

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
та виконання розрахунково-графічної роботи  
із навчальних дисциплін

**«ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»,**  
**«ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»**

*(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, проведення практичних занять та виконання розрахунково-графічної роботи із навчальних дисциплін «Електричне обладнання транспортних засобів», «Електричне обладнання рухомого складу» (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. – 30 с.

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

Рецензент

**О. В. Донець**, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричного транспорту Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 9  
від 26 листопада 2019 р.*

## ЗМІСТ

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ».....	4
2 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ».....	6
2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки.....	6
2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисциплін..	21
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ».....	24
4 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ».....	27
4.1 Завдання і тематика.....	27
4.2 Послідовність виконання.....	27
4.3 Зміст розрахунково-графічної роботи та її оформлення.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	29

# 1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»

*Метою* вивчення дисциплін «Електричне обладнання транспортних засобів» та «Електричне обладнання рухомого складу» є формування у студентів системи знань про кваліфіковану експлуатацію електричного обладнання транспортних засобів, удосконалення знання основних закономірностей його функціонування у режимах пуску та електродинамічного гальмування.

Основними *завданнями*, що мають бути вирішені в процесі викладання дисциплін, є теоретична та практична підготовка майбутніх спеціалістів з питань: освоєння сучасного електрообладнання транспортних засобів; розуміння взаємодії усіх елементів транспортних засобів; підтримка необхідного рівня працездатності транспортних засобів; вдосконалення експлуатації сучасного транспортних засобів; створення нових, більш економічних та надійних систем керування електроприводів транспортних засобів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

*знати*: класифікацію електричного обладнання транспортних засобів з двигунами постійного та змінного струму; конструкцію, принцип дії та взаємодію з іншими вузлами акумуляторної батареї, генератора, системи керування; призначення високовольтного та низьковольтного допоміжного електричного обладнання; призначення систем захисту електрообладнання; основні принципи проектування систем керування електроприводів транспортних засобів.

*вміти*: здійснювати розрахунки різних режимів роботи електричного обладнання транспортних засобів; вирішувати задачі, пов'язаних зі встановленням технічної можливості уникнення відмов електричного обладнання транспортних засобів; розробляти пропозиції з підвищення якості роботи електричного обладнання транспортних засобів.

**мати компетентності:** здатність використовувати нормативні матеріали і засоби обчислювальної техніки для техніко-економічних розрахунків; здатність обґрунтувати необхідність впровадження нових серій транспортних засобів з урахуванням вимог в нових умовах експлуатації; здатність до підтримки необхідного рівня працездатності транспортних засобів; здатність до вдосконалення експлуатації сучасних транспортних засобів; здатність до створення нових, більш економічних та надійних транспортних засобів.

Дисципліни «Електричне обладнання транспортних засобів» та «Електричне обладнання рухомого складу» розроблені в системі модульно-рейтингового поетапного контролю засвоєння навчального матеріалу. По кожній темі дається перелік запитань для самоконтролю та обговорення в аудиторії або при інших формах дистанційного навчання.

При поточному контролі викладач може оцінити індивідуальні якості й здібності студентів. Це надає навчальній та виховній роботі цілеспрямованості і конкретності. Поточний контроль стимулює навчальну діяльність студентів, виховує відповідальність і ритмічність у роботі.

Підсумковий контроль необхідний для перевірки якості виконання студентами навчальної програми дисципліни за семестр і проводиться у вигляді іспиту.

З метою розв'язання питань, що з'являються у студентів під час підготовки до іспитів, розширення і поглиблення знань з окремих питань та для надання методичної допомоги в самостійній роботі проводяться індивідуальні й групові консультації. Під час індивідуальних консультацій викладач за допомогою запитань підводить студентів до самостійної відповіді на незрозумілі запитання.

При цьому треба враховувати, що студент краще запам'ятає і зрозуміє матеріал, якщо сам знайде відповідь на своє запитання.

Комплексне застосування різних форм дозволяє своєчасно оцінити якість засвоєння матеріалу і підготовку студентів до занять.

## **2 ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»**

Метою самостійної роботи є постійне вивчення програмного матеріалу - виконання усіх видів завдань і підготовка за всіма формами звітності з дисциплін.

Ефективність самостійної роботи залежить від якості її планування та контролю знань, умінь і навиків студентів.

При плануванні самостійної роботи потрібно враховувати наступне:

- ретельний попередній аналіз навчальних планів і повного обсягу матеріалу з дисципліни;
- прогнозування фактичного часу, що необхідний студенту для самостійної роботи.

Метою контролю є перевірка якості засвоєння студентами теоретичного матеріалу і ступеня оволодіння практичним умінням і навичками. Результати контролю дозволяють своєчасно приймати рішення щодо вдосконалення навчального процесу та підвищенню ефективності роботи викладачів і студентів.

Самостійна робота є одним з видів навчальної діяльності студентів в Університеті.

### **2.1 Теми змістових модулів та запитання для самоперевірки**

#### **Змістовий модуль 1 Робота електричного обладнання транспортних засобів у режимі пуску**

*Тема 1* *Склад електрообладнання транспортних засобів - конструкція, призначення, принципи дії, використання.*

Звернути увагу на вимоги, які висуваються до електричного обладнання та його класифікації.

Розглянути конструкцію наступних апаратів та позначення на схемах: тягових електричних двигунів різних способів збудження; електромагнітних контакторів та реле; контролерів водія та реостатних контролерів; струмоприймачів; автоматичних вимикачів; різних типів резисторів; котушок індуктивностей; плавких запобіжників; силових блоків імпульсних переривачів.

Звернути увагу на компоновку контакторних панелей та силових блоків імпульсних переривачів їх розміщення на рухомому складі та характеристики різних типів електричних апаратів.

Розглянути принципи роботи основних напівпровідникових елементів, які використовуються на рухомому складі електричного транспорту: магнітних підсилювачів та безконтактних магнітних реле; трансформаторів постійного струму і напруги; напівпровідникових логічних елементів; реле з магнітокеруємими контактами.

***Тема 2** Порівняльний аналіз електромеханічних характеристик ТЕД різних систем збудження.*

Звернути увагу на вимоги, які пред'являються до тягових електричних двигунів рухомого складу.

Розглянути конструкцію тягових електричних двигунів постійного струму різних способів збудження та їхні електромеханічні характеристики.

Провести порівняльний аналіз електромеханічних характеристик ТЕД різних способів збудження.

Визначити, при якому типі збудження тяговий електричний двигун може автоматично переходити із режиму тяги в режим рекуперативного гальмування.

Ознайомитись із методами розрахунку електромеханічних характеристик двигунів постійного струму різних способів збудження.

Звернути увагу при яких умовах характеристика ККД має максимум та чим відрізняються швидкісні характеристики різних типів двигунів.

*Тема 3 Аналіз способів регулювання швидкості рухомого складу з ТЕД постійного струму*

Варто пам'ятати, що вираз швидкісної характеристики для двигунів постійного струму різних способів збудження можна подати в такому вигляді:

$$V = \frac{U - I(R_n + R_{\text{дв}})}{C_e \Phi} ,$$

де  $U = \text{const}$  – напруга живлення;

$$C_e = \frac{PN}{60a} \text{ – конструктивний коефіцієнт;}$$

$N$  – кількість провідників якірної обмотки;

$p$  – кількість пар полюсів;

$a$  – кількість паралельних гілок якоря;

$\Phi$  – магнітний потік;

$I$  – струм якоря;

$R_n$  – пусковий опір при пуску одного двигуна;

$R_{\text{дв}}$  – опір кола якоря.

Звернути увагу на те, що з цього виразу можна отримати всі способи регулювання швидкості електрорухомого складу при реостатному та імпульсному способах регулювання ТЕД. Регулювання швидкості зміною напруги, підведеної до якорів тягових двигунів, і величини магнітного потоку. Характеристики двигунів при зміні напруги і магнітного потоку. Регульовальні властивості тягових двигунів.

Поряд з використанням пускових опорів для зміни напруги на тягових електродвигунах для багатодвигунних схем застосовують зміну угруповання двигунів. Відомі наступні способи переходу з одного угруповання тягових двигунів на інше:

- коротким замкненням;
- шунтуванням ТЕД резистором;
- використанням діодів;
- переходом за схемою моста.



Способи переходу відрізняються один від одного з кількістю необхідних для їх здійснення апаратів і плавністю процесу переходу.

Також звернути увагу на те, яким чином той чи інший спосіб регулювання швидкості впливає на швидкісну характеристику ТЕД.

**Тема 4** *Визначення пускових струмів і сили тяги. Побудова реостатних характеристик і пускової діаграми.*

Звернути увагу на те, що струм першої позиції пуску визначається по величині сили тяги при зрушенні, що обмежується умовами вибору люфтів тягової передачі і забезпечення комфортабельності для пасажирів. Нормованим параметром при цьому є прискорення при зрушенні, що для не навантаженого рухомого складу приймається рівним  $a_0 = 0,3 - 0,4 \text{ м/с}^2$

У разі ступінчатого пуску намагаються обмежити коливання пускового струму. Пуск виконують при середньому пусковому струмі, який знаходиться в межах

$$I_{П\text{ ср}} = \frac{I_{П\text{ max}} + I_{П\text{ min}}}{2},$$

де  $I_{П\text{ ср}}$  – середній пусковий струм, А;

$I_{П\text{ max}}$  – максимальний пусковий струм, який відповідає найбільш припустимому навантаженню двигуна і умовам зчеплення;

$I_{П\text{ min}}$  – мінімальний пусковий струм, який залежить від уставки реле прискорення.

Середня пускова сила тяги  $NF_{н\text{ ср}}$ , необхідна для розгону з розрахунковою вагою  $G_p$  при необхідному прискоренні  $a_{ср}$ , визначається за формулою:

$$F_{н.ср} = \frac{(102 \cdot (1 + \gamma) \cdot a_n + \omega_e(v)) \cdot G_p}{N}.$$

Питомий опір руху  $\omega_e$  в період пуску визначається з умови рівності витрат енергії на подолання дійсного опору, що є функцією швидкості, і рівнозначного йому постійного опору.

Максимальний пусковий струм не повинний перевершувати струм тягового двигуна відповідно рівняння  $I_{don} \leq (1,8 \div 1,9)I_c$ . Якщо ця умова не виконується, максимальний струм варто зменшити до припустимої величини, скорегувати межі коливання струму і визначити уточнене значення пускового прискорення.

Варто пам'ятати, що для міського електричного транспорту характерні часті зупинки з наступними пусками, параметри пускового періоду треба обирати так, щоб забезпечувалися найбільш безпечні й економічні умови роботи.

У даний час застосовують такі системи пуску:

- плавний реостатний пуск, при якому протягом усього пуску підтримується незмінний пусковий струм (наприклад, трамвайний вагон Т-3);
- ступінчатий пуск, при якому підтримується незмінною середня сила тяги з визначеним припуском (наприклад тролейбуси ПМЗ – Т2);
- безреостатний пуск, який здійснюється за допомогою електронних перетворювачів (трамвайний вагон Т-3М, тролейбуси 14-ТР, ПМЗ – Т1).

Кожна система пуску характеризується відповідним діапазоном зміни струму, сили тяги та способом регулювання ТЕД а також типом автоматичної системи керування.

Звернути увагу на те, яким чином протікає струм в тяговому двигуні при підключенні та відключенні від контактної мережі при імпульсному регулюванні напруги а також на призначення окремих елементів імпульсного переривача.

***Тема 5*** *Визначення параметрів електронного перетворювача у режимі розгону до швидкості виходу на автоматичну характеристику.*

Варто пам'ятати, що вибір параметрів електронного перетворювача необхідно виконувати з урахуванням квазістаціонарних електромагнітних процесів. Графічні залежності дозволяють значно спростити розрахунок та вибір

параметрів силових кіл тиристорних перетворювачів. При цьому в першу чергу розраховують та вибирають параметри комутуючого та навантажувального кола окремої фази перетворювача а потім розраховують параметри вхідного фільтру.

## **Змістовий модуль 2 Робота електричного обладнання транспортних засобів у режимі гальмування**

*Тема 6 Загальні відомості про електричне гальмування транспортних засобів.*

Варто пам'ятати, що одним з істотних переваг електричної тяги є можливість застосування електричного гальмування, заснованого на використанні зворотності електричних машин: кожна електрична машина може працювати в режимі генератора і двигуна. Властивість зворотності є найважливішою перевагою електричних машин перед іншими перетворювачами енергії. Гальмівна сила електричного гальмування має ту ж природу, що і сила тяги, але спрямована в бік, протилежний руху поїзда. Розходження в абсолютних значеннях сил тяги й електричного гальмування обумовлено лише різним впливом механічних і магнітних втрат у двигуні і втрат у передачі. У той час як при тяговому режимі ці втрати викликають зниження сили тяги в порівнянні з електромагнітною на величину  $\Delta F_k = 3,6(\Delta P_m + \Delta P_{mx} + \Delta P_3)/V$ , при генераторному режимі вони збільшують на таку ж величину гальмівну силу і сприяють гальмуванню поїзда.

Також необхідно звернути увагу на переваги та недоліки електричного гальмування.

Форма гальмівної характеристики  $B(V)$  залежить від системи електричного гальмування. На відміну від механічного гальмування тут відповідним вибором схеми включення тягових машин і параметрів цих схем можна одержати характеристики бажаної форми.

### *Тема 7 Умови електричної стійкості в схемах гальмування.*

Схема електричного гальмування з двигуном послідовного збудження, замкнутим на гальмівний реостат, є електричною стійкою. У випадку установки на рухомому складі двох або чотирьох двигунів у режимі гальмування їх з'єднують паралельно або послідовно паралельно, тобто зберігають схему з'єднання двигунів, прийняту для нормальної роботи в тяговому режимі. Однак при паралельному з'єднанні двигунів послідовного збудження доводиться вживати спеціальних заходів для забезпечення їхньої стійкої роботи і рівномірного розподілу навантаження між ними.

Найкращий розподіл навантажень між паралельно включеними тяговими машинами і їхньою стійкою роботою забезпечує так звана перехресна схема, в якій обмотка збудження другого двигуна з'єднана послідовно з якорем першого, а його обмотка збудження - послідовно з якорем другого двигуна. Зростання струму в обмотці якоря кожної з цих машин викликає збільшення магнітного потоку і ЕРС іншої машини, що забезпечує стійку роботу і гарний розподіл навантажень.

### *Тема 8 Реостатне гальмування при послідовному збудженні тягових двигунів.*

Слід пам'ятати, що реостатне гальмування з генератором послідовного збудження одержало широке застосування. На електричному рухомому складі (ЕРС) міського транспорту його застосовують на вагонах метрополітену і на багатьох типах трамвайних вагонів.

Також необхідно звернути увагу на переваги та недоліки даного типу електричного гальмування а також на те, які операції необхідно виконати щоб перевести двигун послідовного збудження в генераторний режим.

Необхідно розглянути яким чином залежить процесу самозбудження від опору гальмівного реостата і швидкості. Дати визначення критичному опору та швидкості та від яких параметрів вони залежать.

Навести способи за допомогою яких зменшується час самозбудження електричної машини, а також приклади їх використання.

Навести залежності  $V(I)$  і  $V(B)$  характеристик реостатного гальмування з генератором послідовного збудження при різних опорах гальмівного реостата та показані також обмеження цих характеристик.

Слід пам'ятати, що принцип побудови гальмівної діаграми так само, як і процес пуску, можна розділити на дві стадії. У першій стадії гальмівний струм обмежений по максимальній напрузі на генераторі. В другій стадії гальмування проводиться приблизно при постійному середньому струмі. Побудову гальмівної діаграми зручніше починати з другої стадії.

*Тема 9 Реостатне гальмування при змішаному збудженні тягових двигунів.*

Слід пам'ятати, що при тягових машинах змішаного збудження, що у тяговому режимі працюють як двигуни згідно-змішаного збудження, принципово можливо чотири системи реостатного гальмування: живлення паралельної обмотки від мережі при зустрічному або згідному включенні паралельної і послідовної обмоток, самозбудження тягової машини також при зустрічному або згідному включенні обмоток збудження.

У схемах із самозбудженням струм в обмотках паралельного збудження пропорційний падінню напруги  $R_T I$  у гальмівному реостаті, тобто струму якоря. Отже, при самозбудженні обох обмоток виходять такі ж характеристики, як у режимі реостатного гальмування машини послідовного збудження. Але, регулювати швидкість і гальмівну силу тут значно трудніше, тому що при зменшенні опору гальмівного реостата різко знижується МРС паралельної обмотки, а разом з нею магнітний потік і гальмівна сила.

При великих опорах цього реостата збільшується МРС паралельної обмотки, внаслідок чого може надмірно підвищитися напруга. Крім того, через велику постійну часу паралельної обмотки сповільнюється самозбудження. Тому, незважаючи на бажаність самозбудження, що забезпечує незалежність

гальмування від напруги контактної мережі, його варто визнати недоцільним для реостатного гальмування машин змішаного збудження.

Однак більш сприятливі для реостатного гальмування умови створюються при зустрічно-змішаному збудженні з живленням паралельної обмотки від контактної мережі або при незалежному її живленні. У цьому випадку забезпечується інтенсивне збудження при переході на гальмівний режим, стійка рівнобіжна робота тягових машин і досить рівномірний розподіл навантажень між ними, зручне регулювання процесу гальмування.

Навести приклади використання реостатного гальмування при тягових машинах змішаного збудження.

***Тема 10** Рекуперативно-реостатне гальмування при імпульсному регулюванні тягових двигунів.*

Слід пам'ятати, що імпульсне керування ЕРС дозволяє здійснювати плавне регулювання швидкості не тільки в тяговому режимі, але і при електричному гальмуванні. Процес електричного гальмування істотно розрізняється при імпульсному і контакторно-реостатному керуванні. У випадку контакторно-реостатного керування рекуперація можлива лише при незалежному або змішаному збудженні і з ЕРС тягової машини, яка перевищує напругу контактної мережі. Імпульсне керування дозволяє здійснити рекуперацію, навіть якщо ЕРС менше напруги мережі й у більшості випадків при двигунах послідовного збудження. Можливо також реостатне гальмування з плавним безконтактним регулюванням швидкості, причому і при опорі гальмівного реостата, більшому за критичний.

Розглянути принцип роботи імпульсного перетворювача в процесі рекуперативного гальмування на прикладі спрощеної схеми електронного переривача та навести часові діаграми його роботи і основні рівняння, які пов'язують між собою середні значення струму, що повертається при рекуперації в контактну мережу та середній струм якоря ТЕД.

Навести залежності  $I_{я\text{ ср}}(V)$ ,  $I_{\text{РЕК ср}}(V)$ ,  $\lambda(V)$  при рекуперативному

гальмуванні та спрощену принципову схему рекуперативно-реостатного гальмування для двигунів послідовного збудження.

### *Тема 11 Магнітнорейкові гальма.*

Слід пам'ятати, що рейкові гальма дозволяють розвивати гальмівні сили, не обмежені зчепленням коліс з рейками. Відомі два види електромагнітних рейкових гальм: магнітнорейкові, при яких здійснюється притиснення спеціальних гальмівних башмаків до рейок, і гальма, у яких використовується гальмівний ефект від вихрових струмів, що наводяться в рейках за допомогою обмоток спеціальних башмаків, що не стикаються з рейками. У магнітнорейкових гальмах гальмівна сила виникає в результаті притиснення башмаків до рейок і передається на візок через її боковини. Тому реалізовані гальмівні сили не обмежені зчепленням коліс з рейками.

При рейкових гальмах, заснованих на дії вихрових струмів, щоб забезпечити достатню ефективність гальмування, обмотки гальмівних башмаків повинні створювати сильне магнітне поле в рейках і, як наслідок, сильні вихрові струми. На створення таких полів витрачається електричної енергії в багато разів більше, ніж у магнітнорейкових гальмах. Достоїнством гальмування вихровими струмами є незалежність гальмівної сили від стану поверхонь рейки і бандажа, ступеня їхнього забруднення і сили зчеплення між ними.

## **Змістовий модуль 3 Допоміжне електрообладнання транспортних засобів**

*Тема 12 Високовольтне допоміжне електрообладнання транспортних засобів.*

Слід пам'ятати, що на рухомому складі знайшли застосування допоміжні електричні машини та прилади, які отримують живлення від контактної мережі. Необхідно проаналізувати ці типи електроприводів з точки зору призначення, необхідної потужності, тривалості роботи, схеми підключення до контактної

мережі. Звернути увагу на призначення демпферних резисторів та методів їх розрахунку.

Визначити яким чином може виконуватися опалення пасажирського салону та кабіни водія рухомого складу взимку.

### ***Тема 13 Низьковольтне допоміжне електрообладнання.***

Визначити, з яких елементів складаються низьковольтні джерела живлення на різних типах електрорухомого складу.

Варто пам'ятати, що на рухомому складі знайшли застосування допоміжні електричні машини, прилади та апарати, які отримують живлення від низьковольтної мережі. Необхідно проаналізувати ці типи електроприводів з точки зору призначення, необхідної потужності, тривалості роботи, схеми підключення та типу збудження електричних машин.

Звернути увагу на типи збудження електричних двигунів, які використовуються в низьковольтних джерелах живлення.

Визначити, які номінальні значення напруг низьковольтних джерел живлення застосовуються на різних типах електрорухомого складу й від яких параметрів вони залежать.

Порівняти властивості лужних та кислотних акумуляторних батарей.

### ***Тема 14 Перетворювачі для зарядки акумуляторних батарей та живлення низьковольтних споживачів.***

Варто пам'ятати, що на рухомому складі знайшли застосування електромашинні та статичні перетворювачі для зарядки акумуляторних батарей та живлення низьковольтних споживачів.

Необхідно виконати порівняльний аналіз цих двох типів перетворювачів, з'ясувати їх переваги та недоліки.

Навести приклади схемної реалізації статичних перетворювачів для зарядки акумуляторних батарей з використанням тиристорів та IGBT транзисторів.



Звернути увагу при яких частотах працюють ці перетворювачі та яким чином це впливає на їхні габаритні розміри.

### ***Тема 15 Регулятори напруги допоміжних генераторів.***

Слід пам'ятати, що на рухомому складі знайшли широке застосування регулятори напруги електромагнітного, електронного й змішаного типів.

З переходом на системи електропостачання з генератором змінного струму регулятори електронного й змішаного типів практично витиснули електромагнітні регулятори, які широко застосовувалися в основному з генераторами постійного струму.

Навести приклади схемної реалізації регуляторів напруги електромагнітного, електронного й змішаного типів а також інтегрального.

Вияснити в який спосіб виконується регулювання вихідної напруги генератора при зміні частоти обертання привідного двигуна.

### ***Тема 16 Системи освітлення та сигналізації.***

Призначення системи освітлення та сигналізації. Навести приклади маркування світлових приладів, що отримали знак міжнародного затвердження.

Розглянути конструкцію світлових приладів транспортних засобів та приладів внутрішнього освітлення. Пояснити принцип європейського та американського світлорозподілів близького світла.

Пояснити будову ламп розжарювання, газорозрядних джерел світла та принцип дії покажчиків повороту.

### ***Тема 17 Попереджувальні системи захисту електрообладнання транспортних засобів.***

Надійну роботу електричного обладнання в значній мірі визначають розрахункові режими роботи електрообладнання. Значні відхилення величин напруги і струму від припустимих меж приводять до підвищеного зносу електрообладнання або до виходу його з ладу.

Для запобігання пошкоджень і надмірно швидкому зношуванню електрообладнання, а також для забезпечення безпеки пасажирів тягові двигуни, пускорегулюючу апаратуру, і допоміжне електрообладнання захищають спеціальними апаратами. У виникненні в тягових електродвигунах або на будь-якій ділянці пошкодження або аварії захисні апарати від'єднують пошкоджену ділянку або все електрообладнання від мережі.

Електричне обладнання захищають від перевантажень, коротких замикань, підвищеної і надмірно зниженої напруги, перенапруг і струмів витоку. Крім того, на електрорухомому складі встановлюють пристрої для припинення буксування коліс, пристосування, що захищають радіоприйом від перешкод, які викликаються дією електрообладнання.

Основними причинами виникнення радіоперешкод є: відрив струмоприймачів від контактних проводів, різкі зміни струму при включенні і вимиканні контролера управління та контакторів силового кола, іскріння на колекторах тягових електричних двигунів, а також дія звукової сигналізації.

Дати визначення превентивних систем захисту електрообладнання та навести приклади таких систем.

***Тема 18 Системи захисту електрообладнання транспортних засобів за відхиленням контролюємих параметрів.***

Дати визначення абортивних систем захисту електрообладнання та навести приклади таких систем.

Варто пам'ятати, що під *перевантаженням* електричного кола мають на увазі величину струму, що перевищує максимально допустимий струм для елементів цього кола. Перевантаження силового кола можуть виникати із-за передчасного виключення окремих рівнів пускових або гальмівних опорів в результаті несправності або неправильної дії водія при ручному (неавтоматичному) управлінні, а також порушення правильної дії системи автоматичного управління. Перевантаження можуть виникати також при русі максимально навантаженого рухомого складу на важких підйомах. Короткі

замикання виникають при порушенні ізоляції між провідниками або струмоведучими деталями електричних апаратів і машин, а також при колових вогнях на колекторах тягових двигунів і допоміжних машинах і при перекиданнях дуги на корпус електричних машин.

Перевантаження і короткі замикання до перегріву обмоток тягових електродвигунів, апаратів, проводів і кабелів і при недостатній швидкодії захисту можуть викликати пошкодження окремих елементів електрообладнання і порушенню нормальної комутації електродвигунів. Перевантаження, що часто повторюються, викликають погіршення комутації електричних машин і прискорене старіння ізоляції.

Розглянути схеми рухомого складу при різних способах повторного включення реле перевантаження та взаємного блокування з лінійними контакторами.

Розглянути роботу схем рухомого складу при надмірних підвищеннях та зниженнях напруги в контактній мережі а також при коротких замиканнях.

### *Тема 19 Системи захисту від проковзування коліс.*

Слід пам'ятати, що буксування колісних пар у режимі тяги і юз при електричному гальмуванні порушують режим роботи електрорухомого складу обмежуючи силу тяги або гальмування, підвищують імовірність погіршення комутації тягових двигунів, особливо при послідовному з'єднанні двигунів, коли ковзання викликає нерівномірний розподіл напруги між ними. Схильність колісних пар до буксування і юза істотно залежить від жорсткості тягової (гальмівної) характеристики і жорсткості характеристики ковзання.

Буксування (юз) викликає падіння сили тяги (гальмування): при послідовному з'єднанні двигунів сила тяги падає на всіх колісних парах, зв'язаних із двигунами послідовного кола.

Буксування особливо сильно впливає на роботу електрорухомого складу при веденні поїздів на підйомах із силою тяги, близькою до граничної по зчепленню, і часто обмежує вагову норму потяга.

Юз лімітує гальмову силу і знижує ефективність електричного гальмування. Юз особливо небезпечний при послідовному з'єднанні двигунів і «м'яких» характеристиках ковзання, що поширюються в область негативної швидкості юза. У цьому випадку при уповільненому проходженні юзуючою колісною парою режиму повного юза ( $v_{ю} = 0$ ) можливе утворення «лисок» на бандажах, особливо при одночасній дії механічного гальма.

Розглянути приклади схемних рішень вузлів виявлення і припинення буксування та юзу колісних пар для різних схем з'єднання тягових двигунів рухомого складу, проаналізувати їх переваги та недоліки і можливість використання на міськелектротранспорті.

Навести параметри, від яких залежить величина коефіцієнта зчеплення, та яким чином він впливає на вибір режиму роботи транспортного засобу.

***Тема 20** Високовольтні схеми транспортних засобів. Принципи проектування. Схеми керування тяговими електричними двигунами.*

Дати визначення принципів та монтажним схемам рухомого складу, визначити чим вони відрізняються та де використовуються.

Визначити, які режими роботи рухомого складу повинні забезпечувати високовольтні схеми електроприводів рухомого складу.

Виконати порівняльний аналіз роботи високовольтних схем електроприводів рухомого складу при використанні одноопераційних тиристорів, GTO тиристорів та IGBT транзисторів з тяговими двигунами постійного струму.

Розглянути роботу рухомого складу з асинхронним тяговим приводом та способи регулювання режимів роботи.

## **2.2 Завдання для самоперевірки за темами змістових модулів дисциплін**

### **Завдання № 1**

Розрахувати параметри пуску рухомої одиниці згідно з вихідними даними:

- Вид транспортного засобу і тип аналога;
- Маса тари;
- Розрахункове наповнення;
- Тип тягового двигуна;
- Пускове прискорення.

В результаті розрахунків повинно одержати:

- Початковий струм;
- Середній пусковий струм;
- Значення опору реостата по позиціях пуску;
- Реостатні характеристики та діаграму струму по позиціях.

### **Завдання № 2**

Розрахувати параметри ослаблення поля за вихідними даними попередньої роботи. В результаті розрахунків повинно одержати:

- Кількість позицій ослаблення поля;
- Коефіцієнти ослаблення поля по позиціях;
- Значення опорів кіл ослаблення поля по позиціях;
- Характеристики швидкості та сили тяги по позиціях ослаблення поля;
- Пускову діаграму.

### **Завдання № 3**

Розрахувати параметри електродинамічного гальмування за вихідними даними попередніх завдань та заданому розрахунковому уповільненню. В результаті розрахунків повинно одержати:

- Значення опору гальмівного кола по позиціях гальмування;
- Характеристики швидкості та гальмівної сили при службовому (розрахунковому) гальмуванні;

- Характеристики швидкості та гальмівної сили при частковому гальмуванні (пригальмовуванні).

Вихідні дані для виконання завдання

№ п/п	Тип транспортного засобу	Тип електродвигунів	$G_T$ , кН	$a$ , м/с <sup>2</sup>	$b$ , м/с <sup>2</sup>	$M$ , люд.
1	трамвай Т-3	ТЕ-022	160	1,81	1,79	185
2	тролейбус TROLZA	ДК-210	110	1,3	1,2	95
3	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	100	1,4	1,2	80
4	трамвай Т-3	ТЕ-022	165	1,75	1,76	160
5	тролейбус TROLZA	ДК-210	95	1,31	1,32	105
6	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	105	1,45	1,25	85
7	трамвай Т-3	ТЕ-022	170	1,69	1,7	165
8	тролейбус TROLZA	ДК-210	120	1,25	1,26	90
9	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	110	1,5	1,3	90
10	трамвай Т-3	ТЕ-022	175	1,81	1,82	160
11	тролейбус TROLZA	ДК-210	125	1,24	1,25	85
12	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	115	1,6	1,35	95
13	трамвай Т-3	ТЕ-022	195	1,55	1,56	190
14	тролейбус TROLZA	ДК-210	108	1,23	1,24	105
15	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	120	1,8	1,4	100
16	трамвай Т-3	ТЕ-022	185	1,75	1,76	180
17	тролейбус TROLZA	ДК-210	115	1,35	1,36	109
18	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	100	1,5	1,3	90
19	трамвай Т-3	ТЕ-022	180	1,61	1,62	180
20	тролейбус TROLZA	ДК-210	105	1,32	1,33	110
21	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	112	1,37	1,37	98
22	трамвай Т-3	ТЕ-022	180	1,8	1,81	175
23	тролейбус TROLZA	ДК-210	125	1,28	1,29	90
24	тролейбус ПМЗ-Т2	ДК-138А	100	1,5	1,2	85
25	трамвай Т-3	ТЕ-022	167	1,9	1,92	140

## Питання для самостійної роботи студентів

Індивідуальні семестрові завдання для самостійної роботи студентів містять розгляд наступних питань:

1. Реле керування і апарати захисту.
2. Струмоприймачі та їх характеристики.
3. Принцип дії основних напівпровідникових приладів, які використовуються у апаратах безконтактного керування.
4. Магнітні посилювачі та безконтактні магнітні реле.
5. Трансформатори постійного струму і напруги.
6. Напівпровідникові логічні елементи.
7. Реле з магнітокеруємими контактами.
8. Силкові блоки тиристорно-імпульсних перетворювачів.
9. Перегрупування електродвигунів коротким замкненням.
10. Перегрупування електродвигунів шунтуванням.
11. Перегрупування електродвигунів по схемі моста.
12. Принципова схема ТІП для комбінованого регулювання.
13. Переривачі з додатковим розряджуваним контуром.
14. Переривачі з додатковим зарядженням комутуючих конденсаторів у функціях струму навантаження.
15. Переривачі з додатковим розрядженим контуром і дозарядженням комутуючих конденсаторів.
16. Запирання додаткових тиристорів за допомогою дроселів дозарядження.
17. Електромагнітні процеси і двохфазної схемі з загальним вузлом комутації при вмиканні переривача.
18. Вибір індуктивності розряджуваних дроселів.
19. Вибір ємності комутуючих конденсаторів.
20. Системи керування приводами клавішних і колекторних контролерів.
21. Автоматичне регулювання струму тягових двигунів за допомогою фазозсувного приладу на магнітних посилювачах.

22. Автоматичне регулювання струму тягових двигунів з напівпровідниковими фазозсувними приладами.
23. Поєднання схеми керування ЕРС з управлінням тиристорним регулювачем.
24. Система автоматичного керування САУ-м для поїздів метрополітену.
25. Призначення і типи допоміжних електричних машин.
26. Загальні відомості про акумуляторні батареї.
27. Високовольтний статичний перетворювач.
28. Система керування статичними перетворювачами

### **З ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»**

**Практичне заняття** – форма навчального заняття, при якій викладач організує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентом відповідно сформульованих завдань.

Практичні заняття проводяться в аудиторіях або в навчальних лабораторіях, оснащених необхідними технічними засобами навчання, обчислювальною технікою. Практичне заняття проводиться з однією навчальною групою.

Перелік тем практичних занять визначається у робочій програмі навчальної дисципліни. Проведення практичного заняття ґрунтується на попередньо підготовленому методичному матеріалі – тестах або переліку питань для виявлення ступеня оволодіння студентами необхідними теоретичними положеннями, наборі завдань різної складності для розв’язування їх студентами на занятті.



Вказані методичні засоби готуються викладачем, якому доручено проведення практичних занять, за погодженням з лектором даної навчальної дисципліни.

Практичне заняття включає проведення попереднього контролю знань, умінь і навичок студентів, постановку загальної проблеми та її обговорення за участю студентів, розв'язування завдань з їх обговоренням, розв'язування контрольних завдань, їх перевірку, оцінювання.

Оцінки, одержані студентом на практичних заняттях, виставляються в журнал обліку практичних занять з навчальної дисципліни викладачем та враховуються при визначенні підсумкової оцінки з даної навчальної дисципліни.

### **Теми практичних занять за змістовими модулями**

#### **ЗМ 1 Робота електричного обладнання транспортних засобів у режимі пуску**

- 1 Системи керування тягових двигунів транспортних засобів.
- 2 Електричні схеми транспортних засобів з реостатно-контакторною системою керування.
- 3 Особливості режиму пуску та вибігу тролейбусу Trolza.
- 4 Визначення пускових струмів та сили тяги електричних двигунів різних типів.
- 5 Визначення опорів ступенів пускових реостатів двигунів постійного струму.

#### **ЗМ 2 Робота електричного обладнання транспортних засобів у режимі гальмування**

- 6 Розробка схем пускових реостатів двигунів постійного струму.
- 7 Коефіцієнти апроксимації навантажувальних характеристик.
- 8 Визначення швидкісних характеристик на ослабленому полі тягового електричного двигуна постійного струму.

- 9 Побудова пускової діаграми.
- 10 Особливості режиму електричного гальмування тролейбусу Trolza.
- 11 Ознайомлення з конструкцією сучасного електрообладнання транспортних засобів. (Виїзд на підприємства МЕТ).

### **ЗМ 3 Допоміжне електрообладнання транспортних засобів**

- 12 Особливості режиму пуску трамвайного вагону Т-3.
- 13 Розрахунок гальмівного режиму.
- 14 Особливості режиму вибігу та електричного гальмування трамвайного вагону Т-3.
- 15 Побудова гальмівної діаграми.
- 16 Вибір елементів пускогальмівного реостата.
- 17 Ознайомлення з конструкцією сучасного електрообладнання транспортних засобів. (Виїзд на підприємства МЕТ).
- 18 Імпульсне керування транспортних засобів.  
Схеми імпульсних переривачів.
- 19 Згладжуванні пристрої у системах з імпульсним керуванням.
- 20 Визначення параметрів імпульсних переривачів.

## **4 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО–ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ З НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»**

### **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. Розрахунок пускового режиму роботи електричного обладнання транспортних засобів.
2. Розрахунок коефіцієнтів апроксимації навантажувальних характеристик.
3. Реалізація режиму ослаблення поля в тяговому електроприводі постійного струму.
4. Розрахунок гальмівного режиму роботи електричного обладнання транспортних засобів.
5. Опис роботи силової схеми та схеми керування електричного обладнання транспортних засобів.

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 35...45 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 використаної 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 оформленій пояснювальній записці. Захистом роботи є співбесіда, на якому викладачем з'ясовується не тільки рівень теоретичної підготовленості студента, але і його розуміння методик моделювання, використаних в роботі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрійченко В. П. Електричне обладнання транспортних засобів: конспект лекцій для студентів 3, 4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 – Електромеханіка та слухачів другої вищої освіти спеціальності «Електричний транспорт» / В. П. Андрійченко, С. О. Закурдай ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва;– Х.: ХНАМГ, 2012. – 157 с.
2. Андрійченко В. П. Електричне обладнання рухомого складу: конспект лекцій для студентів 3,4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки 6.05070203 – «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальності «Електричний транспорт» / В. П. Андрійченко, С. О. Закурдай; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва;– Харків : ХНАМГ, 2012. – 157 с.
3. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисциплін «Електричне обладнання транспортних засобів», «Електричне обладнання транспортних засобів» для студентів 3,4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050702 – «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. П. Андрійченко, С. О. Закурдай – Харків : ХНАМГ, 2012. – 71 с.
4. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальних дисциплін «Електричне обладнання транспортних засобів», «Електричне обладнання рухомого складу» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньою програмою «Електромеханіка») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: С.О. Закурдай. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 121 с.

*Виробничо-практичне видання*

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи,  
проведення практичних занять  
та виконання розрахунково-графічної роботи  
із навчальних дисциплін

**«ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ»**

**«ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ»**

*(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. 151М

---

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.