, на якому тролейбус рухатиметься при електричному гальмуванні з уповільненням 1 м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс з полотном дороги $\Psi=0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин $1+\gamma=1,12$.

Варіант 15

Завдання 1 Для тролейбусу масою 15 т визначити опір руху від ухилу довжиною $l=500$ м з висотами на початку і в кінці відповідно $h_n=2$ м і $h_k=12$ м. Визначити також збільшення потенційної енергії рухомого складу в кінці підйому.

Завдання 2 Визначити величину припустимого по зчепленню максимального спуску, на якому тролейбус в режимі електричного гальмування рухатиметься рівномірно зі швидкістю $V=10$ км/год, якщо коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям $\Psi=0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин $1+\gamma=1,12$.

Варіант 16

Завдання 1 Визначити повний опір руху для трамвайного вагона масою 25 т при русі в режимі тяги на криволінійному підйомі з ухилом $i=20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр}=150$ м зі швидкістю $V=20$ км/год.

Завдання 2 Визначити найбільшу допустиму по зчепленню силу натягу на одну гальмівну колодку барабанного гальма тролейбуса, якщо коефіцієнт

натискання гальмівних колодок $\delta=2$, діаметр гальмівного барабана $D_6=400$ мм, діаметр рушійного колеса $D_k=1070$ мм, вага тролейбуса $G=150$ кН.

Варіант 17

Завдання 1 Визначити потужність механічних втрат в тяговому двигуні і механічній передачі тролейбуса при швидкості руху $V=30$ км / ч. Маса тролейбуса $m=15$ т.

Завдання 2 Визначити гальмівну силу B , створювану тяговим двигуном послідовного збудження при реостатному гальмуванні, якщо при струмі якоря $I_T=200$ А і швидкості $V=20$ км / год електрорушійна сила якоря $E=600$ В. Сумарні магнітні і механічні втрати в двигуні і передачі $P_T\Delta=(\Delta P_M+\Delta P_{MX}+\Delta P_3)=4$ кВт.

Варіант 18

Завдання 1 Визначити сталу швидкість руху моторного трамвайного вагона в режимі вибігу на прямолінійному спуску з ухилом $i = -13\%$.

Завдання 2 Визначити рівнодіючу (сумарну) гальмівну силу тролейбуса масою $m=15$ т, якщо при русі на спуску з ухилом $i = -20\%$ при швидкості $V=30$ км/год струм якоря двигуна, що працює в режимі реостатного гальмування, $I_T=350$ А, ЕРС $E=800$ В, сумарні магнітні і механічні втрати в двигуні і передачі $P_T\Delta=(\Delta P_M+\Delta P_{MX}+\Delta P_3)=5$ кВт.

Варіант 19

Завдання 1 Визначити сталу швидкість руху тролейбуса в режимі вибігу на спуску з ухилом $i = -19\%$.

Завдання 2 Визначити найбільшу допустиму по зчепленню силу натискання K_{max} на одну гальмівну колодку барабанного гальма трамвайного вагона, якщо коефіцієнт натискання гальмівних колодок $\delta=0,6$, передавальне число редуктора $\mu=7,143$, діаметр рушійного колеса $D_k=0,7$ м, діаметр гальмівного барабана $D_6=200$ мм, ККД механічної передачі (редуктора) $\eta_3=0,96$, маса вагона $m=25$ т, число притискаються до гальмівного барабану колодок $n=2$.

Варіант 20

Завдання 1 Визначити сталу швидкість руху моторного трамвайного вагона в режимі вибігу на криволінійному спуску з ухилом $i = -20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр} = 450$ м.

Завдання 2 В номінальному режимі роботи ЕРС якоря тягового двигуна $E_{ном} = 0,9 \cdot U_{ном}$. Визначити, як зміниться струм якоря I і електромагнітний момент $M_{ем}$ двигуна по відношенню до їх номінальних значень $I_{ном}$ і $M_{ем.ном}$, але якщо магнітний потік зменшиться до значення $\Phi = 0,8 \cdot \Phi_{ном}$, а частота обертання (швидкість руху) залишиться колишньою, рівною номінальному значенню ($n = n_{ном} = const$).

Варіант 21

Завдання 1 Визначити повний опір руху для тролейбусу масою 15 т при русі в режимі тяги на підйомі з ухилом $i = 10\%$ зі швидкістю $V = 30$ км/год.

Завдання 2 Два однакових тягових двигуна відповідно до своїх характеристик при $U = U_{ном} = 275$ В і $I = I_{ном} = 250$ А мають частоти обертання 1430 і 1480 об/хв. Яка буде частота обертання двигунів при їх послідовному включенні до напруги контактної мережі $U_k = 550$ В і струмі навантаження $I = I_{ном} = 250$ А? В якому співвідношенні будуть знаходитися їх ЕРС і електромагнітні моменти (сили тяги)?

Варіант 22

Завдання 1 Визначити питому силу електричного гальмування, при якій трамвайний вагон при русі на криволінійному спуску з ухилом $i = -20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр} = 75$ м не перевищить максимально допустиму швидкість $V_{мах.кр} = 20$ км/год.

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{ном} = 150$ кВт, $U_{ном} = 550$ В, $n_{ном} = 1860$ об/хв, опір двигуна при 115°C $r_{115} = 0,12$ Ом, номінальний ККД $\eta_{ном} = 91\%$. Як зміниться струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , корисна потужність на валу P , частота обертання n і ККД якщо напруга знизиться на 20%, а момент на валу двигуна залишиться колишнім (не зміниться). Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM злегковажити.

Варіант 23

Завдання 1 Визначити пускову силу тяги трамвайного вагона і тролейбусу в момент рушання ($V=0$) на прямолінійному підйомі з ухилом $i=2\%$, якщо пускове прискорення $a_{\text{п}}=0,4 \text{ м/с}^2$. Вага трамваю 250 кН , наведена маса $28,6 \text{ т}$. Вага тролейбусу 180 кН , наведена маса 21 т .

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}}=45 \text{ кВт}$, $U_{\text{ном}}=300 \text{ В}$, $n_{\text{ном}}=1750 \text{ об/хв}$, опір двигуна $r_{115}=0.152 \text{ Ом}$, число паралельних гілок обмотки якоря $2a=2$, число пар полюсів $p=2$, число провідників обмотки якоря $N=290$, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=91\%$. Визначити струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу частоту обертання і ККД двигуна при зниженні напруги на 25% і незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM знехтувати.

Варіант 24

Завдання 1 Визначити прискорення трамвайного вагону і тролейбусу на прямолінійній ділянці колії, якщо при швидкості $V=50 \text{ км/год}$ сила тяги $F=5000 \text{ Н}$. Вага трамваю $G=250 \text{ кН}$, наведена маса $m_{\text{н}}=28,6 \text{ т}$. Вага тролейбусу $G=150 \text{ кН}$, наведена маса $m_{\text{н}}=17,5 \text{ т}$.

Завдання 2 Визначити силу тяги F моторного трамвайного вагона, якщо потужність на валу тягового двигуна $P=40 \text{ кВт}$, частота обертання $p=1200 \text{ об/хв}$, передавальне число редуктора $\mu=7,17$, коефіцієнт корисної дії $\eta_3=0,96$, діаметр рушійних коліс $D_{\text{к}}=0,7 \text{ м}$.

Варіант 25

Завдання 1 Визначити величину прискорення трамвайного вагона в момент зрушення з місця ($V=0 \text{ км/год}$) на криволінійній спуску з ухилом $i=-2\%$ і радіусом кривизни $R_{\text{кр}}=90 \text{ м}$, якщо пускова сила тяги $F_{\text{п}}=10 \text{ кН}$. вага трамваю $G=250 \text{ кН}$, наведена маса $m_{\text{н}}=28,6 \text{ т}$.

Завдання 2 Задані характеристики швидкості $V(I)$ і сили тяги $F_{\text{к}}(I)$ двигуна, відповідні діаметру ведучого колеса $D_{\text{к}}=0,7 \text{ м}$ і передавальному числу

редуктора $\mu=7,143$, перерахувати на діаметр ведучого колеса $D_{к1}=0,68$ м і передавальне число $\mu=6,71$.

Характеристики $V(I) F_k(I)$ задані у вигляді таблиці.

I, А	100	200	250	300
V, км/год	56	33,5	28,5	26,5
F_k Н	3500	8000	10250	12500

Задані і отримані характеристики побудувати в загальних осях координат.

Варіант 26

Завдання 1 Визначити величину гальмівного уповільнення a_T в момент початку механічного гальмування трамвайного вагона на прямолінійному спуску з ухилом $i = -5\%$., Якщо гальмівна сила $B=20$ кН, вага вагона $G=235$ кН, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+y=1,12$, швидкість початку гальмування $V=30$ км/год

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{ном} = 45$ кВт, $U_{ном} = 300$ В, $n_{ном} = 1750$ об/хв, опір двигуна $r_{115} = 0.152$ Ом, число паралельних гілок обмотки якоря $2a=2$, число пар полюсів $p=2$, число провідників обмотки якоря $N=290$, номінальний ККД $\eta_{ном} = 91\%$. Визначити струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу P , частоту обертання n і ККД двигуна при зниженні напруги на 25% і незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM злегковажити.

Варіант 27

Завдання 1 Визначити пускову силу тяги $F_{п}$ трамвайного вагону і тролейбусу в момент зрушення з місця ($V=0$) на прямолінійної ділянці з ухилом $i = -2\%$., якщо початкове значення пускового прискорення $a_0 = 0,3$ м/с². Вага трамваю 220 кН, тролейбусу - 150 кН, коефіцієнт інерції обертових частин трамваю і тролейбусу $1+y=1,12$.

Завдання 2 В номінальному режимі роботи ЕРС якоря тягового двигуна $E_{ном} = 0,9 * U_{ном}$. Визначити, як зміниться струм якоря I і електромагнітний момент $M_{ем}$ двигуна по відношенню до їх номінальних значень $I_{ном}$ і $M_{ем.ном}$, якщо

магнітний потік зменшиться до значення $\Phi = 0,8 \cdot \Phi_{\text{ном}}$, а частота обертання (швидкість руху) залишиться колишньою, рівної номінальному значенню ($n = n_{\text{ном}} = \text{const}$).

Варіант 28

Завдання 1 Визначити, чи можливо зупинити трамвайний вагон на прямолінійній ділянці з ухилом $i = -100\%$, якщо гальмівна сила вагона $B = 20$ кН, швидкість початку гальмування $V_T = 30$ км / ч. Вага вагона $G = 240$ кН, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1 + \gamma = 1,12$.

Завдання 2 Визначити потужність механічних втрат в тяговому двигуні і механічній передачі тролейбусу при швидкості руху $V = 30$ км/год. Маса тролейбусу $m = 15$ т.

Варіант 29

Завдання 1 При механічному гальмуванні на прямолінійному спуску з ухилом $i = -39,5\%$ трамвайний вагон рухається зі сталою швидкістю $V_y = 10$ км/год. Визначити величину гальмівної сили вагону, якщо його вага $G = 235$ кН.

Завдання 2 Визначити потужність механічних втрат в тягових двигунах і механічних передачах (редукторах) моторного трамвайного вагона, який має масу $m_B = 28$ т і рухається зі швидкістю $V = 30$ км / год.

Варіант 30

Завдання 1 Визначити, при якому значенні коефіцієнта зчеплення ψ буде неможлива реалізація гальмівної сили $B = 29$ кН, що розвивається при електричному гальмуванні трамвайного вагона вагою $G = 235$ кН.

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}} = 45$ кВт, $U_{\text{ном}} = 300$ В, $n_{\text{ном}} = 1750$ об/хв, опір двигуна $r = 0,152$ Ом, число паралельних гілок обмотки якоря $2a = 2$, число пар полюсів $p = 2$, число провідників обмотки якоря $N = 290$, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}} = 91\%$. Визначити струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу P , частоту обертання n і ККД двигуна при зниженні напруги на 25% і

незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM злегковажити.

Варіант 31

Завдання 1 Визначити величину гальмівного уповільнення a_r в момент початку механічного гальмування трамвайного вагону на прямолінійному спуску з ухилом $i = -5\%$, Якщо гальмівна сила $B=20$ кН, вага вагону $G=235$ кН, коефіцієнт інерції обертових частин вагону $1+\gamma=1,12$, швидкість початку гальмування $V_r=30$ км/год

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{ном}=150$ кВт, $U_{ном}=550$ В, $n_{ном}=1860$ об/хв, опір двигуна при 115°C $r_{115^\circ}=0,12$ Ом, номінальний ККД $\eta_{ном}=91\%$. Як зміниться струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , корисна потужність на валу, частота обертання n і ККД η , якщо напруга знизиться на 20%, а момент на валу двигуна залишиться колишнім (не зміниться). Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM знехтувати.

Варіант 32

Завдання 1 Визначити пускову силу тяги $F_{п}$ трамвайного вагону і тролейбуса в момент зрушення з місця ($V=0$ км/год) на прямолінійному з ухилом $i = -2\%$ якщо початкове значення пускового прискорення $a_{нач}=0,3$ м/с². Вага трамвая 220 кН, тролейбуса - 150 кН, коефіцієнт інерції обертових частин трамвая і тролейбуса $1+\gamma=1,12$.

Завдання 2. Два тягових двигуна відповідно до своїх характеристик при $U=U_{ном}=275$ В і $I=I_{ном}=250$ А мають частоти обертання 1430 і 1480 об/хв. Яка буде частота обертання двигунів при їх послідовному включенні до напруги контактної мережі $U_k=550$ В і струмі навантаження $I=I_{ном}=250$ А? В якому співвідношенні будуть знаходитися їх ЕРС і електромагнітні моменти (сили тяги)?

Варіант 33

Завдання 1 Визначити, чи можливо зупинити трамвайний вагон на прямолінійній ділянці з ухилом $i = 100\%$, якщо гальмівна сила вагону $B=20$ кН, швидкість початку гальмування $V_T=30$ км / ч. Вага вагона $G=240$ т, коефіцієнт інерції обертових частин вагону $1+y=1,12$.

Завдання 2 В номінальному режимі роботи ЕРС якоря тягового двигуна $E_{ном}=0,9*U_{ном}$ Визначити, як зміниться струм якоря I і електромагнітний момент $M_{ем}$ двигуна по відношенню до їх номінальних значень $I_{ном}$ і $M_{ем,ном}$, але якщо магнітний потік зменшиться до значення $\Phi=0,8*\Phi_{ном}$, а частота обертання (швидкість руху) залишиться колишньою, рівної номінальному значенню ($n=n_{ном}=const$).

Варіант 34

Завдання 1 При механічному гальмуванні на прямолінійному спуску з ухилом $i=-39,5\%$ трамвайний вагон рухається зі сталою швидкістю $V_y=10$ км/год. Визначити величину гальмівної сили вагону, якщо його вага $G=235$ кН.

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{ном}=45$ кВт, $U_{ном}=300$ В, $n_{ном}=1750$ об/хв, опір двигуна $r=0.152$ Ом, число паралельних гілок обмотки якоря $2a=2$, число пар полюсів $p=2$, число провідників обмотки якоря $N=290$, номінальний ККД $\eta_{ном}=91\%$ Визначити струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу частоту обертання n і ККД двигуна η при зниженні напруги на 25% і незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM злегковажити.

Варіант 35

Завдання 1 Визначити, при якому значенні коефіцієнта зчеплення буде неможлива реалізація гальмівної сили $B=29$ кН, що розвивається при електричному гальмуванні трамвайного вагона вагою $G=235$ кН.

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{ном}=150$ кВт, $U_{ном}=550$ В, $n_{ном}=1860$ об/хв, опір двигуна

при $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ $r_{115}=0.12\text{ Ом}$, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=91\%$. Як зміниться струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , корисна потужність на валу P , частота обертання і ККД якщо напруга знизиться на 20% , а момент на валу двигуна залишиться колишнім (зміниться). Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM знехтувати.

Варіант 36

Завдання 1 Для тролейбусу масою 15 т визначити опір руху від ухилу довжиною $l=500\text{ м}$ з висотами на початку і в кінці відповідно $h_{\text{н}}=2\text{ м}$ і $h_{\text{к}}=12\text{ м}$. Визначити також збільшення потенційної енергії рухомого складу в кінці підйому.

Завдання 2 Задані характеристики швидкості $V(I)$ і сили тяги $F_{\text{к}}(I)$ двигуна, відповідні діаметру ведучого колеса $D_{\text{к}}=0,7\text{ м}$ і передавальному числу редуктора $\mu=7,143$, перерахувати на діаметр ведучого колеса $D_{\text{к1}}=0,68\text{ м}$ і передавальне число $\mu=6,71$.

Характеристики $V(I)$ і $F_{\text{к}}(I)$ задані у вигляді таблиці.

$I, \text{ А}$	100	200	250	300
$V, \text{ км/год}$	56	33,5	28,5	26,5
$F_{\text{к}} \text{ Н}$	3500	8000	10250	12500

Задані і отримані характеристики побудувати в загальних осях координат.

Варіант 37

Завдання 1 Визначити додатковий опір руху W доп трамвайного вагону масою 24 т при русі на криволінійному спуску з ухилом $i=-10\%$ і радіусом кривизни $R_{\text{кр}}=150\text{ м}$.

Завдання 2 Визначити силу тяги F моторного трамвайного вагону, якщо потужність на валу тягового двигуна $P=40\text{ кВт}$, частота обертання $n=1200\text{ об/хв}$, передаточне число редуктора $\mu=7,17$, коефіцієнт корисної дії $\eta_3=0,96$, діаметр рушійних коліс $D_{\text{к}}=0,7\text{ м}$.

Варіант 38

Завдання 1. Визначити, на спуску якої крутизни моторний трамвайний вагон типу КТМ-5М масою 25 т буде рухатися з постійною швидкістю $V=15\text{ км/год}$, якщо гальмівна сила $B=20\text{ кН}$.

Завдання 2. Тяговий двигун послідовного збудження ТЕ-022 має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}}=45$ кВт, $U_{\text{ном}}=300$ В, $n_{\text{ном}}=1750$ об/хв, опір двигуна $r_{115^*}=0.152$ Ом, число паралельних гілок обмотки якоря $2a=2$, число пар полюсів $p=2$, число провідників обмотки якоря $N=290$, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=91\%$.

Визначити струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу P , частоту обертання n і ККД двигуна при зниженні напруги на 25% і незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM злегковажити.

Варіант 39

Завдання 1 Визначити, на спуску якої крутизни трамвайний вагон масою $m=25,5$ т буде рухатися з постійною швидкістю, якщо сума гальмівної сили основного опору руху $B + W_0=10$ кН.

Завдання 2 Тяговий двигун послідовного збудження має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}}=150$ кВт, $U_{\text{ном}}=550$ В, $n_{\text{ном}}=1860$ об/хв, опір двигуна при 115 °С $r_{115^*}=0.12$ Ом, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=91\%$. Як зміниться струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , корисна потужність на валу P , частота обертання n і ККД η , якщо напруга знизиться на 20%, а момент на валу двигуна залишиться колишнім (не зміниться). Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM знехтувати.

Варіант 40

Завдання 1 Визначити гальмівну силу v , при якій моторний трамвайний вагон масою $m=25$ т на спуску з ухилом $i=-50\%$ буде рухатися з найбільшою припустимою швидкістю $V_{\text{max},i}=25$ км/год.

Завдання 2 Два тягових двигуна відповідно до своїх характеристик при $U=U_{\text{ном}}=275$ В і $I=I_{\text{ном}}=250$ А мають частоти обертання 1430 і 1480 об/хв. Яка буде частота обертання двигунів при їх послідовному включенні до напруги контактної мережі $U_k=550$ В і струмі навантаження $I=I_{\text{ном}}=250$ А? В якому співвідношенні будуть знаходитися їх ЕРС і електромагнітні моменти (сили тяги)?

Варіант 41

Завдання 1 Визначити потужність механічних втрат в тягових двигунах і механічних передачах (редукторах) моторного трамвайного вагону, який має масу $m_b=28$ т і рухається зі швидкістю $V=30$ км/год

Завдання 2 В номінальному режимі роботи ЕРС якоря тягового двигуна $E_{ном}=0,9*U_{ном}$ - Визначити, як зміниться струм якоря I і електромагнітний момент $M_{ем}$ двигуна по відношенню до їх номінальних значень $I_{ном}$ і $M_{ем.ном}$, але якщо магнітний потік зменшиться до значення $\Phi=0,8*\Phi_{ном}$, а частота обертання (швидкість руху) залишиться колишньою, рівної номінальному значенню ($n=n_{ном}=const$).

Варіант 42

Завдання 1 Визначити найбільшу по зчепленню гальмівну силу тролейбусу з пасажирями і без пасажирів. Маса тролейбуса $m_b=9,5$ т, місткість 125 людина, середня маса пасажиря 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,35$.

Завдання 2 Визначити найбільшу допустиму по зчепленню силу натискання K_{max} на одну гальмівну колодку барабанного гальма трамвайного вагону, якщо коефіцієнт натискання гальмівних колодок $\delta=0,6$, передавальне число редуктора $\mu=7,143$, діаметр рушійного колеса $D_k=0,7$ м, діаметр гальмівного барабана $D_\delta=200$ мм, ККД механічної передачі (редуктора) $\eta_z=0,96$, маса вагона $m=25$ т, число притискається до гальмівного барабану колодок $n=2$.

Варіант 43

Завдання 1 Визначити найбільшу допустиму по зчепленню гальмівну силу трамвайного вагону з пасажирями і без пасажирів. Маса тари вагону $m_b=18$ т, місткість 140 осіб, середня маса пасажиря 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,16$.

Завдання 2 Визначити рівнодіючу (сумарну) гальмівну силу тролейбусу масою $m=15$ т, якщо при русі на спуску з ухилом $i=-20\%$ при швидкості $V=30$ км/год струм якоря двигуна, що працює в режимі реостатного гальмування, $I_T=350$ А, ЕРС $E=800$ В, сумарні магнітні і механічні втрати в двигуні і передачі $P_{Т\Delta}=(\Delta P_M+\Delta P_{мх}+\Delta P_3)=5$ кВт.

Варіант 44

Завдання 1 Визначити найбільшу силу тяги тролейбусу з пасажирями і без пасажирів, що реалізується без боксування коліс. Маса тролейбусу $m_b=9,5$ т, місткість 125 чоловік, середня маса пасажиря 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,35$.

Завдання 2 Визначити гальмівну силу B , створювану тяговим двигуном послідовного збудження при реостатному гальмуванні, якщо при струмі якоря $I_T=200$ А і швидкості $V=20$ км/год електрорушійна сила якоря $E=600$ В. сумарні магнітні і механічні втрати в двигуні і передачі $P_T\Delta=(\Delta P_M+\Delta P_{MX}+\Delta P_Z)=4$ кВт.

Варіант 45

Завдання 1 Визначити найбільшу силу тяги трамвайного вагону с пасажирями і без пасажирів, що реалізується без боксування коліс. Маса тари вагона $m_b=18$ т, місткість 140 осіб, середня маса пасажиря 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,16$.

Завдання 2 Визначити найбільшу допустиму по зчепленню силу на одну гальмівну колодку барабанного гальма тролейбусу, якщо коефіцієнт натискання гальмівних колодок $\delta=2$, діаметр гальмівного барабана $D_6=400$ мм, діаметр рушійного колеса $D_k=1070$ мм, вага тролейбуса $G=150$ кН.

3 Організація проведення практичних занять з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

Практичні заняття мають наступні мети:

- удосконалення та закріплення знань, отриманих студентами на лекційних заняттях;
- оволодіння студентами певними вміннями та навичками вирішення завдань та виконання розрахунків;
- допомога студентам своєчасно і якісно виконати графічно-розрахункову роботу.

Практичні заняття проводяться паралельно з лекційними заняттями та виконанням розрахунково-графічної роботи.

3.1 Теми практичних занять

Тема 1 *Розрахунок і побудова залежності сили тяги по зчепленню від швидкості*

Теоретичні відомості

У процесі руху рухомого складу на нього діють різні внутрішні і зовнішні сили. Як відомо з механіки, внутрішні сили врівноважуються всередині системи і не впливають на її рух. На характер поступального руху системи впливають тільки зовнішні сили або їх складові, спрямовані по ходу руху або в протилежну сторону.

Зовнішні сили, що діють на механічну систему рухомого складу, є:

- сила тяги F_k , що розвивається рухомим складом;
- гальмівна сила B_T , що виникає при включенні гальм;
- сили опору руху W , до яких відносять усі інші зовнішні сили.

Силу тяги і гальмівні сили називають керованими, так як їх може регулювати водій. На сили опору руху водій впливати не може, тому їх називають некерованими.

Сила тяги спрямована по руху рухомого складу, гальмівна сила діє в протилежному напрямку. Сили опору, як правило, також діють проти руху. Виняток становить випадок руху по спуску.

При проходженні струму по обмотках тягових електродвигунів на електрорухомому складі виникає крутний момент за рахунок взаємодії струму в провідниках обмотки якоря з магнітним потоком, створюваним котушками головних полюсів. Він передається на колісну пару через зубчасту передачу (редуктор). Однак даного крутного моменту недостатньо для створення сили тяги. Виникаючі при цьому сили є внутрішніми щодо рухомого складу і не можуть викликати його поступального руху.

Для початку поступального руху необхідно за рахунок дії внутрішніх сил викликати зовнішні сили за рахунок зчеплення коліс з рейками.

Порядок виконання роботи:

1. Вивчити етапи виникнення сили тяги на ободі колеса.
2. З'ясувати залежність сили тяги і сили зчеплення колеса з рейкою.
3. Розрахувати залежність сили тяги від коефіцієнта зчеплення.
4. Вивчити фактори, що впливають на коефіцієнт зчеплення.
5. Побудувати залежність.

Тема 2 Спрявлення профілю шляху

Теоретичні відомості

Під випрявлення профілю колії розуміють заміну кількох, поруч розташованих елементів профілю колії з різними довжинами і ухилами одним випрявлення ділянкою (елементом) з еквівалентною довжиною і ухилом.

Довжина випрявлення елемента розраховується за формулою:

$$S_c = S_1 + S_2 + \dots + S_n, \text{ м}$$

де S_1, S_2 і т.д – довжини елементів, що входять в ділянку.

Ухил елемента, що необхідно спрямувати знаходиться за формулою:

$$i_c = \frac{(i_1 \cdot S_1 + i_2 \cdot S_2 + \dots + i_n \cdot S_n)}{S_c}$$

де i_1, i_2 і т.д – ухили елементів, що входять до ділянки, яку необхідно спрямити.

Після спроби випрявлення необхідно провести обов'язкову перевірку кожного елемента, що входить до ділянки. Перевірка проводиться за формулою:

$$S_i \leq \frac{2000}{i_c - i_i}$$

де i – номер кожного елемента, що входять до випрявлення ділянки.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити етапи проведення випрямлення і приведення профілю колії.
2. Провести випрямлення профілю.
3. Провести перевірку можливості випрямлення.
4. Провести розрахунки приведення профілю колії.
5. Звести дані в таблицю, розрахувати приведенний ухил і наведену довжину кожного елемента.

Таблиця 1 – Розрахунок профілю ділянки

Завдання	Вид елемента	№ елемента ділянки							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Завдання	$S, \text{м}$								
	$i, \text{‰}$								
	Крива	X							X
		Нові елементи							
Розрахунковий профіль	$S, \text{м}$								
	$i', \text{‰}$								
	$i'', \text{‰}$	X							X
Підсумковий профіль	$S, \text{м}$								
	$i_c, \text{‰}$								

Випрямлення профілю виконується в три етапи:

1. Об'єднання елементів профілю і перевірка кожного нового об'єданого елемента на можливість об'єднання.
2. Визначення еквівалентних підйомів для кожної кривої на елементах.
- 3 Розрахунок підсумкового профілю

Для випрямлення профілю – необхідно об'єднати кілька елементів в один за такими принципами:

- станційні елементи з прилеглим – не об'єднуються;
- підйоми об'єднуються з підйомами ($i > 0$);

- спуски об'єднуються зі спусками ($i < 0$);
- майданчики можна об'єднувати з будь-якими елементами;
- керівний підйом (найбільший за величиною) не об'єднується з жодним елементом.

Всі розрахунки, які виконуються в роботі, наводяться повністю, без скорочень.

На міліметрівці необхідно побудувати різними кольорами лініями вихідний і підсумковий профіль в масштабі, приймаючи: 1 метр зміни висоти шляху = 5мм; 1 км шляху = 20 мм.

На графіку вкажіть вихідний і підсумковий профіль (таблиця внизу), значення висот щодо першого елемента а в вигляді:

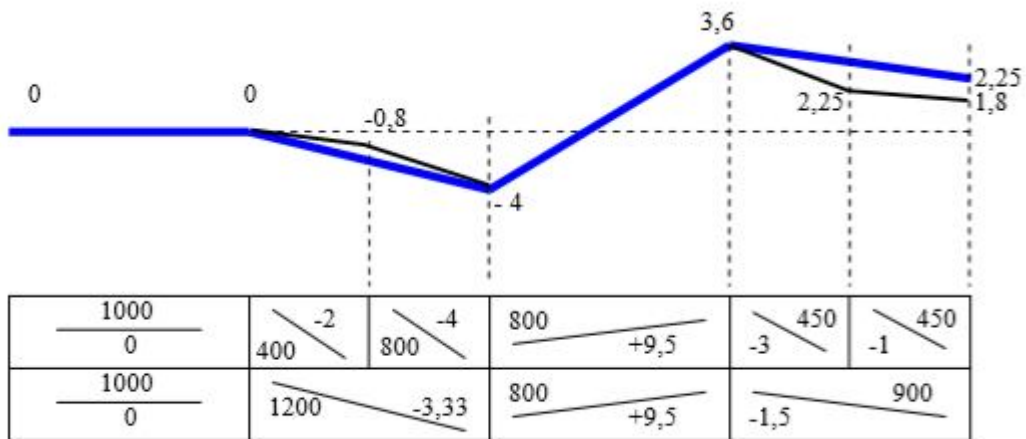


Рисунок 1 – Профіль ділянки шляху

Таблиця 2 – Варіант завдання

№ вар	Хар-ки ел-ту	Номер елемента							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	S,м/ i,% Крива	1000/0	500/-1	500/-1,5 R1000/Скр500	1000/-1 R500/Скр800	3000/+8	1500/+3	1500/+2	1500/0
2	S,м/ i,% Крива	1500/0	1000/0 25°	800/+1.5 35°	1200/+1	2500/+7	500/+1	1500/+2	1000/0
3	S,м/ i,% Крива	2000/0	1500/-3 R400/Скр900	1800/-3	2800/+9	1200/+2	1000/+3	1200/+1 R600/Скр800	1500/0
4	S,м/ i,% Крива	1000/0	1400/+2 10°	1600/0 15°	1500/+2 25°	3000/+8.5	1400/-3	1600/-2	2000/0
5	S,м/ i,% Крива	1500/0	500/-1	1400/-3	600/-2	3000/+7.5	1400/-3 20°	1600/-1 10°	1000/0
6	S,м/ i,% Крива	1200/0	800/+1	700/0 R800/Скр600	800/+1 R400/Скр700	2900/+7.5	1100/+3	1000/+4	1500/0
7	S,м/ i,% Крива	1400/0	1600/+4	1400/+5	500/+3	3100/+10	900/-6 R500/Скр800	1100/-5 R1000/Скр900	1200/0
8	S,м/ i,% Крива	1100/0	900/-5 15°	1200/-2 25°	800/-3 10°	3200/+9.5	800/+2	900/+4	1100/0
9	S,м/ i,% / Крива	1000/0	1200/+6 R500/Скр900	800/+5 R800/Скр800	1000/0	2800/+9.5	1200/+4	800/+6	1200/0
10	S,м/ i,% Крива	1000/0	700/+3 25°	800/+1 35°	500/+3	3200/+8	900/0	900/+1	1500/0
11	S,м/ i,% Крива	1000/0	500/-1	500/-1,5	1000/-1	3000/+8	1500/+3 R800/Скр500	1500/+2 R500/Скр800	1500/0
12	S,м/ i,% Крива	1500/0	1000/0 25°	800/+1.5	1200/+1	2500/+7	500/+1	1500/+2 35°	1000/0
13	S,м/ i,% Крива	2000/0	1500/-3	1800/-3 R400/Скр900	2800/+9	1200/+2 R600/Скр800	1000/+3	1200/+1	1500/0
14	S,м/ i,% Крива	1000/0	1400/+2 10°	1600/0	1500/+2	3000/+8.5	1400/-3 15°	1600/-2 25°	2000/0
15	S,м/ i,% Крива	1500/0	500/-1	1400/-3	600/-2 R1000/Скр600	3000/+7.5	1400/-3	1600/-1 10°	1000/0
16	S,м/ i,% Крива	1200/0	800/+1 R800/Скр700	700/0 R600/Скр600	800/+1	2900/+7.5	1100/+3	1000/+4	1500/0
17	S,м/ i,% Крива	1400/0	1600/+4	1400/+5 R500/Скр800	500/+3	3100/+10	900/-6 20°	1100/-5	1200/0
18	S,м/ i,% Крива	1100/0	900/-5 15°	1200/-2	800/-3 25°	3200/+9.5	800/+2 R800/Скр800	900/+4	1100/0
19	S,м/ i,% Крива	1000/0	1200/+6 R600/Скр900	800/+5	1000/0	2800/+9.5	1200/+4	800/+6 10°	1200/0
20	S,м/ i,% Крива	1000/0	700/+1	800/+2 35°	500/+3	3200/+8	900/0 25°	900/+1	1500/0
21	S,м/ i,% Крива	1000/0	500/-1 35°	500/-1,5	1000/-1	3000/+8	1500/+3	1500/+2 R500/Скр800	1500/0
22	S,м/ i,% Крива	1500/0	1000/0 25°	800/+1.5	1200/+1 R900/Скр500	2500/+7	500/+1	1500/+2	1000/0
23	S,м/ i,% Крива	2000/0	1500/-3 R400/Скр900	1800/-3	2800/+9	1200/+2	1000/+3 25°	1200/+1	1500/0
24	S,м/ i,% Крива	1000/0	1400/+2 10°	1600/0 15°	1500/+2	3000/+8.5	1400/-3	1600/-2 R600/Скр800	2000/0
25	S,м/ i,% Крива	1500/0	500/-1	1400/-3	600/-2 R900/Скр700	3000/+7.5	1400/-3	1600/-1 10°	1000/0

Продовження таблиці 2

№ вар	Хар-ки ел-ту	Номер елемента							
		1	2	3	4	5	6	7	8
26	S,м/ i,% Крива	1200/0	800/+1	700/0 R800/Скр600	800/+1	2900/+7.5	1100/+3 20°	1000/+4	1500/0
27	S,м/ i,% Крива	1400/0	1600/+4 15°	1400/+5	500/+3	3100/+10	900/-6	1100/-5 R700/Скр900	1200/0
28	S,м/ i,% Крива	1100/0	900/-5	1200/-2 25°	800/-3 10°	3200/+9.5	800/+2 R500/Скр800	900/+4	1100/0
29	S,м/ i,% Крива	1000/0	1200/+6 R600/Скр900	800/+5	1000/0	2800/+9.5	1200/+4 25°	800/+6	1200/0
30	S,м/ i,% Крива	1000/0	700/+1	800/+2 R800/Скр800	500/+3	3200/+8	900/0	900/+1 35°	1500/0

Тема 3 Перерахунок електротяги характеристик двигунів

Теоретичні відомості

При зміні передавального числа зубчастого редуктора і діаметра колісної пари швидкісна і тягова характеристики розраховуються за формулами:

$$F_{кд2} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) \cdot F_{кд1}, \quad \text{кгс}$$

$$V_2 = \frac{D_1}{D_2} \cdot \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right), \quad \text{км/год}$$

де $F_{кд1}$ та $F_{кд2}$ – сила тяги, що отримано з характеристик ТЕД;

V_1 та V_2 – швидкість, що отримано з характеристик ТЕД.

Користуючись даними формулами виробляємо перерахунок електромеханічних характеристик ТЕД.

Перерахунок проводимо для нормального (повного) поля і для ослаблення поля (ОП1) Отримані значення заносимо в таблицю 3.

Порядок виконання роботи:

1. Впишіть вихідні дані (дивись варіанти завдання, тягові характеристики рухомого складу). Впишіть нові дані. Визначте, який параметр змінюється.

Таблиця 3 – Дані для розрахунку

	Вихідні значення	Отримані значення
Тип РС		
Зчїпна вага, т		
Передавальне відношення, μ_k		
Напруга мережі U_m , В		
Діаметр колеса D_k , мм		

2. Створити таблицю, розбити її на два логічних розділи: «задані значення» та «отримані значення».

Таблиця 4 – Характеристика тягового двигуна

Ід, А	Вихідні значення				Отримані значення			
	ПП		ОП		ПП		ОП	
	V_1 , км/ГОД	$F_{кд1}$, кГс	V_1 , км/ГОД	$F_{кд1}$, кГс	V_2 , км/ГОД	$F_{кд2}$, кГс	V_2 , км/ГОД	$F_{кд2}$, кГс

2. Заповнити першу половину таблиці, а потім, використовуючи формули теоретичної частини - другу половину.

3. На аркуші міліметрового паперу формату А3 побудувати графіки електромеханічних характеристик до перерахунку і після його.

Пояснення:

- При зміні напруги на рухомому складі змінюється напруга на тяговому двигуні, що визначається коефіцієнтом зміни напруги – U_1/U_2 . При зміні напруги перераховується тільки швидкісна характеристика, а тягова залишається без змін. При збільшенні напруги швидкість зростає на розрахований коефіцієнт.

- При зміні діаметра колеса змінюється як швидкісна характеристика, так і тягова на коефіцієнт рівний відношенню діаметрів коліс – D_1/D_2 . При розрахунку слід враховувати, що при зменшенні діаметра швидкість падає, а сила тяги зростає.

Тема 4 Побудова тягової та питомої характеристик рухомого складу

Теоретичні відомості

Тягова характеристика розраховується і будується від моменту зрушення з місця рухомого складу ($V=0$ км/год) і до максимальної швидкості руху ($V=V_{\max}$) на горизонтальній ділянці шляху. Середня пускова сила тяги рухомого складу розраховується по заданому середньому пусковому прискоренню або по максимальному пусковому середньому струму тягових двигунів. Пускова сила тяги рухомого складу повинна задовольняти умовам зчеплення і максимальному припустимому значенню струму якоря тягових двигунів.

Крім тягової характеристики необхідно буде побудувати питому тягову характеристику. Питома тягова характеристика відрізняється від тягової тим, що залежить не тільки від типу рухомого складу і типу двигуна, а й від маси рухомого складу.

На тяговій і питомій тяговій характеристиках рухомого складу необхідно розрахувати і побудувати лінію обмеження по зчепленню, для цього скористаємося формулами:

$$F_{\text{кц}} = 1000 \cdot m_{\text{PC}} \cdot \Psi_{\text{кц}} \cdot g, \text{ Н}$$

$$f_{\text{ц}} = \frac{F_{\text{к}}}{(m_{\text{PC}} + m_{\text{C}})} \cdot 9,81, \text{ Н}$$

Розрахунок проводимо для нормального (повного) поля, в Ньютона; розрахунок проводиться для рідних та перерахованих характеристик, результати розрахунків зводимо в таблиць 5 і 6.

Таблиця 5 – Розрахунок сили тяги рухомого складу

До перерахунку				Після перерахунку			
V_1 , км/год	$F_{\text{кд1}}$, Н	$F_{\text{к1}}$, Н	$f_{\text{ц1}}$, Н/кН	V_2 , км/год	$F_{\text{кд2}}$, Н	$F_{\text{к2}}$, Н	$f_{\text{ц2}}$, Н/кН

Таблиця 6 – Розрахунок обмеження за сцепленням

V , км/год	Ψ_K	F_{Ksc} , Н	f_{sc} , Н/кН

Порядок виконання роботи:

1. Вивчити теоретичний матеріал про тягові та питомі тягові характеристики.
2. Створити таблиці 5 і 6, заповнити їх, використовуючи формули з теоретичної частини.
3. Побудувати графіки тягових характеристик і питомих тягових характеристик на аркуші міліметрового паперу.
4. Нанести обмеження (F_{kl}) на графік (у вигляді горизонтальної лінії з таким значенням сили тяги для всіх швидкостей. Підпишіть обмеження.

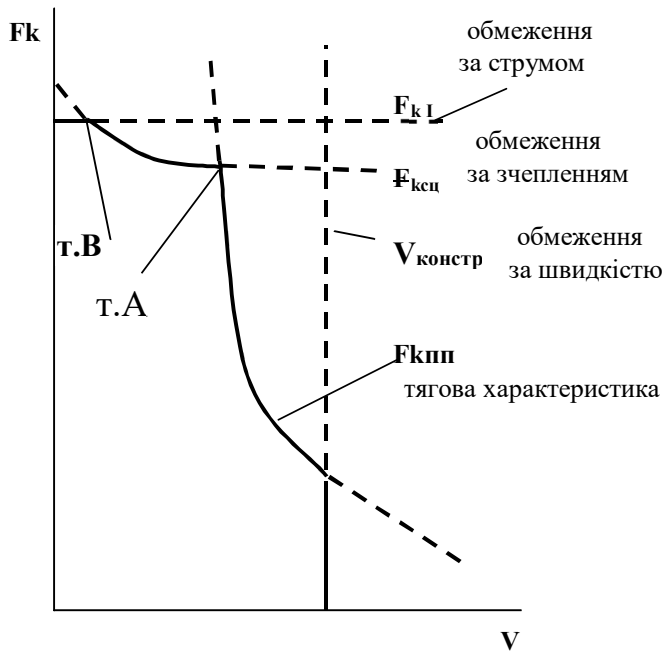


Рисунок 2 – Обмеження за сили тяги, струмом та швидкістю

Тема 5 Розрахунок і побудова питомих сил поїзда в режимі тяги

Теоретичні відомості

Основне питомий опір руху включає:

а) внутрішнє тертя в електрорухомому складі (ЕРС);

б) опір від взаємодії електрорухомого складу та колії на прямому і горизонтальному ділянках;

в) опір від взаємодії електрорухомого складу і повітря.

Складність закономірностей і різноманіття явищ, що визначають величини окремих складових основного опору руху, роблять недоцільним і малонадійним шлях аналітичного розрахунку, тому практично користуються формулами і коефіцієнтами, отриманими з досвідчених даних для рухомого складу різних типів.

Зазвичай застосовуються в практичних розрахунках емпіричні формули мають вигляд полінома $\omega_0 = a + b \cdot V + cV^2$, причому кожному типу рухомого складу відповідають свої значення коефіцієнтів a , b , c .

Для електричної тяги прийнято розрізняти поняття і величини опору руху під струмом і без струму. Це пов'язано з тим, що при русі під струмом сили опору, що викликаються механічними втратами в тягових двигунах, моторно-осьових підшипниках і зубчастої передачі, не включають в основний опір руху, так як ці опору враховують при розрахунку тягових і гальмівних характеристик.

У режимі вибігу ці сили додають до основного опору руху. Вирази для визначення питомої основного опору руху поїзда під час руху під струмом і без струму наведені в таблиці 7, а на рисунку 3 представлений загальний вигляд залежностей $\omega_0(V)$ и $\omega'_0(V)$.

Таблиця 7 – Емпіричні формули питомого опору руху для різних типів ЕРС

№ п/п	Тип рухомого складу	Рух під струмом, Н/кН	Рух без струму тока, Н/кН
1	Електропотяг	$\omega_0 = 1.9 + 0.01V + 0.0003V^2$	$\omega'_0 = 2.4 + 0.011V + 0.00035V^2$
2	Електропотяг	$\omega_0 = 1.1 + 0.012V + 0.000267V^2$	$\omega'_0 = 1.24 + 0.02V + 0.000267V^2$
3	Вагон метрополітену	$\omega_0 = 1.1 + (0.09 + 0.022n) \frac{V^2}{mg}$	$\omega'_0 = 1.0 + \frac{52}{mg/n} + 0.025V + (0.09 + 0.022n) \frac{V^2}{mg}$
4	Трамвайний вагон	$\omega_0 = 5.0 + 0.005V^2$	$\omega_0 = 9.0 + 0.005V^2$
6	Тролейбус	$\omega_0 = 12 + 0.004V^2$	$\omega_0 = 16 + 0.004V^2$

Примітка: n – число вагонів в рухомому складі;

V – швидкість поїзда, км / год.

Порядок виконання роботи:

1. Розрахувати і заповнити таблицю для побудови питомих прискорюючих сил.

Таблиця 8 – Розрахунок питомого опору руху поїзда і знаходження питомої сили тяги (питомої прискорює)

V_i , км/год	ω_0 , Н/кН	ω'_0 , Н/кН	F_k , Н
10			
20			
30			
40			
50			
60			

де F_k – сила тяги рухомого складу

4. Виконати побудову кривих питомого опору руху

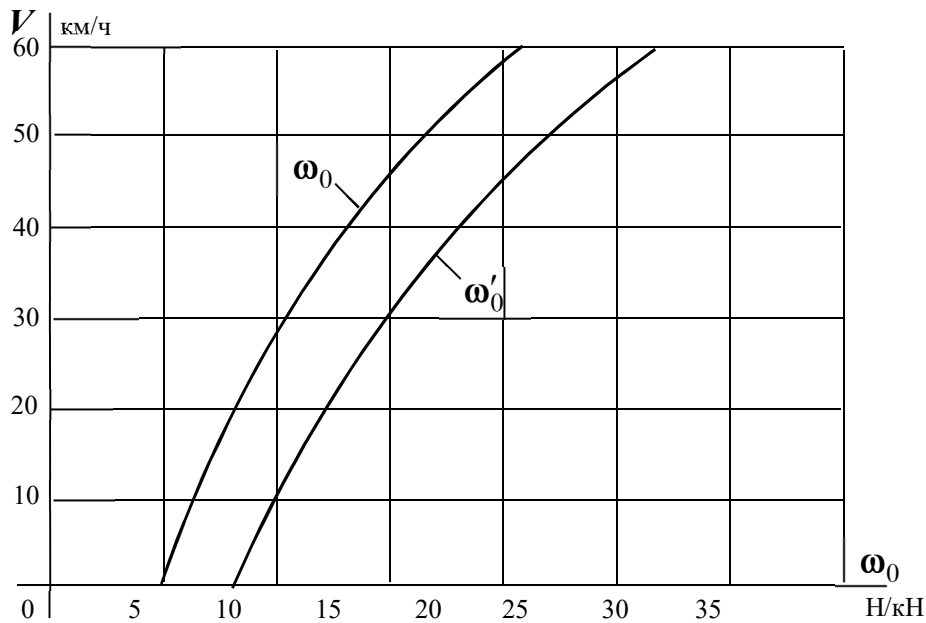


Рисунок 3 – Криві питомого опору руху

Тема 6 Побудова кривої швидкості

Теоретичні відомості

Побудова кривої швидкості здійснюється від імені машиніста, тобто як ніби Ви керуєте рухомим складом, а отже Ви вибираєте в якому режимі рухатися далі - в режимі тяги, вибігу або гальмування. На початку руху вибирається режим тяги, а в подальшому, в залежності від профілю Ви самостійно їх міняєте. Перехід з режиму на режим здійснюється при досягнутої швидкості. Загальне правило побудови полягає в тому, що для кожного досягнутого значення швидкості:

- 1) визначається характер подальшої зміни швидкості (збільшення або зменшення)
- 2) вибирається діапазон побудови лінії швидкості в залежності від зміни (тобто вище досягнутого значення або нижче)
- 3) будуємо лінію швидкості в обраному діапазоні:

– прикладаємо лінійку до точки досягнутої швидкості на графіку питомих сил (тяги, вибігу або гальмування, в залежності від подальшого режиму руху)– наприклад точка С на графіку питомих сил для точки Е на графіку швидкості;

– другу точку прикладання лінійки відкладаємо по горизонтальній осі в залежності від подальшого профілю (0 при ділянці зміщення в "+" при підйомі і зміщення в "-" при спуску) – в нашому випадку подальший рух здійснюється по ділянці;

– прикладаємо лінійку до лінії А-0 на графіку (червона), а перпендикуляр до неї покаже подальша зміна швидкості (синя стрілка з точки Е).

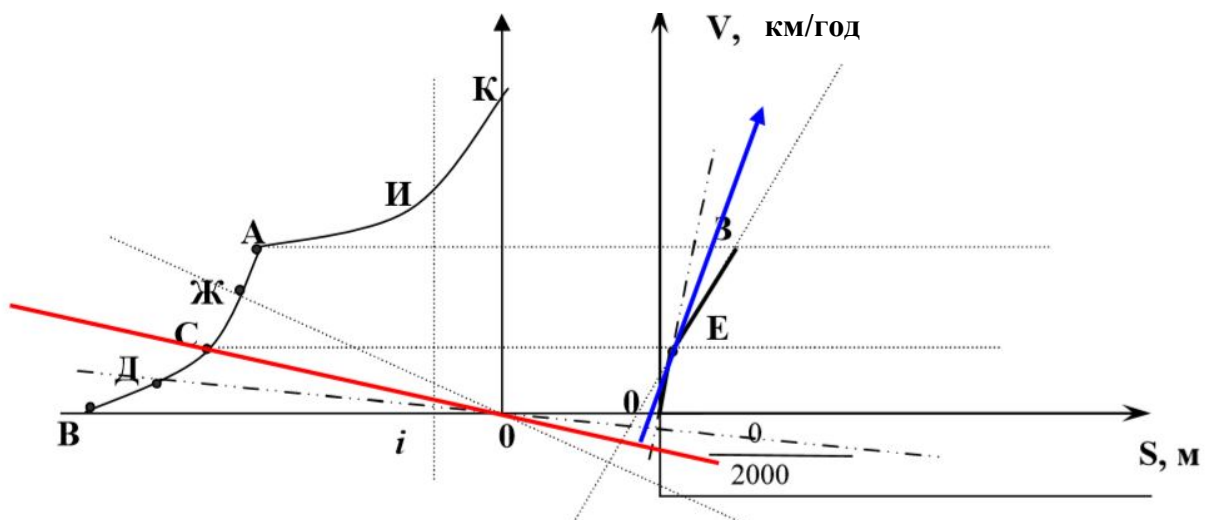


Рисунок 4 – Побудова кривої швидкості на ділянці графічним способом

Вибираємо діапазон побудови лінії швидкості. При виборі діапазону дотримуйтеся наступних правил:

– вибирайте діапазон не більше 5-10 км / год, чим горизонтальніше лінія питомих сил тим діапазон менше. Швидкість виходу на автоматичну характеристику (т.А) повинна бути межею діапазону і не може виявитися в середині.

– початок діапазону побудови – це точка досягнутої швидкості, кінець діапазону побудови – це точка швидкості вище досягнутої, якщо перпендикуляр показує збільшення швидкості, або точка швидкості нижче досягнутої, якщо перпендикуляр показує подальше зменшення швидкості. У цьому прикладі вибираємо діапазон вгору від швидкості С до швидкості А

Визначаємо середньоарифметичну швидкість в обраному діапазоні С-А - це т. Ж. Далі прикладаємо до т. Ж верхню частину лінійки. Другу точку прикладання лінійки відкладаємо по горизонтальній осі в залежності від подальшого профілю (0 при ділянці, зміщення в "+" при підйомі і зміщення в "-" при спуску).

Таким чином будується вся крива швидкості. При появі додаткового опору руху - ухили і підйоми, лінія швидкості не добудовується до швидкості обраного, а переривається на початку нового профілю. При побудові на профілі, що має підйоми або ухили лінійка зміщується на ту кількість прискорюючих (-) або уповільнюючих (+) сил, що необхідно. Слід пам'ятати, що при переміщенні рухомого складу по ділянці шляху, який має різні елементи профілю, швидкість буде змінюватися за законом основного рівняння руху з урахуванням додаткового опору і режиму руху. Перед вибором діапазону обов'язково необхідно перевіряти характер подальшої зміни швидкості. Слід пам'ятати, що при русі по підйому в режимі тяги і ухилу в режимі вибігу може наступити сталий режим руху (приклад на графіку - це т. К для ділянці), швидкість якого повинна бути кінцем діапазону, і далі при її досягненні на цьому елементі профілю до його кінця швидкість мінятися не буде. Крива швидкості в режимі гальмування будується так само, як і в режимі тяги і вибігання тільки швидкості вибираються за графіком питомих сил в режимі гальмування. При побудові гальмування неможливо точно вибрати точку початку гальмування, тому - побудова ведеться з кінцевої точки гальмування, тобто в зворотному порядку до перетину з кривою швидкості в режимі вибігу.

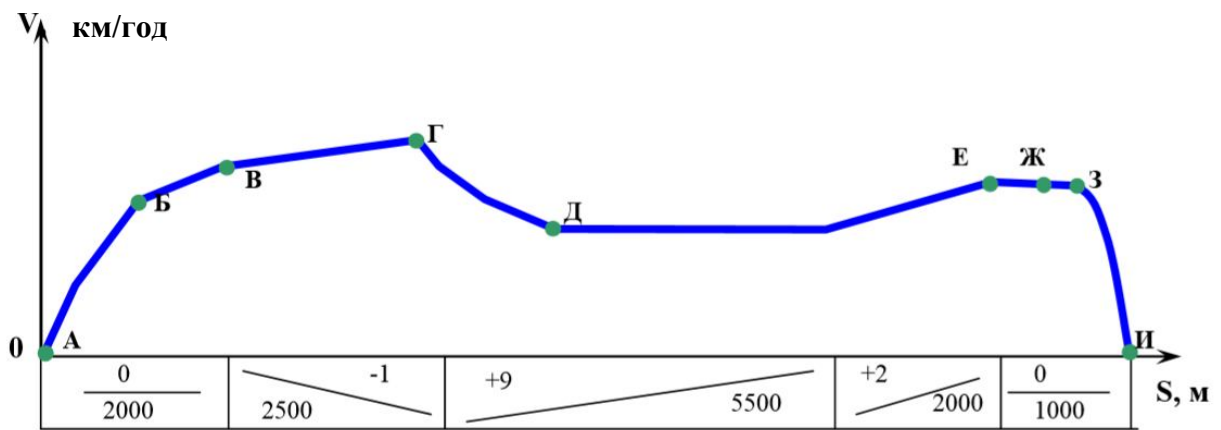


Рисунок 5 – Приклад побудови кривої швидкості при гальмуванні на ділянці

Порядок виконання роботи:

1. Побудова кривої швидкості $V=f(S)$ на ділянці починають з моменту початку руху поїзда зі станції А. Необхідно визначити перше збільшення швидкості Δv_1 ($v_0=0$, $v_1=10$ км/год) і на кривій прискорюючих сил, суміщеної з профілем, відзначають точку В, відповідну середньому значенню швидкості, з якою руханий склад слідуватиме на даному відрізку шляху, рівному

$$\frac{\Delta V_1}{2} = \frac{V_1 - V_0}{2} \text{ (5 км/год)}.$$

2. До початку координат О і до точки В на кривій прискорюючих сил прикладають лінійку. До лінійці і початку побудови до точки А прикладають катетом прямокутний трикутник. Через точку А і по іншому катету проводять пряму до перетину в точці В з горизонталлю, що відповідає збільшенню швидкості ΔV_1 .

3. Відрізок АВ утворює перша ланка кривої швидкості.

4. Подальшу побудову виконують аналогічно. При цьому лінію, перпендикулярну променю (з'єднує початок координат О з точкою С на кривій прискорюючих сил), що відповідає середньому прийнятому значенням $V_1 + \frac{V_2 - V_1}{2}$

проводять з точки В до кінцевої величини нової швидкості $\Delta v_1 + \Delta v_2$ до точки С та інш.

5. Таким же буде побудова кривої швидкості не тільки на ділянці, а й на ухилах. У цих випадках лінійку прикладають не до початку координат О, а до точки, відповідної значенням ухилу (тобто додають до сили $f_k - \omega_0$ опір ухилу $\pm \omega_1$). Значення підйому відкладають на діаграмі прискорюючих сил вліво від початку координат, а спуску - вправо.

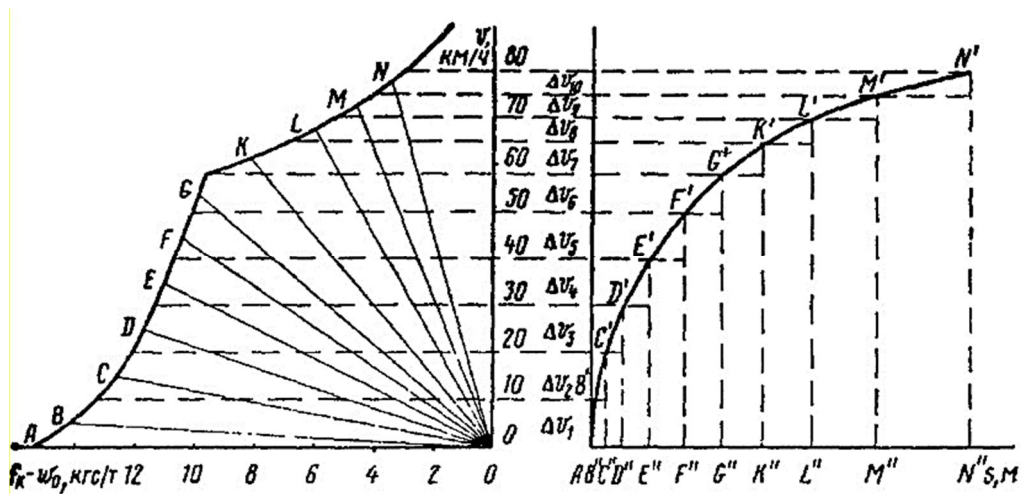


Рисунок 6 – Приклад побудови кривої швидкості на ділянці графічним способом

Тема 7 Побудова кривої часу

Порядок виконання роботи:

1. Нанесіть на графік лінію постійної часу Δ на відстані S. Це допоміжна лінія, яка використовується для побудови. Крива $t=f(S)$ будується невеликими ділянками, наступними один за одним за профілем шляху.

2. Подивіться на графік $V=f(S)$ і відзначте на ньому першу ділянку початку руху, при якому швидкість має приблизно однакове прискорення (на графіку внизу це ділянка АВ).

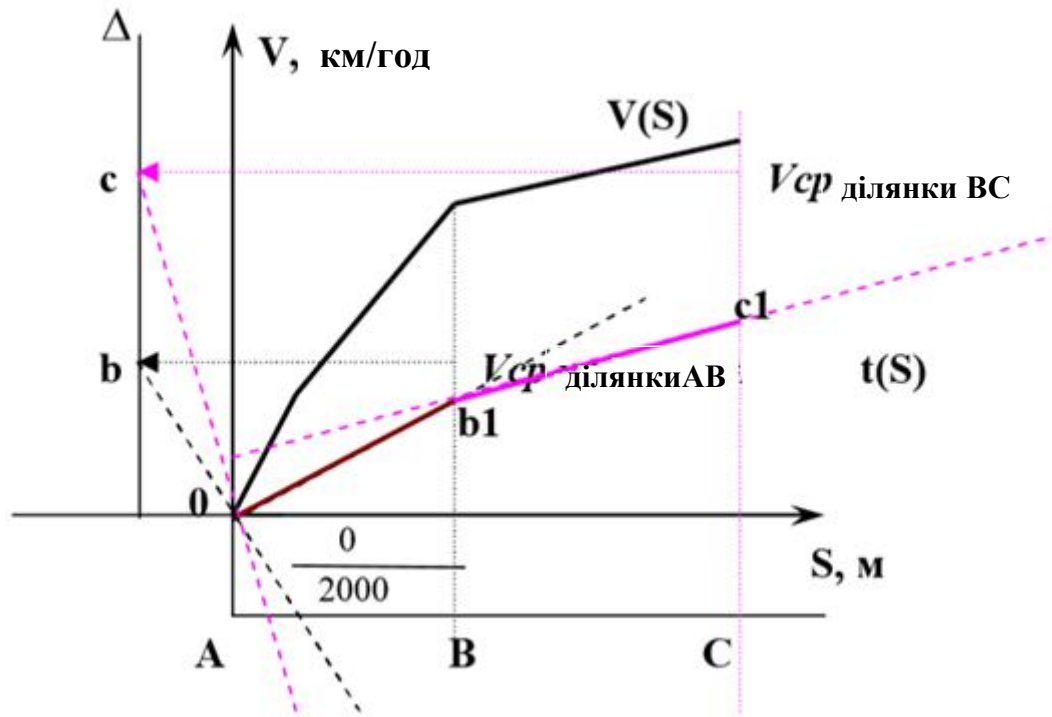


Рисунок 7 – Побудова кривої часу

3. Знайдіть на цій ділянці середню швидкість і знесіть її на лінію

$$\Delta (V_{\text{ср АВ}} = \frac{|V_A + V_B|}{2})$$

4. Поставте лінійку на лінію b0 і в межах шляху АВ накресліть перпендикуляр до лінії b0 лінія 0b1.

5. Далі лінія $t=f(S)$ будуватися тим же чином.

6. Визначаємо ділянку, на якому швидкість змінюється приблизно однаково (тобто прискорення однакове) – це ВС.

7. Знаходимо середню швидкість на ділянці ВС і зносимо її на лінію

$$\Delta (V_{\text{ср ВС}} = \frac{|V_B + V_C|}{2})$$

8. Поставивши лінійку на лінію c0 і в межах шляху ВС накресліть перпендикуляр до лінії b0 лінія 0c1.

9. Подальша побудова ведеться таким же чином. На ділянки з гальмуванням крива $t=f(S)$ будується для кожної зміни швидкості на 5-10 км/год.

10. Пройдений час визначається по висоті зміни кривої часу відповідно до масштабів побудови.

Тема 8 Побудова кривої струму

Теоретичні відомості

Струмові характеристики рухомого складу виражають залежність струму від швидкості руху.

Крива струму будується по значеннях струму отриманих з струмової характеристики тягового двигуна рухомого складу при швидкості руху в відповідній точці шляху ділянки.

У місцях виключення струму криву обривають і проводять вертикально вниз до нуля. Включення струму показується вертикальною лінією від нуля до значення струму, яке відповідає швидкості руху поїзда в даній точці шляху.

Порядок виконання роботи:

1. Побудова $I=f(S)$ ведеться на графіку $V=f(S)$. При побудові необхідно враховувати:

- режим вибігу і гальмування - відсутність споживаного струму.
- режим розгону - від 0 км/год до точки виходу на автоматичну характеристику.
- рух на АХ - від точки виходу на автоматичну характеристику до V_{\max}

2. Нанесіть на графіку $V=f(S)$ вісь струму I , А. Поруч з віссю швидкості.

4. Визначте за графіком максимальний струм і вибравши масштаб, расчертите шкалу на осі струму.

5. Використовую струмовий характеристики локомотива $I=f(V)$ побудуйте криву споживання струму $I=f(S)$.

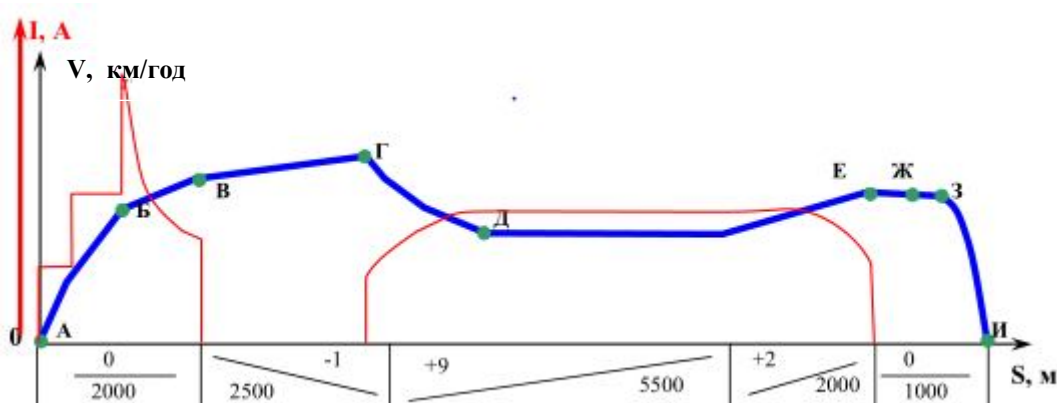


Рисунок 8 – Приклад побудови кривої струму

Тема 9 Визначення витрат енергії на рух рухомого складу за кривими руху

Порядок виконання роботи:

1. Витрати енергії за кривими руху знаходять за виразом

$$A = \frac{l}{\eta_{ТС} \cdot \eta_{пст}} \left[\frac{U_{ср}}{3600} (\sum I_{л.ср} \Delta t) + \frac{P_{сн} \cdot l_{пер}}{v_{сп}} \right], \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

де $\sum I_{л.ср} \cdot \Delta t$ – сума, на період тяги в одному напрямку руху, А·с;

$\eta_{мс}$ – середній ККД тягової підстанції; для МЕТ $\eta_{мс} = 0,95$;

$U_{ср}$ – середнє значення напруги в контактній мережі, В;

$l_{пер}$ – довжина перегону, м;

$v_{сп}$ – швидкість повідомлення на перегоні, км/год,

$$v_{сп} = \frac{3,6 \cdot l_{пер}}{t_x + t_{ост}};$$

$P_{сн}$ – потужність навантаження власних потреб, кВт, орієнтовні значення якої приведені у таблиці 9.

Таблиця 9 – Значення потужності навантаження власних потреб

Тип рухомого складу	$P_{сн}$, кВт
Трамвай	1,5 – 2,5
Тролейбус	1,5 – 2,0
Метрополітен	2,5 – 3,0

2. Для визначення суми $\sum I_{л.ср} \Delta t$ використовують побудовані раніше криві руху і криву спожитого потягом струму $I_l(l)$, що розбивається на відрізки шляху Δl , у межах яких струм I_l змінюється незначно. Для кожного відрізка Δl визначають середній струм $I_{л.ср}$, а за кривою $t(l)$ – тривалість Δt проходження цього відрізка шляху. Розрахунки зручно вести за допомогою таблиці 10.

Таблиця 10 – Дані для розрахунку витрати енергії і середньоквадратичного струму двигуна

№ n/n	Δl , м	Δt , с	$I_{ЛСР}$, А	$I_{ЛСР} \cdot \Delta t$, А · с	$I_{СР} = I_{ЛСР}/n_n$, А	$I_{СР}^2 \cdot \Delta t$, $A^2 \cdot c$	Режим
1	20	4,5	356	1602	356	570312	Прямо
2	20	2	356	712		253472	
3	22	1,5	356	534		190104	
1	20	4	356	1424	356	506944	В зворотньому напрямку
2	20	2,5	356	890		316840	
3	20	1,5	356	534		190104	
4	20	1,5	356	534		190104	
5	30	1,5	356	534		190104	
к				2848		1013888	Прямо
к				3916		2407984	Зв. напрям

3. У таблицю вводять графи 5 і 6, необхідні для визначення середньоквадратичного струму двигуна, що буде використовуватися надалі для перевірки потужності двигуна за нагріванням. Питому витрату енергії знаходять за виразом

$$A_{уд} = \frac{A}{G \cdot l_{пер} \cdot 10^{-3}}, \frac{Вт \cdot год}{кН \cdot км}$$

де G – вага потягу, кН;

$l_{пер}$ – довжина перегону, м.

Приблизні значення питомої витрати енергії для різних типів рухомого складу наведені в таблиці 11.

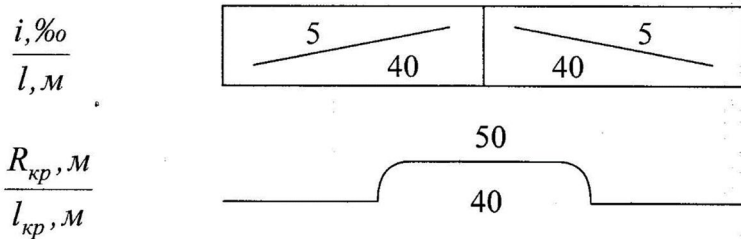
Таблиця 11 – Значення питомої витрати енергії

Тип рухомого складу	$A_{уд}$, Вт · год / (кН км)
Трамвай	3,5 – 9,0
Тролейбус	12 – 20
Метрополітен	4 – 7

**3.2 Контрольні роботи для перевірки рівня засвоєння студентами
навчального матеріалу з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ
ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»**

Завдання 1

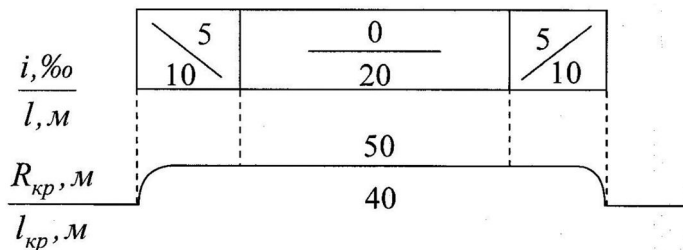
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 2

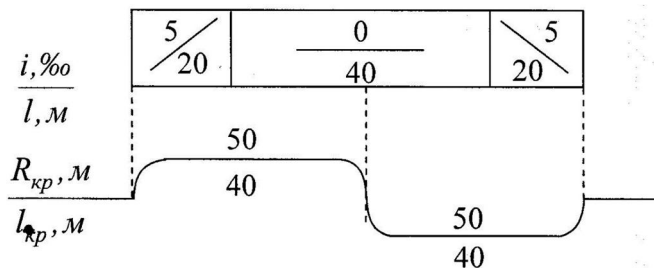
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 3

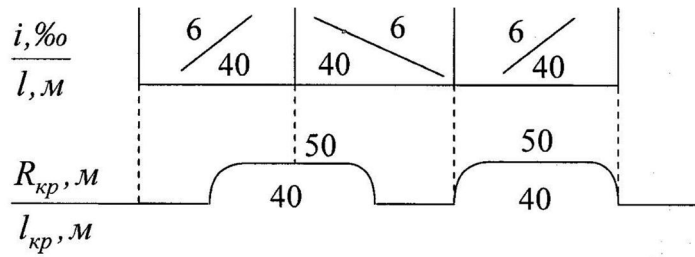
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 4

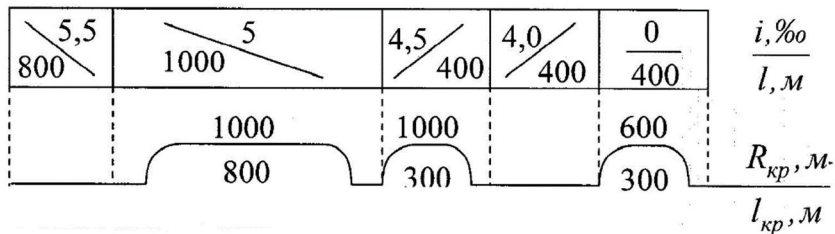
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 5

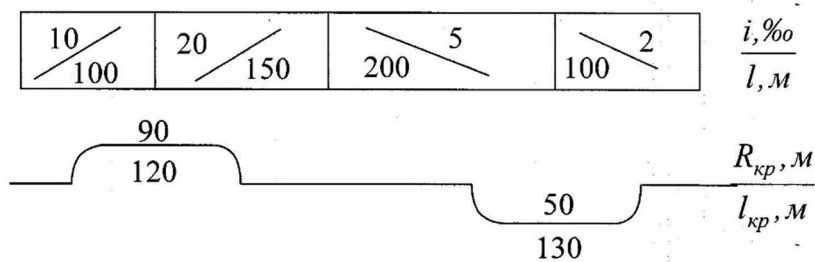
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 6

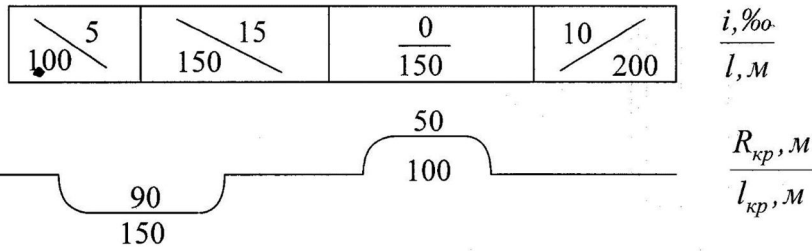
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 7

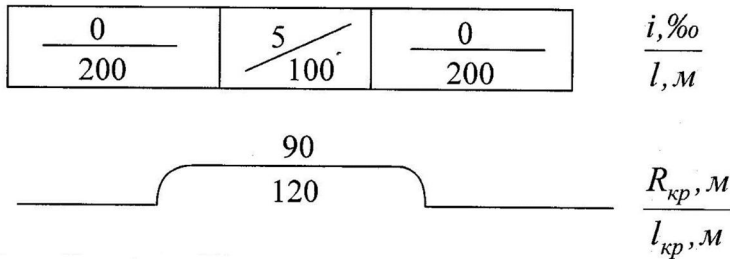
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 8

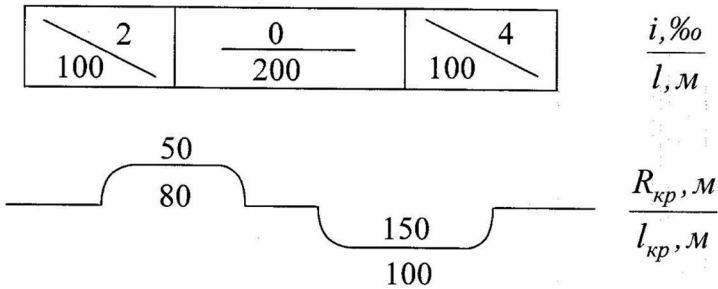
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 9

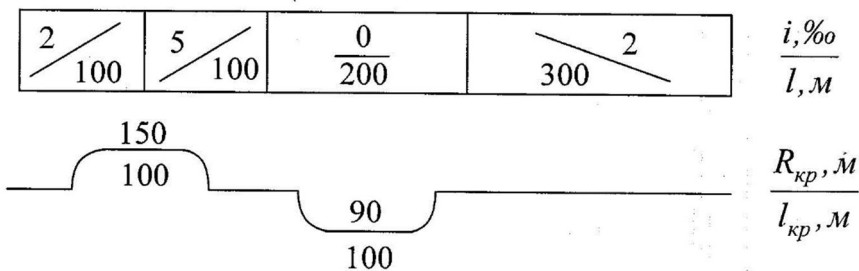
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 10

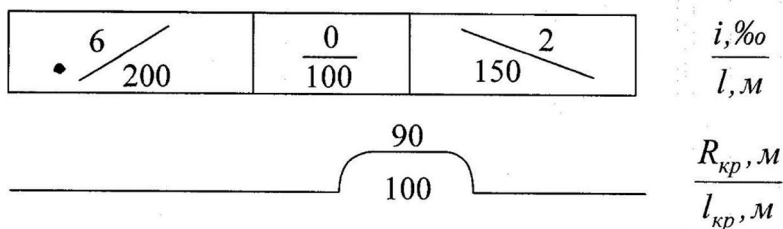
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 11

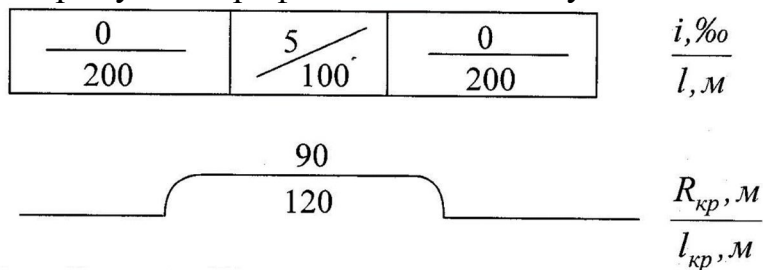
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 12

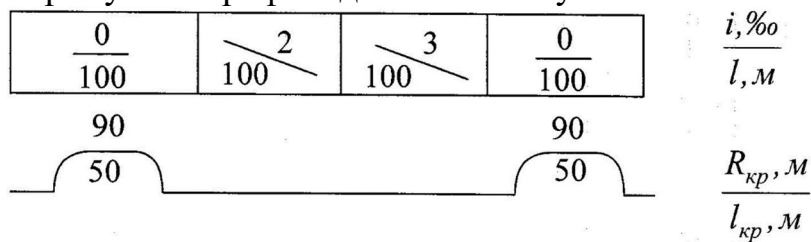
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 13

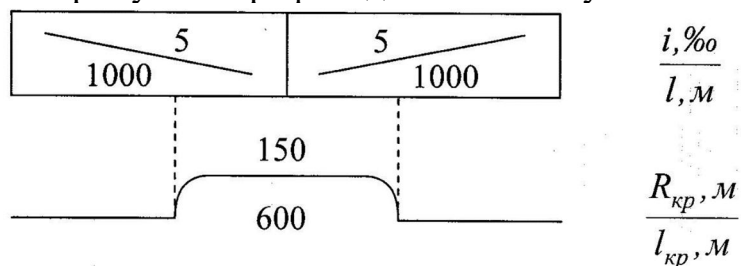
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 14

1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 15

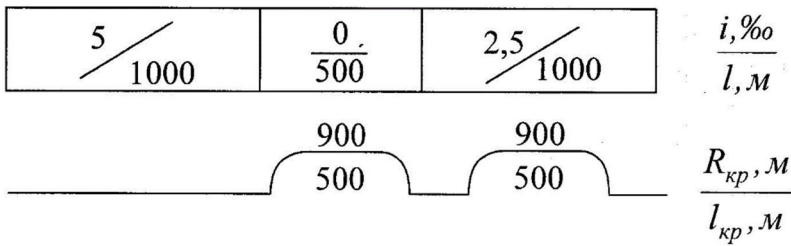
1. Спрямувати профіль ділянки шляху

$\frac{2}{100}$	$\frac{4}{150}$	$\frac{40}{100}$	$\frac{45}{100}$
-----------------	-----------------	------------------	------------------

2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 16

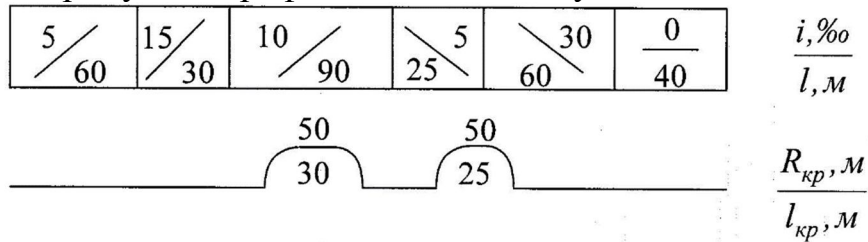
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 17

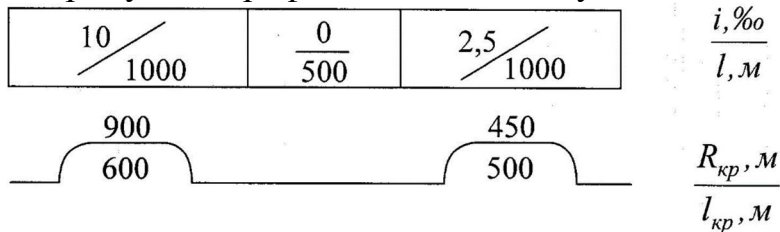
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 18

1. Спрямувати профіль ділянки шляху

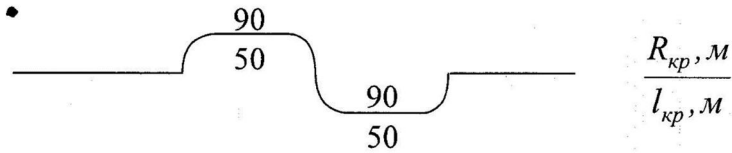


2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 19

1. Спрямувати профіль ділянки шляху

$\frac{5}{100}$	$\frac{0}{50}$	$\frac{2,5}{100}$	$\frac{i, \text{‰}}{l, \text{м}}$
-----------------	----------------	-------------------	-----------------------------------



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 20

1. Спрямувати профіль ділянки шляху

$\frac{10}{100}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{20}{200}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{i, \text{‰}}{l, \text{м}}$
------------------	-----------------	------------------	-----------------	-----------------------------------

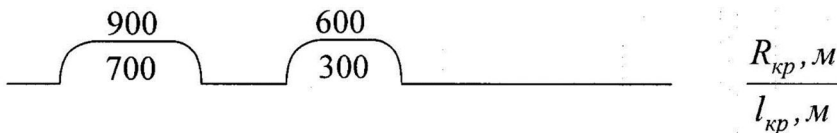


2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 21

1. Спрямувати профіль ділянки шляху

$\frac{4}{900}$	$\frac{5}{700}$	$\frac{0}{800}$	$\frac{i, \text{‰}}{l, \text{м}}$
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------------------

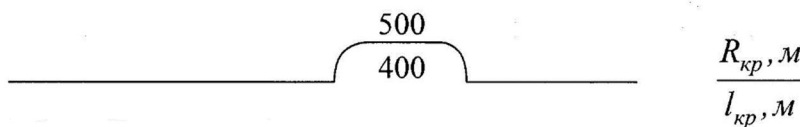


2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 22

1. Спрямувати профіль ділянки шляху

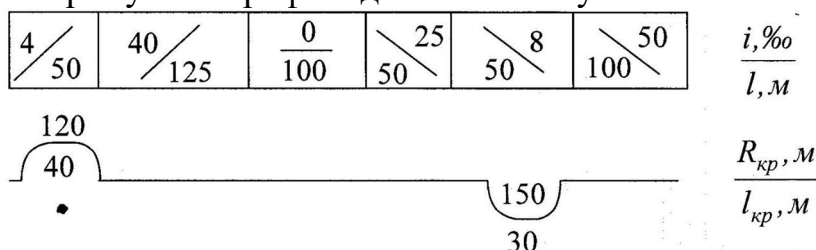
$\frac{3}{1150}$	$\frac{2}{800}$	$\frac{6}{900}$	$\frac{i, \text{‰}}{l, \text{м}}$
------------------	-----------------	-----------------	-----------------------------------



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 23

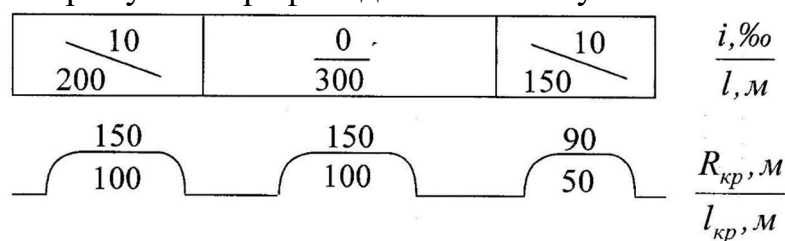
1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

Завдання 24

1. Спрямувати профіль ділянки шляху



2. Визначити еквівалентний ухил.

4 Організація виконання розрахунково–графічної роботи з навчальних дисциплін «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ» та «ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

4.1 Завдання і тематика

Розрахунково–графічну роботу виконують паралельно з вивченням дисципліни, що сприяє глибокому розумінню навчального матеріалу.

Розрахунково–графічна робота має на меті:

- навчити студентів застосовувати отримані теоретичні знання у розв’язанні конкретних інженерних задач;
- навчити студентів користуватися технічною літературою, довідниками, ДСТ, нормами та іншими допоміжними проектними матеріалами;

– навчити студентів викладати свої думки стосовно питань розрахунково–графічної роботи, що виконується у вигляді пояснювальної записки й обґрунтувати прийняті рішення.

4.2 Послідовність виконання

Тягові розрахунки виконують у такій послідовності:

1. Випрямлення профілю заданої ділянки шляху.
2. Розрахунок і побудова кривих (характеристик), прискорюючих і уповільнюючих сил, що діють на потяг у режимах тяги, вибігу і гальмування.
3. Розрахунок і побудова кривих руху потягу і споживання потягом струму.
4. Розрахунок загальної і питомої витрати електричної енергії на рух потягу.
5. Розрахунок нагрівання тягових двигунів.

Протягом усього терміну виконання роботи проводяться відповідно до розкладу консультації (2 години щотижня). Відвідування студентом консультацій є обов'язковим. Студенти повинні приходити на консультації із заздалегідь підготовленими запитаннями. Під час консультацій викладач задає студенту запитання, пропонуючи йому тим самим продумати методику розрахунку. Одночасно викладач обов'язково переглядає виконану частину курсової роботи. Тільки після його дозволу ця частина оформляється студентом остаточно.

4.3 Зміст розрахунково-графічної роботи та її оформлення

Розрахунково–графічна робота складається з пояснювальної записки і креслень. Пояснювальна записка на 20...25 сторінках має бути оформлена відповідно до вимог ДСТ. Аркуші, вкладені в обкладинку, повинні бути охайно і надійно скріплені. Пояснювальна записка містить завдання з вихідними даними, розрахункові вирази, приклади розрахунків і таблиці з проміжними величинами. Кінцеві значення отриманих величин повинні бути пояснені.

Склад пояснювальної записки:

1. Титульний аркуш.
2. Завдання із вихідними даними.
3. Зміст розрахунково–графічної роботи з послідовним переліком заголовків, розділів, підрозділів, додатків та сторінок.
4. Вступ.
5. Текстова частина (розділи записки).
6. Висновки.
7. Список літератури.
8. Графічний матеріал.

Оформлення розрахунково–графічної роботи проводиться відповідно до вимог ЄСКД і нормативних документів з оформлення.

Розрахунково–графічна робота приймається до захисту при повністю решених завданнях і правильно оформленої пояснювальній записки. Захистом роботи є співбесіда, на якому викладачем з'ясовується не тільки рівень теоретичної підготовленості студента, але і його розуміння методик моделювання, використаних в роботі.

5. Список використаної літератури

1. Пушков П. М. Основы электрической тяги. Часть 1. Характеристики основных режимов движения поезда : уч. пособие для студентов специальности 7.092202 – Электрический транспорт. – Харьков: ХНАГХ, 2001. – 187 с.
2. Пушков П. М. Основы электрической тяги. Часть 2. Тяговые расчеты. Частотно-регулируемый асинхронный тяговый привод : Уч. пособие для студентов специальности 7.092202 – Электрический транспорт. – Харьков : ХНАГХ, 2001. – 103 с.
3. Основы электрического транспорта : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. А. Слепцов, Г. П. Долаберидзе, А. В. Прокопович и др. ; под общ. ред. М. А. Слепцова. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 464 с.

Виробничо–практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
з навчальних дисциплін

ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

*(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка, освітня програма «Електромеханіка»)*

Укладачі: **ЗАКУРДАЙ** Світлана Олександрівна,
КОСТЕНКО Іван Олександрович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *С. О. Закурдай*

План 2019, поз. 152М

Підп. до друку 19.03.2019. Формат 60 × 84/16
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,21
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.