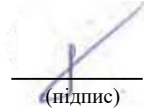


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Андрій ПОГУДІН
(підпис) (ініціали та прізвище)

« 31 » ____ 08 ____ 2025 р.

**СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Розрахунки на міцність нетрадиційних енергоустановок
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 Електрична інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2025 року

Харків – 2025 р

Розробник (и): Бетіна О.Ю. доцент кафедри 401, к.т.н, доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри _____
Конструкцій і проєктування ракетної техніки
(назва кафедри)

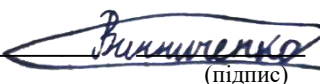
Протокол № 1 від « 26 » 08 2025 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Ганна КОЛОСКОВА
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

_____ 
(підпис)

Тимофій ВІННІЧЕНКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ: Бетіна Олена Юріївна

Посада: доцент

Науковий ступінь: кандидат технічних наук

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

- конструкція і проектування ракетних двигунів;
 - двигунні установки безпілотних літальних апаратів;
 - особливості проектування літальних апаратів, призначених для освоєння космосу.
-

Напрями наукових досліджень:

проектування безпілотних літальних апаратів;
розробка систем повітряного старту ракет-носіїв;
фізичне моделювання динаміки польоту літальних апаратів.

Контактна інформація:

+380677976981

o.betina@khai.edu

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	Денна, заочна
Семестр	8
Мова викладання	Українська
Тип дисципліни	Обов'язкова
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	<u>денна</u> : 3 кредити ЄКТС / 90 годин (36 аудиторних, з яких: лекції – 18, практичні – 18; СРЗ – 54); <u>заочна</u> : 3 кредити ЄКТС / 90 годин (6 аудиторних, з яких: лекції – 2, практичні – 4; СРЗ – 84)
Види навчальної діяльності	Лекції, практичні (семінарські), самостійна робота
Види контролю	Поточний контроль, модульний контроль, семестровий контроль – залік
Пререквізити	Електротехнічне обладнання енергоустановок, Проектування сонячних і теплових енергоустановок, Проектування вітроагрегатів
Кореквізити	Конструювання нетрадиційних енергоустановок, Конструювання нетрадиційних енергоустановок (КП)
Постреквізити	Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Мета вивчення: Формування у майбутніх фахівців з електроенергетики системи знань та практичних навичок щодо оцінки напружено-деформованого стану (НДС) конструктивних елементів відновлюваних джерел енергії (вітрогенераторів, сонячних електростанцій) за допомогою методів математичного моделювання та скінченно-елементного аналізу.

Завдання дисципліни: Полягають у вивченні теоретичних основ механіки деформівного твердого тіла, опануванні алгоритмів побудови скінченно-елементних моделей у спеціалізованих пакетах (наприкладі CosmosM або аналогів), проведенні розрахунків на міцність і стійкість пластин, оболонок та тонкостінних стрижнів, а також у виконанні проєктувальних розрахунків лопатей вітроустановок, башт та панелей сонячних батарей під дією вітрових, гравітаційних та теплових навантажень

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми під час професійної діяльності у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів фізики та інженерних наук і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

ЗК1. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК11. Здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

Спеціальні компетентності (СК або ФК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

ФК02. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

Програмні результати навчання (ПРН або РН):

ПР09. Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем відновлюваної енергетики.

4. Зміст навчальної дисципліни МОДУЛЬ 1.

Змістовний модуль 1.

Основи скінченно-елементного моделювання енергооб'єктів

Тема 1. Архітектура САЕ-систем та алгоритм МСЕ

Вивчення структури пакета CosmosM у контексті сучасного проектування об'єктів електроенергетики. Розгляд етапів розвитку систем від простих САД-креслень до складних САЕ-аналізаторів. Детальний розбір алгоритму розв'язання інженерних задач, що включає препроцесорну підготовку, розрахунок та поствізуалізацію. Ознайомлення з логікою побудови меню та командним рядком для автоматизації процесів.

Лекція: Концепція інтегрованого проектування та етапи розвитку САПР.

Практичне заняття: Знайомство з інтерфейсом CosmosM та налаштування графічного середовища.

Самостійна робота: Порівняльний аналіз FEA-пакетів (ANSYS, Abaqus, CosmosM) для розрахунку високовольтних опор.

Тема 2. Методологія побудови геометричних моделей

Опанування команд генерації геометричних примітивів для створення цифрових двійників енергоустановок. Процес охоплює послідовну побудову від базових точок до складних об'ємів та операції редагування геометрії. Налаштування властивостей матеріалів та задання реальних констант для підготовки до генерації сітки. Вивчення систем координат є критичним для коректного моделювання криволінійних поверхонь.

Лекція: Ієрархія геометричних об'єктів та команди генерації примітивів.

Практичне заняття: Побудова геометричної моделі сонячної панелі та секції башти вітрогенератора.

Самостійна робота: Дослідження особливостей роботи з декартовою, циліндричною та сферичною системами координат.

Тема 3. Бібліотека скінченних елементів та апроксимація

Аналіз бібліотеки елементів для адекватного відображення фізичної суті енергетичних конструкцій. Вивчення одновимірних елементів для каркасів, двовимірних для тонкостінних корпусів та тривимірних для масивних вузлів. Математичне обґрунтування вибору типу елемента дозволяє оптимізувати точність та швидкість розрахунку. Налаштування реальних констант, таких як товщина стінок, є обов'язковим етапом підготовки моделі.

Лекція: Математичне обґрунтування вибору типів елементів TRUSS, BEAM, PLANE, SHELL та SOLID.

Практичне заняття: Генерація скінченно-елементної сітки для стержневої опори та пластинчастого елемента.

Самостійна робота: Підготовка звіту про вибір оптимального типу елемента для порожнистої лопаті вітрогенератора.

Тема 4. Системи навантаження та граничні умови

Алгоритми задання статичних та динамічних навантажень на створену скінченно-елементну модель. Методи прикладання зосереджених зусиль та розподіленого тиску на поверхні елементів. Моделювання кінематичних обмежень для імітації реальних умов монтажу енергообладнання. Врахування специфічних факторів, таких як гравітація, відцентрові сили та теплові поля.

Лекція: Класифікація навантажень на енергоустановки та методи моделювання граничних умов.

Практичне заняття: Задання вітрового тиску на поверхню лопаті та термічних навантажень сонячного колектора.

Самостійна робота: Моделювання вітрового тиску як навантаження, що змінюється за висотою башти.

Тема 5. Розрахунок та інтерпретація результатів аналізу

Виконання чисельного розрахунку матриць жорсткості для моделей різної розмірності. Отримання результатів у вигляді вузлових переміщень, деформацій та еквівалентних напружень за критерієм Мізеса. Вивчення інструментів поствізуалізації, включаючи побудову кольорових епюр та анімацію деформованого стану. Оцінка міцності елементів сонячних і вітрових станцій на основі отриманих графіків.

Лекція: Чисельні методи розв'язання систем рівнянь та критерії оцінки міцності матеріалів.

Практичне заняття: Виконання статичного розрахунку та побудова ізоліній напружень і епюр переміщень.

Самостійна робота: Локальне уточнення сітки вручну в зонах високої концентрації напружень.

Модульний контроль 1

Змістовний модуль 2.

Розрахунки на міцність нетрадиційних енергоустановок

Тема 6. Теорія та розрахунок пластин у спорудах

Класифікація пластин залежно від їхньої товщини та характеру роботи під навантаженням. Розгляд основних гіпотез Кірхгофа-Лява для формування математичних співвідношень між силами та прогинами. Складання диференціального рівняння згину для прямокутних пластин, що моделюють сонячні панелі. Аналіз впливу різних умов обпирання на загальну жорсткість конструкції.

Лекція: Гіпотези Кірхгофа-Лява та рівняння поперечного згину прямокутних пластин.

Практичне заняття: Розрахунок прогинів та моментів у сонячному модулі при сніговому навантаженні.

Самостійна робота: Порівняльний аналіз прогинів квадратної пластини при різних типах граничних умов.

Тема 7. Механіка оболонок та їх стійкість

Вивчення оболонок як найбільш ефективних елементів для створення легких і міцних енергетичних споруд. Класифікація оболонок за формою серединної поверхні та аналіз безмоментної теорії. Особлива увага приділяється вісьосиметричному навантаженню циліндричних секцій башт вітроелектростанцій. Дослідження явища втрати стійкості при дії стискальних та зсувних зусиль.

Лекція: Класифікація оболонок та теорія вісьосиметричного навантаження циліндричних конструкцій.

Практичне заняття: Розрахунок напружено-деформованого стану циліндричної секції гондоли вітрогенератора.

Самостійна робота: Аналіз напруженого стану циліндричного резервуара під дією внутрішнього гідростатичного тиску.

Тема 8. Тонкостінні стержні та відкриті профілі

Специфіка розрахунку елементів, де товщина стінки значно менша за габарити перерізу. Вивчення особливостей вільного та обмеженого кручення, що призводить до виникнення секторіальних напружень. Використання моделі Власова для конструкцій із замкненим та відкритим контуром. Застосування цих знань для проектування силових каркасів сонячних трекерів.

Лекція: Теорія Власова для тонкостінних стержнів та поняття депланації перерізу.

Практичне заняття: Розрахунок напружень при крученні відкритого профілю тримача сонячної батареї.

Самостійна робота: Порівняння жорсткості на кручення відкритого (швелер) та замкненого (коробка) профілів.

Тема 9. Проектувальний розрахунок та синтез установок

Заключний етап проектування, що базується на обґрунтованому виборі матеріалів (метали, композити). Методика розрахунку лопатей від визначення аеродинамічних сил до перевірки міцності кріплення. Врахування специфічних умов експлуатації, таких як ожеледь, вітрові пульсації та сейсмічні впливи. Забезпечення довговічності конструкції протягом 20-25 років при мінімальній масі.

Лекція: Методологія вибору матеріалів та проектування лопатей за критеріями міцності.

Практичне заняття: Комплексний проектувальний розрахунок лопаті повітряного гвинта.

Самостійна робота: Розрахунок температурних напружень у кріпленнях панелі при добовому перепаді температур.

Модульний контроль 2

5. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота не передбачена навчальним планом

6. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

7. Методи контролю

Поточний контроль (теоретичне опитування й виконання практичних робіт), модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий (семестровий) контроль (залік).

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

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			
Виконання і захист практичних робіт	0...6	5	0...30
Модульний контроль	0...23	1	0...23
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист практичних робіт	0...6	4	0...24
Модульний контроль	0...23	1	0...23
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліку складається з двох теоретичних та одного практичного запитання. Кількість балів розподіляється наступним чином: 35 балів за кожне теоретичне питання, та 30 балів за практичне питання.

Під час складання семестрового заліку здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Таблиця 8.2 – 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 протягом семестру

Задовільно (60-74). Виставляється здобувачу, який знає назви основних меню пакета, вміє будувати найпростіші геометричні моделі та розуміє різницю між типами навантажень, проте припускається помилок при виборі скінченних елементів або при інтерпретації результатів розрахунку напружень.

Добре (75-89). Надається за вміння самостійно створювати розрахункові схеми енергоустановок, проводити автоматичну генерацію сітки та виконувати статичні розрахунки міцності. Студент правильно визначає навантаження на лопать або башту, але може мати незначні огріхи в аналізі стійкості пластин чи оболонок

Відмінно (90-100). Передбачає вільне володіння інструментарієм пакета, здатність проводити комплексний аналіз НДС конструкцій (силове + теплове навантаження), обґрунтовувати вибір матеріалу та пропонувати зміни в конструкції для підвищення її надійності на основі отриманих результатів моделювання

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 та інформаційні ресурси

1. Кириченко В.В. Розрахунок на міцність елементів нетрадиційних енергоустановок / В.В. Кириченко, А.В. Кондратьєв, К.Д. Стениле. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харьк. авіац. ін-т», 2014. – 156 с.

2. Кириченко В.В. Комп'ютерні технології проектування з використанням МСЕ: конспект лекцій / В.В. Кириченко. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харьк. авіац. ін-т», 2006. – 135 с.

3. Кириченко В.В. Комп'ютерні технології проектування з використанням МСЕ: навч. посіб. / В.В. Кириченко, А.В. Кондратьєв. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2012. – 44 с.

Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1422>

11. Рекомендована література

Базова

1. Баженов В. А., Перельмутер А. В., Шишов О. В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології – Київ. 2013. 896 с.

2. Писаренко Г. С. Опір матеріалів. 2004. 656 с.

Допоміжна

3. Сидоров В. І. Технології відновлюваної енергетики –Черкаси. 2018. 164 с.

4. Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E. Wind Energy Handbook 2021.

5. Khenfer M., et al. Mechanical Engineering of Solar Energy Systems 2021.

12. Інформаційні ресурси

1. Довідкова онлайн-система по системі автоматизованого проектування SolidWorks 2012 та розрахункового модуля SolidWorks Simulation 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://help.solidworks.com/2012/russian/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm