



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



# Системи нахилу кузовів рухомого складу залізниць

### Шифр та назва спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

### Інститут

ННІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Електромеханіка

### Кафедра

Електричного транспорту та тепловозобудування (125)

### Рівень освіти

Магістр

### Тип дисципліни

Професійна підготовка (вибіркова)

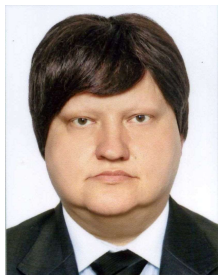
### Семестр

3

### Мова викладання

Українська,

## Викладачі, розробники



### Якунін Дмитро Ігорович

[dmytro.iakunin@kpi.edu.ua](mailto:dmytro.iakunin@kpi.edu.ua)

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричного транспорту та тепловозобудування НТУ «ХПІ»

Досвід роботи у НТУ "ХПІ" – понад 20 років. Автор та співавтор понад 40 наукових та методичних публікацій. Курси: «Тяговий привод рухомого складу. ч.1», «Автономні енергетичні пристрої», «Акредитація, випробування та сертифікація засобів електричного транспорту», «Акредитація, випробування та сертифікація засобів електричного транспорту».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](https://web.kpi.kharkov.ua/ett/sklad/)

<https://web.kpi.kharkov.ua/ett/sklad/>

## Загальна інформація

### Анотація

В рамках курсу розглядаються питання застосування на залізницях швидкісного рухомого складу з кузовами, що нахиляються.

### Мета та цілі дисципліни

Мета вивчення дисципліни – теоретично і практично підготувати інженерів даних спеціальностей що володіють теоретичними і практичними правовими та методичними знаннями щодо конструкції, особливостей експлуатації, переваг та недоліків швидкісного рухомого складу, призначеного для руху існуючими магістралями, обладнання якого дозволяє пришвидшити проходження кривих ділянок шляху за рахунок використання технології нахилу кузова, яка дозволяє компенсувати незгашене бічне прискорення.

## Формат занять

Лекції, практичні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

## Компетентності

- K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- K03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- K04. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- K06. Здатність продукувати нові ідеї, приймати обґрунтовані рішення, проявляти креативність та системне мислення, виявляти та оцінювати ризики
- K13. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
- K15. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові та технічні методи і відповідне програмне забезпечення для вирішення науково-технічних проблем та проводити наукові дослідження в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.
- K16. Здатність застосовувати наявні та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань, зокрема при проектуванні та експлуатації об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.
- K17. Здатність застосовувати аналітичні методи аналізу, математичне моделювання та виконувати фізичні, математичні і обчислювальні експерименти для розв'язання інженерних завдань та при проведенні наукових досліджень.
- K18. Здатність застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових завдань інженерної та наукової діяльності в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.
- K19. Здатність використовувати отримані знання та уміння для проведення наукових досліджень відповідного рівня.
- K21. Здатність до пристосовування та дій в новій ситуації, застосування ефективних стратегій і засобів для вирішення пізнавальних задач.
- K22. Здатність використовувати закони та інженерні принципи, математичний апарат високого рівня для проектування, моделювання, конструювання, виробництва, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації об'єктів, у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту.
- K23. Здатність досліджувати, аналізувати, застосовувати, науково обґрунтовувати вибір матеріалів, обладнання та застосування технологічних заходів для реалізації новітніх технологій у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту.
- K25. Здатність виявляти об'єкти електричного транспорту та систем його електропостачання для вдосконалення техніки та технологій.
- K26. Здатність розробляти та розраховувати схеми електротехнічних та електромеханічних установок різного призначення, визначати склад обладнання та розраховувати режими їхньої роботи.

## Результати навчання

- ПР02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні.
- ПР03. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.
- ПР05. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах.
- ПР06. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.
- ПР08. Здійснювати пошук джерел ресурсної підтримки для додаткового навчання, наукової та інноваційної діяльності.
- ПР10. Дотримуватися принципів та правил академічної доброчесності в освітній та науковій діяльності.

ПР17. Вирішувати професійні задачі з проектування, монтажу та експлуатації електроенергетичних, електротехнічних, електромеханічних комплексів та систем.  
ПР21. Збирати та інтерпретувати необхідні дані, визначати сучасний стан та тенденції розвитку показників та характеристик електротехнічного обладнання у сфері електричних машин, електричних апаратів, електропобутової техніки та електротранспорту, зокрема із застосуванням сучасних інформаційних технологій.  
ПР27. Здійснювати аналіз і синтез при вивченні технічних систем об'єктів електричного транспорту та систем його електропостачання.

### **Обсяг дисципліни**

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредити ECTS): лекції – 16 год., практичні роботи – 32 год., самостійна робота – 72 год.

### **Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)**

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Основи наукових досліджень», «Проблеми та перспективи розвитку електроенергетики та електромеханіки», «Моделювання систем та пристроїв електричного транспорту»

### **Особливості дисципліни, методи та технології навчання**

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. На практичних заняттях використовується проєктний підхід до навчання, ігрові методи, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій.

## **Програма навчальної дисципліни**

### **Теми лекційних занять**

#### **Тема 1. Стан питання та передумови використання технології нахилу кузовів**

Потяги з кузовами, що нахилиються - перспективна технологія. Етапи розвитку технології нахилу кузовів. Аналіз схем систем нахилу кузовів. Пасивна, пасивно-активна та активна системи. Виконавчі механізми, силові приводи, системи управління. Перспективні конструкції приводів систем нахилу кузовів.

#### **Тема 2. Наукові основи роботи приводу з лінійним електродвигуном для нахилу кузовів**

Початкові положення. Структурна схема механізму нахилу кузова. Мнемонічна схема механізму нахилу кузова. Характеристика навантаження механізму нахилу. Залежність сили виконавчого механізму від кута нахилу. Вибір типу електромеханічного перетворювача енергії. Тягова і навантажувальна характеристики.

#### **Тема 3. Математична модель руху екіпажа з механізмом нахилу кузова.**

Схема путьового входу. Схема механічної частини системи нахилу кузова. Базова система рівнянь. Принципова схема системи електромеханічного перетворення енергії. Ескіз поперечного перерізу коаксіального лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу. Розрахункова схема перетворювача. Узагальнена математична модель. Критерії оцінювання ефективності роботи механізму нахилу кузова.

#### **Тема 4. Дослідження робочих властивостей приводу шляхом імітаційного моделювання**

Імітаційна модель системи приводу нахилу кузовів. Розробка математичної, імітаційно-орієнтованої моделі для застосування її в пакеті Simulink. Застосування модулів і компонентів SimMechanics, SimPowerSystem та S-модулів стандартних бібліотек MATLAB Simulink. Імітаційне моделювання в середовищі FEMM. Блок-схема імітаційної моделі.

#### **Тема 5. Достовірність імітаційної моделі**

Фізична модель виконавчого механізму. Допоміжна імітаційна модель системи нахилу кузова. Результати натурних вимірів і імітаційного моделювання. Модель електромеханічного перетворювача енергії, за своїми геометричними і фізичними параметрами ідентична натурній моделі електромагнітного двигуна. Дані випробувань лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу. Розрахункові тягові характеристики, отримані при різному струмі. Порівняння натурних та теоретичних характеристик.

## Тема 6. Рішення тестової задачі

Межі варіювання кінематичних параметрів. Параметри путьової частини. Параметри механічної частини. Схема кінематики механізму нахилу кузова. Схема габаритних обмежень механізму нахилу кузова. Параметри електричної частини. Вибір параметрів путьової частини. Вибір конфігурації механічної частини. Вибір параметрів розміщення електромеханічного силового перетворювача енергії. Траєкторії зміщення центру мас і миттєвого центру повороту. Схема розміщення лінійних двигунів з урахуванням вписування в габаритні обмеження. Рекомендоване розташування лінійних двигунів. Вибір параметрів лінійного двигуна для вирішення тестового завдання. Femm-модель коаксіального лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу і результати розрахунку магнітного поля.

## Тема 7. Оцінка ефективності системи електромеханічного перетворення енергії

Критерії оцінки ефективності роботи електричної частини приводу нахилу кузова. Вимірвальний ланцюг імітаційної моделі. Дослідження впливу діаметру якоря на ефективність електричної частини нахилу кузова. Обмеження, що накладені на критерії - за функціональністю та компоновкою. Залежність функції ухвалення рішення про ефективність приводу від діаметру якоря коаксіального лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу. Дослідження впливу числа витків обмотки якоря на ефективність електричної частини нахилу кузова.

## Тема 8. Концептуальний проект електромеханічної системи приводу з лінійним двигуном для нахилу кузовів

Компонування екіпажа. Модель візка, оснащеного механізмом нахилу. Схема розміщення елементів механізму. Тяговий коаксіальний лінійний двигун постійного струму електромагнітного типу. Характеристики механізму нахилу кузова. Результати цифрового моделювання системи нахилу кузова. Порівняльний аналіз електромеханічних приводів систем нахилу кузова.

## Теми практичних занять

Тема 1. Математичне моделювання характеристики навантаження механізму нахилу

Тема 2. Моделювання та порівняння заданих схем лінійних двигунів

Тема 3. Моделювання руху екіпажа кривою, визначення потрібного кута нахилу кузова

Тема 4. Створення імітаційної моделі механізму нахилу кузова з електромеханічним силовим приводом

Тема 5. Імітаційне моделювання лінійного двигуна в середовищі FEMM

Тема 6. Порівняння характеристик фізичної моделі виконавчого механізму з його допоміжною імітаційною моделлю.

Тема 7. Порівняння характеристик фізичної моделі лінійного двигуна з його моделлю.

Тема 8. Дослідження залежності сили на штоку механізму нахилу від кута нахилу при варіюванні розміщенням лінійного двигуна електромагнітного типу

Тема 9. Дослідження залежності величини сили на штоку лінійного двигуна і його ходу від розташування точок його кріплення

Тема 10. Отримання тягових характеристики коаксіального лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу для різних значень MPC та співставлення їх із навантажувальною характеристикою

Тема 11. Дослідження залежностей критеріїв, що характеризує капітальні та експлуатаційні витрати від діаметру якоря коаксіального лінійного двигуна постійного струму електромагнітного типу

Тема 12. Дослідження залежності кількості спожитої енергії від числа витків обмотки коаксіального лінійного двигуна

Тема 13. Аналіз результатів цифрового моделювання системи нахилу кузова

### Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи в рамках дисципліни не передбачені

### Самостійна робота

Курс передбачає виконання індивідуального завдання у вигляді реферату. Студентам також рекомендуються додаткові матеріали (відео, статті) для самостійного вивчення та аналізу

### Література та навчальні матеріали

«Основна література»

1. Якунин, Дмитро Ігорович. Електромеханічна система приводу з лінійним двигуном для нахилу кузовів швидкісного рухомого складу [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.09 / Якунін Дмитро Ігорович ; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". - Х., 2010. - 202 с. : рис., табл. - Бібліогр.: арк. 191-200.
2. Єріцян Б. Х. Синтез комбінованої системи нахилу кузова швидкісного електричного рухомого складу [Електронний ресурс] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.09 / Багіш Хачикович Єріцян ; [наук. керівник Любарський Б. Г.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2016. – 21 с. – Бібліогр.: с. 16-19. – укр.
3. Persson, Rickard. (2008). Tilting trains : Technology, benefits and motion sickness. [https://www.researchgate.net/publication/279501934\\_Tilting\\_trains\\_Technology\\_benefits\\_and\\_motion\\_sickness](https://www.researchgate.net/publication/279501934_Tilting_trains_Technology_benefits_and_motion_sickness)
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/Tilting\\_train](https://en.wikipedia.org/wiki/Tilting_train)

«Додаткова література»

1. Єріцян Б.Х., Любарський Б.Г., Якунін Д.І. Моделювання комбінованої системи нахилу кузова швидкісного рухомого складу залізничного транспорту // СЕЖПТ. 2016. №9 (80).
2. <https://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr55/pdf/30-38web.pdf>
3. <https://www.railway-technology.com/projects/pendolino-train/?cf-view>

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

100% підсумкової оцінки складаються з результатів оцінювання у вигляді екзамену (40%) та поточного оцінювання (60%).

Екзамен: усна доповідь.

Поточне оцінювання: 2 модульні тести та реферат (по 20%).

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження, підпис

Завідувач кафедри  
Борис ЛЮБАРСЬКИЙ

Дата погодження, підпис

Гарант ОП  
Володимир МІЛИХ