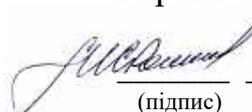


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем (№ 202)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Максим РОМАНОВ
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«_27_» ___06___ 2025 р.

**СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Динамічна стійкість промислових роботів

(назва навчальної дисципліни)

)

Галузь знань: _13 Механічна інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: _131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: Роботомеханічні системи і логістичні комплекси
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2025

Харків – 2025 р.

Розробник: Нарижний О.Г., доцент, канд.. техн.. наук, доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри № 202
Теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем)_
(назва кафедри)

Протокол № 10 від « 27 » 06 2025 р.

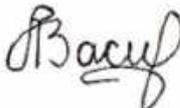
Завідувач кафедри д.т.н, професор
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Олег БАРАНОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

здобувач вищої освіти групи 259


(підпис)

Єлизавета ЗАСІД
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ:Нарижний Олександр Георгійович

Посада: доцент кафедри

Науковий ступінь: канд.. техн.. наук

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

- Прикладна механіка
 - Динамічна стійкість промислових роботів
 - Динаміка механічних систем
 - Теоретичні основи інженерного аналізу
-

Напрями наукових досліджень:

- Чисельне комп'ютерне моделювання динаміки гетерогенних механічних систем
-

Контактна інформація:

- o.naryzhniy@khai.edu
-

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	Денна
Семестр	8 (нормативний), 6 (скорочений)
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Обов'язкова
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	5,5 кредити ЄКТС / 165 годин (48 аудиторних, з яких: лекції –24, практичні –24; СРЗ –117);
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні (семінарські) заняття, самостійна робота
Види контролю	Поточний контроль, модульний контроль, семестровий контроль – іспит
Пререквізити	«Основи конструювання роботів»
Кореквізити	«Сучасні методи оптимізації конструкцій», «Технологічні основи літакобудування»
Постреквізити	«Кваліфікаційна робота бакалавра»

3. Мета та завдання навчальної дисципліни, переліки компетентностей та очікуваних результатів навчання

Мета –формування системи знань, способів діяльності та творчих здібностей з основних теоретичних положень про закономірності та особливості коливань та стійкість руху роботів-маніпуляторів, а також засвоєння методів та вмінь, які б дозволяли на практиці реалізувати ці знання.

Завдання – Вивчення математичної теорії коливань механічних систем з одним, багатьма та нескінченною кількістю ступенів руху та основ теорії стійкості руху механічних систем, а також формулювання та рішення задач динаміки з урахуванням коливань та стійкості руху для ефективного використання при проектуванні та експлуатації роботів- маніпуляторів.

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми галузевого машинобудування, що передбачає застосування певних теорій та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК10. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК14. Здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів не доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності

ФК1. Здатність застосовувати типові аналітичні методи та комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування, ефективні кількісні методи математики, фізики, інженерних наук, а також відповідне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування.

ФК2. Здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язування професійних задач і практичних проблем галузевого машинобудування.

ФК4. Здатність втілювати інженерні розробки у галузевому машинобудуванні з урахуванням технічних, організаційних, правових, економічних та екологічних аспектів за усім життєвим циклом машини від проектування, конструювання, експлуатації, підтримки працездатності, діагностики та утилізації.

ФК5. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проектування та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань в галузі машинобудування.

ФК 15. Здатність здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.

ФК22. Знання особливостей динаміки складних роботомеханічних систем з урахуванням коливань та ударів, пружності і в'язкості зв'язків, та їх впливу на точність і стійкість руху та позиціонування.

Програмні результати навчання:

ПРН1 Знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування відповідної галузі.

ПРН3 Знати і розуміти системи автоматичного керування об'єктами та процесами галузевого машинобудування, мати навички їх практичного використання.

ПРН5 Аналізувати інженерні об'єкти, процеси та методи.

ПРН11 Вільно спілкуватися з інженерним співтовариством усно і письмово державною та іноземною мовами.

ПРН16 - Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин.

ПРН17 - Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження.

ПРН19 - Навички практичного використання комп'ютерних систем проектування (CAD), виробництва (CAM) і інженерних досліджень (CAE).

ПРН20 - Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

ПРН25 - Формулювати моделі механічних систем роботів, пов'язаних з рішенням задач кінематики і динаміки маніпуляторів, розраховувати траєкторії руху робочих органів роботів.

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Коливання дискретних систем

Тема 1. Вступ до дисципліни. Коливання систем з одним ступенем вільності.

Зміст теорії коливань. Кількість ступенів вільності. Тип коливального процесу. Вид диференціального рівняння (ДР).

Системи з одним ступенем вільності. Стан покою. Види рівноваги, Теорема Лагранжа. Роль дисипативних сил. Лінеаризація нелінійних ДР. Коефіцієнт в'язкого спротиву.

Рівняння малих коливань загального вигляду для системи з одним ступенем вільності. Рівняння Лагранжа 2 роду. Кінетична енергія системи. Роль голономності зв'язків. Узагальнений інерційний коефіцієнт. Узагальнені потенціальні сили. Квазіупружний коефіцієнт. Тотожність Лагранжа. Дисипативна функція Релея. Узагальнений дисипативний коефіцієнт. Механічний сенс Дисипативної функції. Загальна механічна енергія системи. Узагальнена неконсервативна функція. Загальний вигляд диференціального рівняння малих коливань.

Вільні коливання консервативної системи. Рівняння малих вільних коливань консервативної системи. Рішення рівняння коливань. Константи інтегрування. Початкові умови. Періодичність рішення, Період власних коливань. Коливання кривошипного механізму.

Вільні коливання неконсервативної системи. Загальне рівняння вільних коливань. Рішення рівняння. Характеристичне рівняння. Корні характеристичного рівняння. Випадок малого спротиву. Вигляд рішення, Графічна залежність рішення від часу. Декремент згасання. Логарифмічний декремент згасання. Випадок критичного спротиву. Корні характеристичного рівняння. Загальне рішення. Графіки рішення. Випадок великого спротиву. Аперіодичність загального рішення.

Узагальнена сила при гармонічному збудженні. Вигляд функції збудження. Амплітуда, кутова частота та початкова фаза збудження. Силowe збудження. Вигляд узагальненої сили. Кінематичне збудження. Інерційне збудження.

Вимушені коливання при відсутності в'язкого спротиву. Диференціальне рівняння коливань. Неоднорідність ДР. Випадок відсутності резонансу. Часткове рішення. Загальне рішення. Зсув фази. Коефіцієнт розладу. Коефіцієнт динамічності. Випадок резонансу. Часткове рішення. Загальне рішення. Залежність вимушених коливань в випадку резонансу.

Вимушені коливання при наявності в'язкого спротиву. Вигляд диференціального рівняння. Вигляд рішення. Три варіанти загального рішення однорідного рівняння. Часткове рішення. Метод комплексних амплітуд. Три варіанти загального рішення. Головне значення. Властивості коливань. Аналіз рішення у безрозмірному вигляді. Випадки силового та

кінематичного збудження коливань. Коефіцієнт згасання. Добротність. Коефіцієнт динамічності. Амплітудно- частотна характеристика. Фазо- частотна характеристика. Випадок інерційного збудження коливань. Перехідні процеси.

Тема 2. Коливання систем з скінченною кількістю ступенів вільності.

Рівняння Лагранжа 2 роду. Швидкості матеріальних частинок. Кінетична енергія. Потенціальні узагальнені сили. Квазіупружні коефіцієнти. Достатні умови стійкості рівноваги. Критерій Сільвестра. Потенціальні узагальнені сили. Дисипативні сили. Дисипативна функція Релея. Позитивна визначеність функції. Система ЗДР малих коливань лінійної системи.

Вільні коливання лінійної консервативної системи з 2 ступенями вільності. Парціальна система. Парціальні частоти. Рішення для парціальних систем. Власні частоти коливань системи. Головні коливання. Коефіцієнти розподілу амплітуд. Форми головних коливань. Вимушені коливання лінійної системи з 2 ступенями вільності при гармонічному збудженні.

Вимушені коливання лінійної системи з 2 ступенями вільності. Гармонічний гасник коливань. Часткове рішення. Резонанс. Система з пружним зв'язком. Антирезонанс. Динамічне гасіння коливань. Динамічний гасник коливань. Вплив демпфера. Безрозмірні параметри. Безрозмірна амплітуда коливань. Амплітудно- частотна характеристика. Жорсткий зв'язок. Раціональний вибір параметрів гасника.

Коливання лінійних систем з скінченною кількістю ступенів вільності. Матрична форма диференціальних рівнянь руху. Визначення власних характеристик системи. Спектр власних частот. Власні вектори, Власні форми коливань. Властивості власних частот та форм коливань. Вільні коливання консервативних систем. Нормальні (головні) координати. Рішення загальної задачі.

Модульний контроль.

Змістовний модуль 2. Стійкість руху та коливання механічних систем.

Тема 3. Коливання систем з розподіленими параметрами.

Вільні коливання. Диференціальне рівняння вільних коливань. Рівняння поздовжніх коливань тонкого прямого стержня. Рівняння крутних коливань прямого вала круглого перерізу. Рівняння руху стискаємої рідини в довгій прямій трубі. Рівняння руху розтягнутої струни. Рівняння руху згину тонкого прямого стержня. Рівняння руху розтягнутих пружних мембран та тонких пластин. Поділ змінних. Приведення до задачі про власні значення.

Аналіз власних частот та форм коливань. Поздовжні коливання тонкого прямого стержня. Крутні коливання прямого вала круглого перерізу. Поперечні коливання розтягнутої струни. Поперечні коливання тонкого прямого стержня. Коливання розтягнутих пружних мембран. Коливання потоку стискаємої рідини в довгій прямій трубі.

Ортогональні властивості головних форм коливань.

Тема 4. Основи стійкості руху.

Диференційне рівняння руху. Незбурений та збурений рух системи. Міра відхилення руху системи. Поняття про стійкість руху. Асимптотично- стійкий рух. Нестійкий рух. Диференційне рівняння збуреного руху. Перетворення до виду ЗДР першого порядку, фазові координати. Зауваження. Приклади: а) вільні коливання фізичного маятника; б) сферичний рух твердого тіла під дією зовнішніх сил.

Лінеаризація диференційних рівнянь. Переваги лінійних рівнянь - наявність аналітичних рішень и вигляді явних функцій. Процедура лінеаризації. Приклад: пружна система з нелінійною характеристикою. Стійкість лінійних систем. Формулювання задачі на власні значення. Зауваження щодо характеру рішення. Приклад: аналіз диференційного рівняння руху.

Теорема Ляпунова щодо стійкості за першим наближенням. Три теореми (без доказу) першого методу. Приклад: система двох ЗДР. Теорема другого методу Ляпунова. Властивості функцій Ляпунова. Розклад в ряд Маклорена. Графічна інтерпретація. Зауваження.

Теорема другого методу щодо стійкості руху. Доказ теореми. Аналіз знаковизначеності функції Ляпунова. Приклади: а) аналіз позитивної визначеності функції; б) аналіз стійкості обертання твердого тіла.

Теорема Лагранжа щодо стійкості рівноваги консервативної системи. Доказ теореми. Приклад: аналіз покою математичного маятника. Критерії стійкості руху лінійних систем. Алгебраїчний критерій Гурвіца. Приклад: диференційне рівняння другого ступеня.

Приклади аналізу стійкості руху. Стійкість руху двохступеневого гіростабілізатора. Критерій Вишнеградського. Приклад: стійкість руху двигуна внутрішнього згорання. Частотний критерій стійкості руху Михайлова.

Вплив на стійкість руху дисипативних та гіроскопічних сил

Огляд курсу.

Модульний контроль.

5. Індивідуальні завдання

Індивідуальне завдання «Аналіз коливань та стійкості руху робота»

6. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота студентів по виконанню індивідуального завдання, самостійна робота студентів за рекомендованими матеріалами.

7. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, виконання та захист індивідуального завдання, фінальний контроль у вигляді іспитів.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Таблиця 8.1 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Активність під час аудиторної роботи	0...2	10	0...20
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Змістовний модуль 2			
Активність під час аудиторної роботи	0...2	12	0...24
Модульний контроль	0...12	1	0...12
Виконання і захист РГР (РР, РК)	0...30	1	0...30
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови здобувача освіти від балів підсумкового контролю й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту здобувач освіти має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та однієї задачі. Максимальна кількість балів за одне теоретичне питання –20, за задачу –60. Загальна максимальна кількість балів дорівнює 100 балів

Таблиця 8.2 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти за виконання курсової роботи (проєкту) (згідно з навчальним планом не передбачено)

Пояснювальна	Ілюстративна	Захист роботи	Сума
--------------	--------------	---------------	------

записка	частина		
0...xx	0...xx	0...xx	100

Таблиця 8.3 – Шкали оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційний залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

Критерії оцінювання роботи здобувача освіти протягом семестру

Задовільно (60-74) – мати знання і уміння для забезпечення програмних результатів навчання. Виконати та здати розрахунково-графічну роботу. Написати дві модульні роботи.

Добре (75-89) – мати знання, уміння й навички, які відповідають рівню задовільно. Додатково до вимог, які визначено для отримання задовільної оцінки, мати знання та уміння, позначені нижче.

Відмінно (90-100) – мати знання, уміння й навички, що дадуть змогу самостійно, вільно та обґрунтовано відповідати на будь-які питання щодо аналізу кінематики, динаміки та проектування траєкторій маніпулятора довільної конструкції. Для цього окрім вимог для отримання оцінки «добре» вільно формулювати рівняння кінематики та динаміки, а також вирішувати ці задачі з використанням MathCAD.

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Інтерактивний характер курсу передбачає обов'язкове відвідування практичних занять. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити із викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять. Окремі пропущені заняття мають бути відпрацьовані на найближчій консультації протягом тижня після їх пропуску. Відпрацювання занять здійснюється усно у формі співбесіди за питаннями, визначеними планом заняття. В окремих випадках дозволяється письмове відпрацювання пропущених занять шляхом виконання індивідуального письмового завдання.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час вивчення навчальної дисципліни здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhennya-pro->

akademichnu-dobrochesnist.pdf). Очікується, що роботи здобувачів освіти будуть їх оригінальними дослідженнями або міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших здобувачів освіти становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі здобувача освіти є підставою для її незарахування викладачем незалежно від масштабів плагіату чи обману.

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів, пов'язаних із корупційними діями, зіткненням інтересів, різними формами дискримінації, сексуальними домаганнями, міжособистісними стосунками та іншими ситуаціями, що можуть виникнути під час навчання, а також правила етичної поведінки регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/ua/university/normativna-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення

1. Меньшиков В.О. Динаміка механізмів: навч. посіб. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2016. 91 с. http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Menshukov_Dunamika_Mehanizmo_v.pdf
2. Усік В.В. Курс теорії механізмів і машин: навч. посіб.- Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", 2019. 86 с. http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Usik_Kurs_Teoriyi.pdf
3. Наріжний О.Г. Лекції, практичні заняття та домашнє завдання з динамічною стійкістю промислових роботів <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1126>

11. Рекомендована література

Базова

1. Василенко М.В., Алексейчук О.М.- Теорія коливань і стійкості руху.- Київ: Вища школа, 2004.- 525 с. ISBN 966-624-105-4.
2. Гаращенко Ф.Г., Матвієнко В.Т., Харченко І.І. Диференціальні рівняння для інформатиків. – К.: Видавничо- поліграфічний центр «Київський університет», 2008.- 352 с. ISBN 966-594-883-0.

Допоміжна

1. Основи теорії коливань та стійкості рухомого складу: Навч. посібник / О. В. Устенко, Р. І. Візньак, А. О. Ловська та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 129 с.

2. Теорія коливань та стійкості руху: Коливальні системи з розподіленими параметрами: курсовий проект: навч. посіб. для студ. денної форми навчання спеціальності 131«Прикладна механіка/ А.Є.Бабенко, О.О.Боронко, А.П.Грабовський А.М. Бабак; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,1 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 67 с.

12. Інформаційні ресурси

1. <https://education.khai.edu/department/202>
2. <https://k202.tilda.ws/>